Preparation of Magnesium Sulfate salt MgSO4 from Seawater

Dr. Hussam Eddin LAIKA*
Dr. Ahmed Qara Ali**
Taima Zayoud***

(Received 6 / 5 / 2024. Accepted 25 / 9 /2024)

□ ABSTRACT □

In this research, magnesium sulphate salt was prepared from seawater in a new, economically feasible method. The method relied on direct precipitation of magnesium hydroxide using sodium hydroxide and subsequent treatment with concentrated sulfuric acid only to obtain magnesium sulphate, in addition to the traditional method based on precipitation with ethanol.

Marine water samples were collected from several areas along the coast of Latakia city (estuary of the Northern Kabir River, Higher Institute for Marine Research, Sports City) during the summer of 2023.

The results showed that the average amount of magnesium sulphate salt produced according to the traditional method (precipitation with ethanol) was: 3.82 g/L, 3.27, and 2.13 in the research areas, the sports city, and the mouth, respectively, while the average amounts of salt produced according to the new method were as follows: 7.91 g\L, 6.65, 4.56 in the previous regions, respectively. Several tests were also carried out to study some of the physical properties of the resulting magnesium sulphate salt (solubility, melting point) and compare them with reference values. The results showed that these properties were identical.

Keywords: Magnesium sulfate, marine water, ethanol, traditional method, new method, Latakia.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor Assistant, Department of Marine Chemistry, Higher Institute for Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Professor, Department of Marine Chemistry, Higher Institute for Marine Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Master's student - Department of Marine Chemistry - Higher Institute for Marine Research - Tishreen University, Lattakia – Syria. Taimazayoud@gmail.com**

تحضير ملح كبريتات المغنيزيوم $MgSO_4$ من مياه البحر

د. حسام الدّين لايقه*

د. أحمد قره علي**

تيماء زيّود***

(تاريخ الإيداع 6 / 5 / 2024. قُبِل للنشر في 25 / 9 /2024)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث تحضير ملح كبريتات المغنيزيوم من مياه البحر بطريقة جديدة ذات جدوى اقتصادية، حيث اعتمدت الطريقة على الترسيب المباشر لهيدروكسيد المغنيزيوم باستخدام هيدروكسيد الصوديوم ثم المعالجة اللاحقة بحمض الكبريت المركز فقط للحصول على كبريتات المغنيزيوم، بالإضافة للطريقة التقليدية المعتمدة على الترسيب بالإيتانول.

تم جمع عينات المياه البحرية من عدة مناطق على طول شاطئ مدينة اللاذقية (مصب نهر الكبير الشمالي، المعهد العالي للبحوث البحرية، المدينة الرياضية) خلال فصل الصيف لعام 2023.

بينت النتائج ان متوسط كمية ملح كبريتات المغنزيوم المنتجة وفق الطريقة التقليدية(الترسيب بالايتانول) كانت: 3.82g\L، 3.27، 2.13 في مناطق البحوث والمدينة الرياضية والمصب على التوالي، في حين كانت متوسطات الكميات المنتجة من الملح وفق الطريقة الجديدة كما يلي: 7.91g\L، 6.65، 4.56 في المناطق السابقة على التوالي.

كما تم القيام بعدة اختبارات لدراسة بعض الخصائص الفيزيائية لملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة (الانحلالية، نقطة الانصهار) ومقارنتها مع القيم المرجعية، حيث بينت النتائج وجود تطابق في هذه الخواص.

الكلمات المفتاحية: كبريتات المغنيزيوم، المياه البحرية، الايتانول، الطريقة التقليدية، الطريقة الجديدة، اللاذقية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* استاذ- قسم الكيمياء البحرية _ المعهد العالي للبحوث البحرية _ جامعة تشرين- اللاذقية _ سورية.

** استاذ- قسم الكيمياء البحرية _ المعهد العالي للبحوث البحرية _ جامعة تشرين- اللاذقية _ سورية.

*** طالبة ماجستير- قسم الكيمياء البحرية- المعهد العالي للبحوث البحرية- جامعة تشرين اللاذقية- سورية.Taimazayoud@gmail.com

مقدمة:

تعد مياه البحر أكبر مورد للمياه المالحة على هذا الكوكب، إذ تحتوي على مايقارب 3.5% من الأملاح، والتي تمنح المياه العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية تختلف عن تلك الموجودة في المياه العذبة، على هذا النحو تحتوي مياه البحر على عناصر متعددة والتي تصل إليها من مصادر مختلفة، فهي إما أن تكون من مصادر طبيعية (من خلال الأنشطة البركانية، العمليات الجيولوجية كعملية التجوية)، أو من مصادر بشرية مختلفة (Kot and Kochva, 2020; Perumal *et al.*, 2021; Litskas, 2023; Awino *et al.*, 2024).

