

## استخدام الأغشية العضوية في تحضير هيدروكسيد الصوديوم من مواد أولية محلية

عبد اللطيف كيتوع\* كمال خضري\*\*، وليد حواله\*\*

\*طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة حلب

\*\* قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة حلب

### الملخص

تمت في هذا البحث دراسة مواصفات الملح الخام السوري من منطقة الجبول، ثم عُولج للتخلص من شوارد الكلسيوم، المغنزيوم، والكبريتات المرافقة. وحضّر الغشاء اللازم للتحليل الكهربائي باستخدام قطعة منسوجة من السيلولوز المحملة بكبريتات الباريوم، ثم وضع في حوض التحليل الكهربائي الذي يتكون من قطب موجب من الغرافيت وقطب سالب من الفولاذ، وتم اختبار الحاجز المسامي عند عدم وجود شوارد كلور في حجرة القطب السالب.

وكتطبيق عملي تم إنتاج هيدروكسيد الصوديوم باستخدام الغشاء المصنّع بعد تحديد شروط العملية المناسبة حيث كانت أفضل النتائج عند درجة الحرارة (30°C)، شدة التيار (1KA/m<sup>2</sup>)، توتر (3.4V)، وتدفق حجمي (4.63E-7)m<sup>3</sup>/sec وكنتيجة لذلك تم الحصول على مردود إنتاجي % (31.6) مقارنة بـ % (35) من مردود الإنتاج في طريقة الغشاء البوليميري المتبعة عالمياً، وبعد تبخير المحلول تم الحصول على بلورات من هيدروكسيد الصوديوم حيث أُجريت له الدراسة التحليلية وكانت النتائج ضمن الحدود المسموحة وفق المواصفة القياسية ASTM E291-18.

بيّنت نتائج الدراسة إمكانية استخدام الملح الخام السوري من منطقة الجبول كمادة أولية في صناعة هيدروكسيد الصوديوم بطريقة الغشاء الكهربائي. الكلمات المفتاحية: الأغشية السيلولوزية، ملح الطعام، السيلولوز، التحليل الكهربائي، التبادل الشاردي، هيدروكسيد الصوديوم.

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2019/8/20

قبل للنشر بتاريخ 2019/11./7.

## Using Organic Membranes in Synthesizing Sodium Hydroxide from Local Raw Materials

Abdullatif Kaitua\*, Kamal Khudary\*\*, Walid Hawale\*\*

\*Postgraduate Student (MSc.) Dept. of Chemistry, Faculty of Science, Univ of

Aleppo

\*\*Dept. of Chemistry, Faculty of Science, University of Aleppo

### Abstract

Sodium hydroxide is a strong chemical compound with the chemical formula NaOH, which is used in many industries. Therefore, we studied the possibility of preparing sodium hydroxide from Syrian raw salt by electrolysis method using a local influence membrane.

The specifications of the Syrian crude salt were studied from the Jubul area and were then treated for the elimination of calcium, magnesium and sulfate. The membrane for electrolysis was prepared using a piece of cellulose loaded with barium sulphate, and the membrane was placed in the electrolysis basin, which consisted of a graphite positive electrode and a negative electrode.

The production of sodium hydroxide using the membrane was done after guaranteeing the optimal conditions (temperature, current intensity, tension, volumetric flow). It was formed in the form of crystals after evaporation of the resulting solution. Then, the analytical study was carried out according to ASTM E291-18.

The results of the study showed the possibility of using Syrian raw salt from the Jubul area as a raw material in the manufacturing of sodium hydroxide in the form of the electrical membrane.

**Keywords:** Cellulose Membranes, Food salt, Cellulose, Electrolysis, Exchange of Sodium, Sodium Hydroxide.

Received 20/8/2019

Accepted 7/11/2019

**1-المقدمة Introduction**

هيدروكسيد الصوديوم مركب كيميائي قوي له الصيغة الكيميائية NaOH، يُعرف أيضاً بالصودا الكاوية (تجارياً يُسمى بالقطرونة، والكوستيك)، يُستخدم في العديد من الصناعات، يتمتع بدرجة ذوبانية عالية جداً في الماء (تصل المحاليل المائية منه إلى تراكيز كبيرة)، ويُعد ملح الطعام (كلوريد الصوديوم NaCl) المصدر الأساسي في صناعته، لذلك كانت كمية إنتاجه مقياساً لتقدم البلد صناعياً، ولهذا كان من الضروري البحث عن إنتاجه بأسعار منخفضة نسبياً، مع ضمان الصحة العامة والسلامة المهنية.