تشكل بعض العناصر (Mg^{2+}، K^{+} ، Ba^{+2}، Ca^{2+}، Na^{+}، Cl^{-}) نسبة 99.8% من الجزء المنحل من كتلة المواد المذابة في المياه البحرية لذلك تدعى بالعناصر الرئيسة، تصل تلك العناصر إلى البيئة البحرية بعمليتين رئيسيتين الأولى بشكل مباشر وذلك تحت تأثير ثقل الدقائق الغبارية المدمص على سطحها العناصر لتنتقل بعدها لمياه البحر بوساطة الرياح (الترسيب الجاف)، والثانية بشكل غير مباشر عن طريق مياه الأمطار والأنهار والمجاري المائية (الترسيب الرطب)(Guieu *et al.*, 2014; Cerro *et al.*, 2020; Peretti *et al.*, 2020; López-García *et al.*, 2021)، حيث يتم استخلاصها تجارياً من ماء البحر على شكل أملاح كلوريدات، كبريتات، كربونات، سيليكات لمواجهة الاستنزاف التدريجي للخامات المعدنية وبشكل خاص أملاح المغنيزيوم (Quist-Jensen *et al.*, 2016; Macedonio and Drioli, 2017; Cho *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2021; Lalasari *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022). يعد المغنيزيوم ثالث أكثر الأيونات تواجداً في مياه البحر بنسبة 3.68% بعد الكلور والصوديوم (86%) بتركيز حوالي 1272 جزء في المليون (Alamdari *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2022).

تعد الطريقة المستخدمة لاستعادة وترسيب المغنيزيوم من مياه البحر بإضافة عوامل قلوية من الطرق الأكثر شيوعاً وتطبيقاً حيث يتم ترسيب هذا العنصر على شكل هيدروكسيد المغنيزيوم بعد إضافة هيدروكسيد الصوديوم الذي يعد أفضل قاعدة مناسبة لترسيب المعادن إذ تتميز مركبات الصوديوم بشكل عام بانحلالية عالية في الوسط المائي مقارنة مع هيدروكسيد الكالسيوم حيث يؤدي وجود الكالسيوم إلى انخفاض كبير في نقاء مركبات المغنيزيوم الناتجة عن عملية الترسيب(Dong *et al.*, 2017; Ahmad *et al.*, 2019; Mohammad *et al.*, 2019; Samin, 2022; Wang *et al.*, 2022).

يمتاز مركب هيدروكسيد المغنزيوم بإمكانية تحويله للعديد من مركبات المغنزيوم الأخرى، حيث بلغ الإنتاج العالمي من أوكسيد المغنيزيوم حوالي 11 مليون طن/ سنة 2012 منها أكثر من 7 مليون طن تنتجها روسيا والصين والولايات المتحدة الأميركية (Cipollina *et al.*, 2015) ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في استثمار الموارد البحرية المتاحة لإنتاج ملح كبريتات المغنزيوم ودراسة مردوده ونقاوته، نظراً لأهمية هذا الملح في العديد من المجالات الصناعية كصناعة عوامل مقاومة للحريق والأسمنت والزراعية كسماد زراعي والدوائية كعلاج للربو الحاد لدى البالغين (Nengparmoi *et al.*, 2023; Rovsing *et al.*, 2023; Saptamongkol *et al.*, 2023)، ولذلك فإن هذه الدراسة تعد من الدراسات المحلية الناشئة التي تهتم باستخلاص واستثمار العناصر المعدنية المتواجدة في المياه البحرية السورية على شكل أملاح قابلة للتطبيق والتي تكون متاحة بكميات كبيرة و بتكلفة بسيطة، وذلك عن طريق تحقيق الأهداف الآتية:

1. تحضير ملح كبريتات المغنيزيوم من المياه البحرية باعتماد طريقتين للترسيب الكيميائي.

2. تحديد المردود والخواص الفيزيائية للملح الناتج (درجة الانصهار، الانحلالية).

طرائق البحث ومواده:

1. مناطق الدراسة:

شملت هذه الدراسة ثلاث مناطق على طول شاطئ مدينة اللاذقية، حيث تم جمع عينات مياه البحر من مناطق الدراسة باستخدام عبوات من البولي ايتيلين مغسولة مسبقاً بشكل جيد بمواد منظفة ثم بالماء لإزالة آثار المواد المنظفة، ثم الغسل بالماء المقطر لتوضع لاحقاً في محلول حمض الآزوت (5%) لإزالة كافة الشوارد المعدنية، وأُخذت العينات من عمق حوالي 0.5m، وذلك خلال شهر تموز 2023 لأن نسبة الملوحة صيفاً تكون عالية و بالتالي كمية أملاح أعلى كما هو مبين في **الشكل (1)**.

الموقع الأول M: مصب نهر الكبير الشمالي، حيث تم جمع أربعة عينات من هذا الموقع موزعة كما يلي: **Mst1:** نقطة مصب، **Mst2** يمين المصب حوالي 200m، **Mst3:** يسار المصب 200m، **Mst4:** أمام المصب وعلى بعد 200m. (1L من كل نقطة).

الموقع الثاني D: المدينة الرياضية، حيث تم جمع أربعة عينات من هذا الموقع موزعة كما يلي: **Dst1:** المدينة الرياضية ، **Dst2:** يمين موقع المدينة الرياضية حوالي 200m، **Dst3:** يسار موقع المدينة الرياضية 200m، **Dst4:** أمام المدينة الرياضية وعلى بعد 200m. (1L من كل نقطة).

الموقع الثالث B : المعهد العالي للبحوث البحرية، حيث تم جمع أربعة عينات من هذا الموقع موزعة كما يلي **Bst1:** المعهد العالي للبحوث البحرية، **Bst2:** يمين موقع البحوث البحرية حوالي 200m، **Bst3:** يسار موقع البحوث البحرية ب 200m، **Bst4:** أمام البحوث البحرية وعلى بعد 200m. (1L من كل نقطة).

المدينة الرياضية

مصب نهر الكبير الشمالي

المعهد العالي للبحوث البحرية

الشكل 1: مواقع ومحطات الدراسة

2. الأجهزة المستخدمة:

- جهاز الطرد المركزي (HETTICH - ROTOFIX 32 A).
- ميزان رقمي حساس (Sartorius ± 0.0001g موديل ED224S).
- فرن تجفيف (memmert موديل UN55).
- محرك مغناطيسي (VELP SCIENTIFICA- AREC).
- مرمدة (NEY .M.525-Y ucapica-USA).

3. المواد الكيميائية المستخدمة

- الايتانول C_2H_5OH (MERCK).
- حمض الكبريت المركز H_2SO_4 (Scharlau)
- هيدروكسيد الصوديوم NaOH (MERCK).
- كبريتات المغنزيوم القياسية.

جميع هذه المواد مخبرية عالية النقاوة.

4. تحضير العينات للتحليل:

تم العمل وفق طريقتين:

<u>الطريقة الأولى (الطريقة التقليدية)</u> والتي تقوم على ثلاث مراحل:

- المرحلة الأولى: وهي عملية ترسيب كيميائية تمت من خلال إضافة 10ml من محلول NaoH تركيزه 50%إلى 1L مياه البحر فترسب المغنيزيوم على شكل هيدروكسيد المغنيزيوم، بعد ذلك تم التحريك لمدة ساعة عند 800rpmباستخدام المحرك المغناطيسي فينتج معلق حليبي يتُرك حتى تمام الفصل والترقيد، يفصل الطور المائي بالإبانة بينما الراسب ثُقّل عند 3500 دورة في الدقيقة لمدة 20 دقيقة، ثم جُفف الراسب عند الدرجة 105°C لمدة 24 ساعة.

$$MgCl_{2(aq)} + 2OH^- \rightarrow Mg(OH)_{2(s)} + 2Cl^-$$

- المرحلة الثانية: معالجة الراسب السابق باستخدام 50ml من محلول حمض الكبريتH_2SO_4 بتركيز1M للحصول على ملح كبريتات المغنيزيوم مع التحريك لمدة نصف ساعة باستخدام المحرك المغناطيسي عند 800 rpm.

$$Mg(OH)_{2(s)} + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_{4(aq)} + 2H_2O$$

- المرحلة الثالثة: تم إضافة الإيثانول (40ml) بتركيز 99% إلى المحلول السابق عند درجة حرارة الغرفة من أجل ترسيب الكبريتات ثم رُشح المحلول للحصول على $MgSO_4$ بشكل بودرة (Kim *et al.*, 2021).