**1-1- توصيف هيدروكسيد الصوديوم**

يمتلك هيدروكسيد الصوديوم مواصفات مميزة نذكر منها [1]:

- يتميّع بسهولة، أبيض اللون، صلب القوام.
- ذو تأثير كاوي على الجلد.
- ذواب بسهولة في الماء مشكلاً محلولاً قلوياً.
- يتفاعل مع الحموض الممددة مكوناً الملح الصوديومي للحمض بالإضافة إلى الماء.

**1-2- طرائق تحضير هيدروكسيد الصوديوم**

حُضر قديماً من معالجة رماد الصودا الناتج من طريقة لوبلان بواسطة هيدروكسيد الكالسيوم [1].



وذلك اعتماداً على أن كربونات الكالسيوم المتشكلة غير منحلة في محلول هيدروكسيد الصوديوم الناتج.

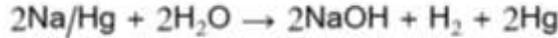
لم تعد هذه الطريقة تُستخدم منذ عام 1962م. واستعيض عنها حالياً بطريقة التحليل الكهربائي لمحلول مركز من كلوريد الصوديوم في الماء [2]، حيث يتحرر غاز الكلور على المصعد، في حين يتشكل كل من غاز الهيدروجين على المهبط وهيدروكسيد الصوديوم في الحجرة المهبطية لوعاء التحليل وفق التفاعل:



وهنا يجب الفصل بين غاز الكلور وهيدروكسيد الصوديوم الناتجين عن عملية التحليل الكهربائي للحصول على كل منهما، ويتم ذلك باستخدام أحد أنواع خلايا التحليل التالية[3]:

#### أولاً- خلية الزئبق المهبطية

هي أقدم الخلايا المستخدمة، ويكون القطب الموجب فيها إما من الغرافيت أو من التيتانيوم، في حين يكون القطب السالب عبارة عن حوض من الزئبق. يعطي التحليل الكهربائي ملغمة (زئبق/صوديوم) التي لا تتفكك بوجود المحلول الملحي المركز، في حين يتم تفكيكها بحوض مائي آخر منفصل حسب المعادلة:



يؤخذ على هذه الطريقة استعمالها للزئبق السام، وهو ما أدى إلى تراجعها مقارنة مع غيرها من الطرائق المستخدمة في هذا المجال.

#### ثانياً- الخلية الحاجبية

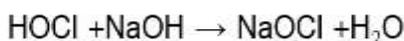
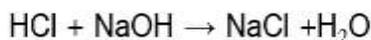
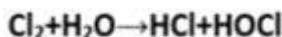
يُستخدم في هذا النوع من الخلايا حاجز (Diaphragm) من الأسبستوس يفصل بين المسارين، مما يسمح بالهجرة الكهربائية للشوارد (الأيونات)، لكنه يقلل من انتشار النواتج. يكون المصعد من الغرافيت أما المهبط فيكون من الحديد الصلب، ويُشترط أن تتم عملية استبدال مستمر للحاجب بشكل منتظم.

#### ثالثاً- الخلية الغشائية

يُستخدم في هذا النوع من الخلايا غشاء نصف نفوذ يفصل بين المصعد و المهبط. يتم التحكم بالهجرة المعاكسة للأيونات من خلال معدّل تدفق السائل خلال الغشاء، والذي يتم من خلال التحكم الدقيق لمستوى السائل في الحجرات. أما الأغشية المستخدمة فهي عبارة عن بوليمرات مثل النافيون[4].