الطريقة الثانية (الطريقة الجديدة):

تقوم على مرحلتين:

- **المرحلة الأولى:** وهي عملية ترسيب كيميائية تمت من خلال إضافة 10 ml من محلول NaOH تركيزه 50% إلى 1L مياه البحر فترسب المغنيزيوم على شكل هيدروكسيد المغنيزيوم، بعد ذلك تم التحريك لمدة ساعة عند 800rpmباستخدام المحرك المغناطيسي فينتج معلق حليبي يتُرك حتى تمام الفصل والترقيد، تم فصل الطور المائي بالإبانة بينما الراسب نُقّل عند 3500 دورة في الدقيقة لمدة 20 دقيقة، ثم جُفف الراسب عند الدرجة 105°C لمدة 24 ساعة.
- **المرحلة الثانية:** معالجة الراسب السابق باستخدام 50 ml من محلول حمض الكبريتH_2SO_4 بتركيز1M للحصول على ملح كبريتات المغنيزيوم مع التحريك لمدة نصف ساعة باستخدام المحرك المغناطيسي عند 800rpm، ثم رُشح المحلول وجُفف عند 105°C لمدة 24 ساعة لنحصل على راسب كبريتات المغنيزيوم على شكل بودرة بعد الطحن.

النتائج والمناقشة:

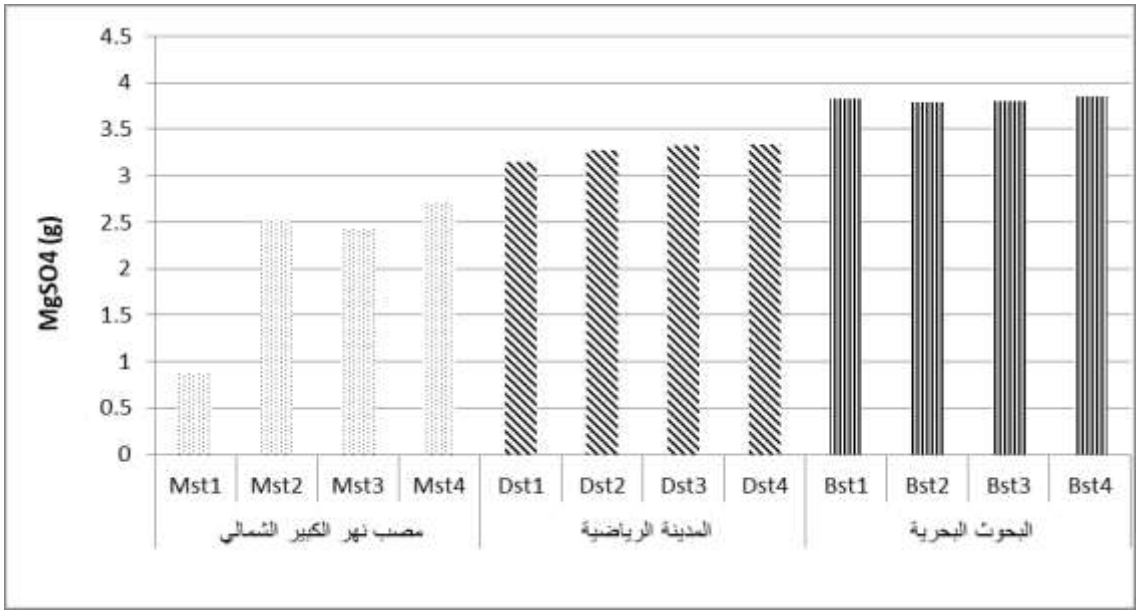
1.مردود كبريتات المغنيزيوم وفق الطريقة الأولى (التقليدية):