### 1-3-3- تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع غاز الكلور

إذا تم ضخ غاز الكلور في دورق يحوي محلول الصودا الكاوي لمدة كافية يتم الحصول على مزيج من ملحين، هما كلوريد الصوديوم وهيبو كلوريت الصوديوم NaOCl وفق المعادلتين[3]:



### 1-4-4- استخدامات هيدروكسيد الصوديوم

يُعتبر هيدروكسيد الصوديوم قاعدة رئيسة قوية تُستخدم في الصناعات الكيميائية المختلفة[3]:

#### 1-4-1- صناعة الورق

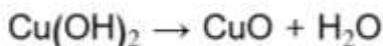
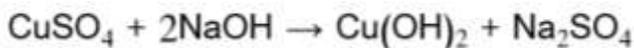
يُستخدم هيدروكسيد الصوديوم على نطاق واسع في صناعة الورق مع كبريتيد الصوديوم، وذلك لفصل مادة (السيليلوز) المستخدم في صناعة الورق عن المواد غير السيليلوزية.

#### 1-4-2- الكشف عن الشقوق القاعدية (الشوارد المعدنية الموجبة الموجبة)

وذلك بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى محلول الملح فيتكوّن راسب ملون

#### 1-4-2-1- الكشف عن شاردة النحاس II ( $\text{Cu}^{2+}$ )

إن تفاعل محلول الملح الحاوي على شوارد النحاس مع محلول هيدروكسيد الصوديوم يعطي راسباً أزرق من هيدروكسيد النحاس، والذي يتحوّل بالتسخين إلى اللون الأسود ( $\text{CuO}$ ):



#### 1-4-2-2- الكشف عن شاردة الألمنيوم $Al^{3+}$

يتفاعل محلول الملح الحاوي على  $Al^{3+}$  مع محلول هيدروكسيد الصوديوم ليعطي رسباً أبيض من هيدروكسيد الألمنيوم يذوب في فائض من هيدروكسيد الصوديوم لتكوين ميتا ألومنيات الصوديوم:



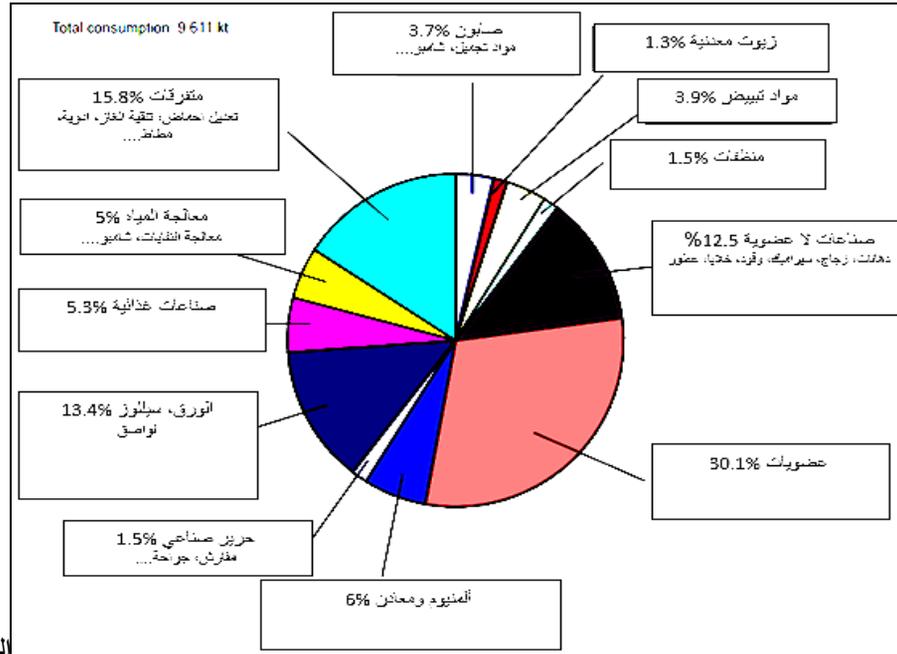
#### 1-4-3- مجالات أخرى [3]

يدخل NaOH في العديد من الصناعات الاستراتيجية والهامة الأخرى مثل: صناعة الصابون - صناعة الحرير الصناعي - تنقية البترول من الشوائب الحامضية- إنتاج الألمنيوم - الحفر والتنقيب عن النفط - إنتاج الوقود- إنتاج الديزل الحيوي - كعامل تنظيف - ترميم نوافذ الزجاج المرصوص - في مختبرات التحليل الكيميائي.