يعتمد مبدأ الطريقة (الترسيب بالإيتانول) على ثابت العزل الكهربائي للمحاليل، حيث يُعد الماء محل قطبي جيد لأن ثابت العزل الكهربائي له مرتفع ويبلغ 80.20v/m عند 20°C بينما بالنسبة للإيثانول فإن ثابت عزله الكهربائي منخفض ويبلغ 24.3v/m عند 25°C لذلك عند إضافة الإيثانول إلى الماء ينخفض ثابت العزل الكهربائي للماء وبالتالي تنخفض قدرة مركب كبريتات المغنيزيوم الانحلالية ويبدأ بالترسب (Mohsen-Nia *et al.*, 2010; Khalil and Al-Resayes, 2012). يبين الجدول (1) كميات ملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة وفق الطريقة التقليدية، حيث بلغ متوسط كمية ملح كبريتات المغنيزيوم في منطقة البحوث البحرية (3.82g)، بينما تراوح متوسط كمية الملح في منطقة مصب نهر الكبير الشمالي القيمة (2.13g)، أما في منطقة المدينة الرياضية فبلغ متوسط كمية كبريتات المغنيزيوم الناتجة (3.27g) ويعزى سبب ارتفاع مردود كبريتات المغنزيوم في منطقة البحوث البحرية إلى ارتفاع نسبة الملوحة باعتبارها منطقة بحرية مفتوحة بعيدة عن مصادر المياه العذبة، أما في منطقة مصب نهر الكبير الشمالي ونتيجة اختلاط المياه النهرية العذبة مع المياه البحرية تنخفض نسبة الملوحة فيؤدي ذلك الى انخفاض مردود كبريتات المغنزيوم في هذه المنطقة (Gršić *et al.*, 2018; Gong *et al.*, 2023; Kumar *et al.*, 2023).

الجدول1: كميات كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة التقليدية

البحوث البحرية B				المدينة الرياضية D				مصب نهر الكبير الشمالي M			
Bst4	Bst3	Bst2	Bst1	Dst4	Dst3	Dst2	Dst1	Mst4	Mst3	Mst2	Mst1
3.85	3.80	3.79	3.83	3.34	3.32	3.27	3.15	2.71	2.43	2.52	0.88

الشكل 2: ملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة التتقليدية



الشكل 3: مخطط مردود ملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة التقليدية

2. مردود كبريتات المغنيزيوم وفق الطريقة الثانية (الجديدة):

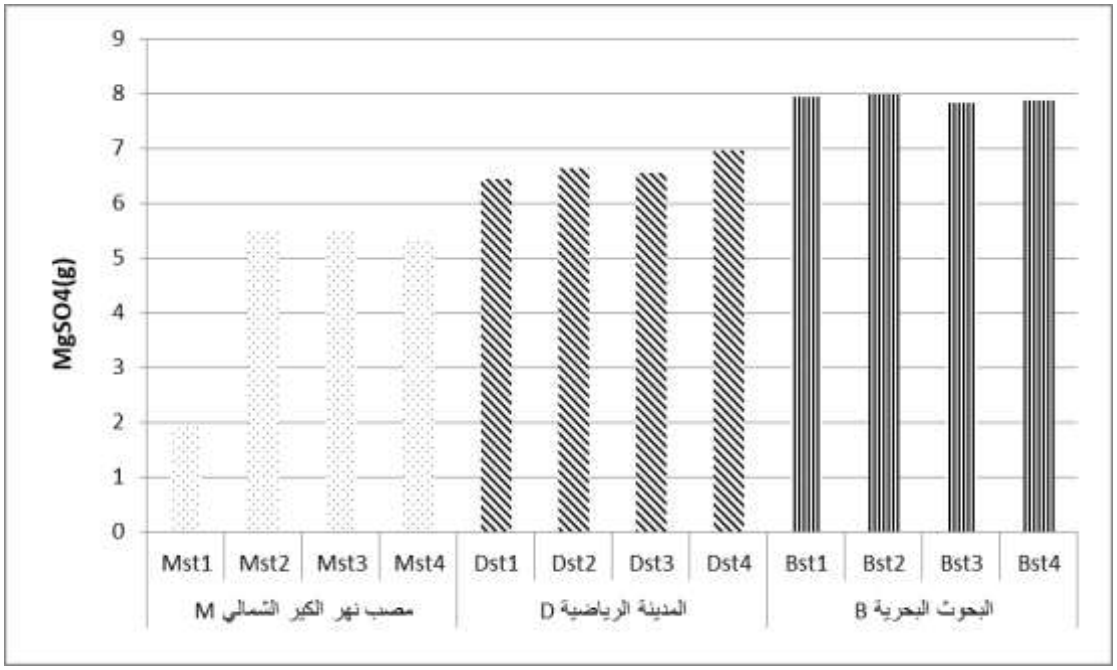
يعتمد مبدأ الطريقة على الحصول على كبريتات المغنيزيوم بعد إضافة حمض الكبريت باعتماد تجفيف المحلول والحصول على الملح بشكل مباشر عوضاً عن ترسيب الملح من محلوله باستخدام الإيتانول، حيث تمتاز هذه الطريقة بميزتين الأولى، عدم استخدام الإيتانول للترسيب وبالتالي توفير تكاليف إضافية، والثانية هي الحصول على مردود أعلى للملح، إذ أن استخدام الترسيب بالايتانول قد لايعطي النتائج المرجوة نتيجة الترسيب غير الكامل أحيانا لكبريتات المغنزيوم (Jin *et al.*, 2023). يبين الجدول (**2**) كميات ملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة وفق الطريقة الثانية، حيث بلغ متوسط كمية ملح كبريتات المغنيزيوم في منطقة البحوث البحرية (7.91 g)، بينما تراوح متوسط كمية الملح في

منطقة مصب نهر الكبير الشمالي القيمة (4.56 g)، أما في منطقة المدينة الرياضية فبلغ متوسط كمية كبريتات المغنيزيوم الناتجة(6.65 g). نلاحظ من خلال المقارنة بين كمية كبريتات المغنيزيوم الناتجة وفق الطريقتين أن مردود الطريقة الثانية كان أعلى بنسبة (106.8%)،(103.4%)،(114%) في مواقع البحوث البحرية و المدينة الرياضية و مصب نهر الكبير الشمالي على التوالي تم حساب هذه النسبة بأخذ متوسطات كميات الملح الناتج من كل منطقة ثم أُخذ الفرق بين الطريقتين وتم حساب النسبة المئوية.

الجدول 2: كميات كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة الثانية (الجديدة)

البحوث البحرية B				**المدينة الرياضية D**				**مصب نهر الكير الشمالي M**			
Bst4	Bst3	Bst2	Bst1	Dst4	Dst3	Dst2	Dst1	Mst4	Mst3	Mst2	Mst1
7.88	7.83	7.98	7.94	6.96	6.55	6.64	6.44	5.33	5.49	5.52	1.90

الشكل 4: كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة الثانية (الجديدة)



الشكل 5: مخطط مردود ملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة (g) وفق الطريقة الثانية (الجديدة)

يتبين لدينا من خلال إجراء مقارنة المردود بين الطريقتين أن متوسط كمية كبريتات المغنزيوم الناتجة في منطقة البحوث البحرية وفق الطريقة الثانية (7.91g) أكبر من متوسط كميتها وفق الطريقة الأولى(3.82g) في نفس المنطقة، ويعزى السبب في ذلك إلى أن التجفيف المباشر والكامل للمحلول بعد إضافة الحمض وتشكل كبريتات المغنزيوم يساهم في التقليل من الضياع وبالتالي زيادة المردود، أما في حالة الترسيب باستخدام الايتانول فان احتمالية الضياع نتيجة الترسيب غير الكامل تصبح أكبر لان نسبة الخطأ في هذه الطريقة تتجاوز احياناً% 30مقارنة مع الطريقة الثانية التي لاتتجاوز نسبة الخطأ فيها1% تم حسابها بعملية رياضية تتضمن كمية الملح المفترض الحصول عليه من مياه البحر نظرياً بالمقارنة مع كمية الملح الناتج عملياً (Kim *et al.*, 2021; Samin, 2022).

3. دراسة نقاوة كبريتات المغنزيوم الناتجة:

تمت دراسة نقاوة كبريتات المغنزيوم المتشكلة باستخدام بعض الخصائص الفيزيائية للملح الناتج كالانحلالية ودرجة الانصهار ومقارنتها مع نفس الخصائص للملح القياسي، حيث يبين الجدول **رقم (3)** نتائج هذه الدراسة، إذ نلاحظ أن انحلالية كبريتات المغنزيوم المستحصل عليها كانت كاملة في الماء المقطر بينما لوحظ عدم انحلالية هذا الملح في الايتانول، حيث تعتبر كبريتات المغنزيوم قابلة للانحلال بدرجة عالية في الماء وتبلغ انحلاليتها 710 g/l، وفيما يخص درجة الانصهار فقد بلغت (1100°C) لأنها غير نقية وهذا يتوافق بشكل كبير مع قيمة درجة الانصهار النظرية للملح والبالغة (1124°C)(Scheidema *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2023).