#### 1-5- استهلاك هيدروكسيد الصوديوم NaOH

بحسب طلب المستهلكين فإن هيدروكسيد الصوديوم NaOH يتم تحضيره عموماً بشكلين [4]:

- محلول 50% wt (الأكثر شيوعاً) أو أقل من ذلك.
  - يتواجد دوماً في الحالة الصلبة كحبيبات أو رقائق أو قشور.
- هناك أيضاً تطبيقات يُستخدم فيها هيدروكسيد الصوديوم NaOH بتركيز منخفض عن طريق خفض تركيزه بالتمديد، أو عن طريق الاستخدام المباشر من المصنع قبل تركيزه [4]. يبيّن الشكل رقم (1-1) أهم تطبيقات استخدام هيدروكسيد الصوديوم NaOH في قارة أوروبا ودول الاتحاد الأوربي في عام 2012م [4].



شكل رقم (1) استهلاك هيدروكسيد الصوديوم في قارة أوروبا ودول الاتحاد الأوربي عام 2012م  
كما يبيّن الجدول رقم (1) توزع استهلاك هيدروكسيد الصوديوم مقدراً (%) في  
ألمانيا[4].

الجدول رقم (1) يبين توزع استهلاك هيدروكسيد الصوديوم مقدراً (%) في ألمانيا

توزع الاستهلاك (%)	مجال الاستخدام
57.2	الكيمياء
4.7	معالجة اليوكسيت
10.8	المنظفات
1.2	استرات سيلوزية
4.4	مصانع الورق
1.0	مصانع النسيج
0.6	الصناعات المعدنية
16.8	مجالات أخرى

## 2- أهمية البحث وأهدافه The Importance of this Work and its Aims

يلعب مدى وكيفية استغلال الموارد الطبيعية في أية دولة دوراً أساسياً في تنمية ودعم الاقتصاد الوطني ورفده باستمرار بالمقومات اللازمة لضمان بقائه

متماسكاً، وتُعتبر دراسة الخامات الموجودة هي أولى الخطوات الواجب اتباعها لمعرفة مدى صلاحية هذه الخامات للصناعة المحلية وتوفير طرائق المعالجة اللازمة لها. يهدف هذا البحث إلى تحضير هيدروكسيد الصوديوم انطلاقاً من الملح الخام السوري من منطقة بحيرة الجبول في محافظة حلب، وتتجلى أهمية البحث في فتح الطريق أمام صناعة هامة في سورية للحاجة الماسة لها نظراً لتعدد مجالات استخدامها.

### 3-القسم العملي Experimental Section

#### 3-1-1- الأجهزة والكواشف المستخدمة Apparatus and Reagents

##### 3-1-1-1- الأجهزة Apparatus

- جهاز METROHM لمعايرة حمض-أساس Metrohm Brinkmann 726 Titroprocessor w/ 685 Dosimat Exchange Units + 728 Stirrer
  - سخانة كهربائية AREC مع خلاط مجالها الحراري  $^{\circ}\text{C}(250-0)$ .
  - ميزان تحليلي حساس من نوع Denver Instrument نموذج AA-200 حساسيته  $\text{mg}(\pm 0.1)$ .
  - فرن كهربائي يعمل حتى الدرجة  $^{\circ}\text{C}1700$  ويمتلك عدة أنظمة تسخين صنع شركة (Carbolite) الألمانية (موجود في مختبر الصناعات اللاعضوية-قسم الكيمياء).
  - جهاز التحليل الكهربائي ويتألف من قطب موجب من الغرافيت وقطب سالب من الفولاذ.
  - سحاحة معايرة.
  - جهاز تحديد التدرج الحبيبي ذو المناخل القياسية وهو من صنع شركة Retsch طراز (As.200)، (موجود في مختبر الصناعات اللاعضوية-قسم الكيمياء).
  - قمع بوخنر، محلية هوائية.
  - مقياس PH نوعه Inolab، طراز E163694 ألماني الصنع.
- #### 3-1-2- المواد الكيميائية Chemical Material
- حمض كلور الماء النقي %37 من إنتاج شركة BBH CHIMECAL الانكليزية.
  - نترات الفضة النقية من إنتاج شركة Merck.