الجدول 3: بعض الخصائص الفيزيائية للملح الناتج

الحالة الفيزيائية	$MgSO_4$ المحضرة	$MgSO_4.7H_2O$ القياسية
الانحلال بالماء	انحلت بشكل كامل	منحلة
الانحلال بالايتانول	لم تنحل	غير منحلة
نقطة الانصهار	انصهرت عند الدرجة 1100 °C	تنصهر 1124 °C

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تم تحضير ملح كبريتات المغنيزيوم من المياه البحرية بالاعتماد على الطريقة التقليدية (الترسيب بالايتانول) والطريقة الجديدة التجفيف المباشر لمحلول كبريتات المغنيزيوم.

2. بينت النتائج فعالية واضحة للطريقة الجديدة في الحصول ملح كبريتات المغنيزيوم بمردود أعلى مقارنة مع الطريقة التقليدية.

3. لوحظ ارتفاع نسبة كمية ملح كبريتات المغنيزيوم في منطقة البحوث البحرية مقارنة مع المواقع الأخرى المدروسة.

4. أظهرت نتائج اختبارات الخصائص الفيزيائية (انحلالية ، نقطة الانصهار) لملح كبريتات المغنيزيوم الناتجة بالمقارنة مع القيم المرجعية نقاوة عالية له.

References:

1. AHMAD, M.;GARUDACHARI, B.;AL-WAZZAN, Y., *et al.Mineral extraction from seawater reverse osmosis brine of Gulf seawater*.144,2019,45-5646pp.

2. ALAMDARI, A.;RAHIMPOUR, M.;ESFANDIARI, N., *et al.Kinetics of magnesium hydroxide precipitation from sea bittern*.47,2,2008,215-221pp.

3. AWINO, F. B.;APITZ, S. E. J. I. E. A. and MANAGEMENT.*Solid waste management in the context of the waste hierarchy and circular economy frameworks: An international critical review*.20,1,2024,9-35pp.

4. CERRO, J. C.;CERDA, V.;CABALLERO, S., *et al.Chemistry of dry and wet atmospheric deposition over the Balearic Islands, NW Mediterranean: Source apportionment and African dust areas*.747,2020,141187pp.

5. CHO, T.;KIM, M.-J. J. S. S. and TECHNOLOGY.*Synthesis of magnesium sulfate from seawater using alkaline industrial wastes, sulfuric acid, and organic solvents*.54,16,2019,2749-2757pp.

6. CIPOLLINA, A.;BEVACQUA, M.;DOLCIMASCOLO, P., *et al.Reactive crystallisation process for magnesium recovery from concentrated brines*.55,9,2015,2377-2388pp.

7. DONG, H.;UNLUER, C.;YANG, E.-H. and AL-TABBAA, A. J. H.*Synthesis of reactive MgO from reject brine via the addition of NH4OH*.169,2017,165-172pp.

8. GONG, L.;LI, T.;FENG, J., *et al.Enhanced DPPH Radical Scavenging Activity and Enriched γ-Aminobutyric Acid in Mulberry Juice Fermented by the Probiotic Lactobacillus brevis S3*.9,9,2023,829pp.

9. GRŠIĆ, N.;POPOVIĆ-ĐORđEVIĆ, J. B.;KOSTIĆ, A. Ž., *et al.ALKALI AND ALKALINE EARTH METALS IN WATER–CASE STUDY OF THE BOJANA RIVER, MONTENEGRO*.64,4,2018,145pp.

10. GUIEU, C.;AUMONT, O.;PAYTAN, A., *et al.The significance of the episodic nature of atmospheric deposition to Low Nutrient Low Chlorophyll regions*.28,11,2014,1179-1198pp.

11. JIN, X.;LI, X.;ZHEN, Y., *et al.Determination of the solubility of MgSO4 in the Zinc hydrometallurgy system within the temperature range of 263.15 K–293.15 K*.2023,1-9pp.

12. KHALIL, M. I. and AL-RESAYES, S. I. J. I. J. P. S.*The role of dielectric constant in sodium chloride solution chemistry: Magnitude of super saturation*.7,4,2012,578-583pp.

13. KIM, M.-J.;KIM, S.;SHIN, S. and KIM, G. J. D.*Production of high-purity MgSO4 from seawater desalination brine*.518,2021,115288pp.

14. KOT, F. and KOCHVA, M. J. S. A. S.*Assessment of the cycle and availability of major and trace alkali and alkaline earth metals in the coastal Carmel Ridge, eastern Mediterranean*.2,2020,1-11pp.

15. KUMAR, P.;BISWAS, A. and BANERJEE, S. J. J. O. E. M.*Spatio-temporal variability of seawater mixing in the coastal aquifers based on hydrogeochemical fingerprinting and statistical modeling*.346,2023,118937pp.
16. LALASARI, L. H.;SULISTIYONO, E.;HARJANTO, S., *et al.EFFECTIVENESS OF THE SEPARATION OF MAGNESIUM AND LITHIUM FROM SEAWATER WITH SODIUM SILICATE PRECIPITATION PROCESS*.37,1,2022,21-30pp.
17. LITSKAS, V. D. J. N.*Environmental impact assessment for animal waste, organic and synthetic fertilizers*.4,1,2023,16-25pp.
18. LóPEZ-GARCíA, P.;GELADO-CABALLERO, M. D.;PATEY, M. D. and HERNáNDEZ-BRITO, J. J. J. A. E.*Atmospheric fluxes of soluble nutrients and Fe: More than three years of wet and dry deposition measurements at Gran Canaria (Canary Islands)*.246,2021,118090pp.
19. MACEDONIO, F. and DRIOLI, E. 2017. Chapter 6. Advanced Membrane-Based Desalination Systems for Water and Minerals Extracted From the Sea.
20. MOHAMMAD, A.;EL-NAAS, M.;AL-MARZOUQI, A., *et al.Optimization of magnesium recovery from reject brine for reuse in desalination post-treatment*.31,2019,100810pp.
21. MOHSEN-NIA, M.;AMIRI, H. and JAZI, B. J. J. O. S. C.*Dielectric constants of water, methanol, ethanol, butanol and acetone: measurement and computational study*.39,2010,701-708pp.
22. NENGPARMOI, T.;PRAMEELA, P.;BHINDHU, P., *et al.Response of sweet potato [Ipomoea batatas (L.) Lam.] to magnesium sulphate nutrition*.61,1,2023,127-131pp.
23. PERETTI, M.;PIñEIRO, G.;FERNáNDEZ LONG, M. E. and CARNELOS, D. A.*Influence of the precipitation interval on wet atmospheric deposition*.Atmospheric Environment,237,2020,pp.
24. PERUMAL, K.;ANTONY, J. and MUTHURAMALINGAM, S. J. E. S. E.*Heavy metal pollutants and their spatial distribution in surface sediments from Thondi coast, Palk Bay, South India*.33,1,2021,1-20pp.
25. QUIST-JENSEN, C. A.;MACEDONIO, F.;DRIOLI, E. J. D. and TREATMENT, W.*Membrane crystallization for salts recovery from brine—an experimental and theoretical analysis*.57,16,2016,7593-7603pp.
26. ROVSING, A. H.;SAVRAN, O. and ULRIK, C. S. J. F. I. A.*Magnesium sulfate treatment for acute severe asthma in adultsa systematic review and meta-analysis*.4,2023,1211949pp.
27. SAMIN, J. P.*Removal of calcium from industrial-grade magnesium sulfate solution*.2022,pp.
28. SAPTAMONGKOL, A.;SATA, V.;WONGSA, A., *et al.Hybrid geopolymer paste from high calcium fly ash and glass wool: Mechanical, microstructure, and sulfuric acid and magnesium sulfate resistance characteristics*.76,2023,107245pp.
29. SCHEIDEMA, M. N.;TASKINEN, P. J. I. and RESEARCH, E. C .*Decomposition thermodynamics of magnesium sulfate*.50,16,2011,9550-9556pp.
30. WANG, Q.;NAKOUZI, E.;RYAN, E. A., *et al.Flow-assisted selective mineral extraction from seawater*.9,7,2022,645-649pp.