- مشعر كالكون، سيانيد البوتاسيوم، هيدروكسيد البوتاسيوم، مشعر الأيروكروم الأسود، EDTA، كلوريد الباريوم، كربونات الصوديوم، مشعر كرومات البوتاسيوم، (جميع هذه المواد نقية من إنتاج شركة Merck).
- ماء مقطر.

### 2-3-2 العمل المخبري Laboratory Work

#### 3-2-1 جمع عينات الملح Collection of Salt Samples

جُمعت عينات الملح من منطقة الجبول جنوب محافظة حلب وفق الطرائق الدولية المتبعة (ASTM D4057-12)، ومن عدّة مستويات في كومة الملح، ثم مُزجت العينات مع بعضها بشكل جيد وحُفظت لإجراء الاختبارات اللاحقة.

#### 3-2-2 الاختبارات الفيزيائية والكيميائية للملح السوري المدروس

##### Physical and Chemical Properties of Studied Syrian Salt

#### 3-2-2-1 الرطوبة Moisture

تُحدد الرطوبة بأخذ 5g من العينة وتوضع في جفنة، ثم توضع في فرن للتجفيف عند درجة حرارة 105°C حتى ثبات الوزن، وتحسب الرطوبة من العلاقة التالية [2]:

$$M\% = [(W2-W1)/W2]*100$$

حيث: W1 وزن العينة بعد التجفيف (g) ، W2 وزن العينة قبل التجفيف (g).

#### 3-2-2-2 الكثافة الظاهرية Bulk Density

تم حساب الكثافة باستخدام مقياس مدرج 500ml ، ثم نضيف إليه الملح الجاف والمطحون لنعومة عالية حتى العلامة المحددة، ثم يوضع على جهاز رجاج لمدة 15min ثم تكمل العينة إلى العلامة، حيث يرج بين لحظة وأخرى لإكمال النقص في العينة عن العلامة المحددة، ثم تؤخذ قراءة الميزان الدالة على وزن الملح وتحسب الكثافة من العلاقة:

$$d = W/V$$

حيث: d- الكثافة (g/cm<sup>3</sup>). W- وزن العينة (g). V- حجم العينة (cm<sup>3</sup>).

### 3-2-2-3-Insoluble المواد غير المنحلة

يتم تحديد نسبة المواد غير المنحلة بأخذ 5g من عينة الملح الجافة والتي تُحل في 100ml من الماء المقطر مع التحريك لمدة 20min حتى تمام الذوبان، يُرشح الناتج على قمع غوش، ثم تجفف في مجفف كهربائي حرارته تقريباً (100-105°C)

تُحسب نسبة المواد غير المنحلة من العلاقة:  $N = (W2-W1/W2)*100$

حيث: N: نسبة المواد غير المنحلة (%), W1: وزن العينة بعد الترميد (g)

W2: وزن العينة الأصلي (5g).

### 3-2-2-4-Salt Concentration Determination تحديد تركيز الملح

يُحل 300g من الملح في الماء المقطر ثم يؤخذ 5 مل من رشاحة المواد غير المنحلة ونكمل الحجم بالماء المقطر إلى 250ml في دورق حجمي، ويؤخذ من هذا الحجم 5ml في دورق حجمي آخر سعة 100ml (أي أخذنا 0.1ml من العينة الأساسية) وتوضع في الأرنماير ونضيف إليها 75ml من الماء المقطر ثم نضيف حوالي 0.5ml من مشعر كرومات البوتاسيوم ونعاير بنترات الفضة حتى ظهور اللون البني [5].

$$\text{NaCl(g/l)} = (V*N*58.44)/VS$$

حيث: V- حجم نترات الفضة (ml) N- نظامية نترات الفضة (0.1N)

VS- حجم العينة (ml) 58.44 الوزن الجزيئي لـ NaCl

### 3-2-2-5-TDS نسبة الأملاح المنحلة

يوضع في أرنماير جاف ومثبت وزنه في فرن كهربائي عند درجة الحرارة 105°C لمدة 15min، وبعد تبريده في الديسكاتور يوضع فيه 5ml من رشاحة المواد غير المنحلة، ويسجل وزن الأرنماير مع المادة، يتم تبخير محتويات الأرنماير على سخانة كهربائية حتى الجفاف، ثم ينقل إلى الفرن الكهربائي عند درجة الحرارة 105°C لمدة 15min، بعدها يبرد من جديد في الديسكاتور لمدة 15min، ثم يوزن بدقة.

تُحسب نسبة الأملاح المنحلة TDS من العلاقة [5]:

$$\text{TDS (g/l)} = (W/WS)100$$

حيث: W: وزن العينة بعد التجفيف (g) \_ Ws: وزن العينة قبل التجفيف (g)

TDS: نسبة الأملاح المنحلة (g/l)

### 3-2-2-6- تحديد تركيز شاردة $Ca^{2+}$

يؤخذ 5ml من الرشاحة السابقة في بيشر 250ml ونضيف إليها 2ml من هيدروكسيد البوتاسيوم (10N) ونحرك المزيج لمدة 5min حتى تترسب شوارد  $Mg^{2+}$  ثم يضاف 1ml من KCN يمدد المزيج حتى 200ml بالماء المقطر، ثم يضاف قليل من مشعر الكالكون فيصبح اللون زهرياً، يعاير المزيج بـ EDTA تركيزه (0.1M) حتى ظهور اللون الأزرق.

يحسب تركيز شاردة الـ  $Ca^{2+}$  من العلاقة [5]:  $N1=(N2*V2*M_w)/V1$

حيث: N1- نسبة شاردة  $Ca^{2+}$  (ppm) ، N2- تركيز EDTA V2- الحجم المستهلك من EDTA ، V1- حجم العينة ،  $M_w$ -الوزن الجزيئي للكالسيوم

### 3-2-2-7- تحديد تركيز شاردتي الكالسيوم $Ca^{2+}$ والمغنسيوم $Mg^{2+}$ :

يؤخذ 200ml ماء مقطر ونضيف إليه 5 مل من المحلول الموقى النشاردي حتى  $ph=9-10$  ثم نضيف 1ml من سيانيد البوتاسيوم ونضيف عدة نقاط من مشعر الايروكروم الأسود ثم يعاير المزيج بواسطة EDTA (0.1M) حتى ظهور اللون الأزرق، ثم يضاف 50ml من العينة إلى المحلول ونتابع المعايرة بـ EDTA حتى ظهور اللون الأزرق.

ويحسب نسبة كل من شاردتي الكالسيوم  $Ca^{2+}$  والمغنسيوم  $Mg^{2+}$  من العلاقة [5]:

$$Mg^{2+}_{(Ppm)} = N(V1 - V2) * M_w * 100 / V_s$$

حيث: N تركيز محلول الـ EDTA ، ، V1 الحجم المستهلك لمعايرة  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$ ، V2 الحجم المستهلك لمعايرة  $Ca^{2+}$  ،  $M_w$ الوزن الجزيئي للمغنسيوم ،  $V_s$  حجم العينة.

### 3-2-2-8- اختبار شاردة السلفات:

يؤخذ 5ml من رشاحة المواد غير المنحلة في بيشر سعة 400ml ثم نمدد الحجم إلى 200ml بالماء المقطر وتضاف قطرتان من مشعر ميتيل أورانج ثم نضيف

1ml من حمض كلور الماء 1N ثم يُسخن المزيج بلطف إلى بداية الغليان، ثم نضيف 1ml من محلول كلوريد الباريوم 10% نقطة نقطة مع التحريك، ثم يُغلى المزيج لمدة نصف ساعة ثم يُبرد إلى درجة حرارة الغرفة لمدة 24h، ثم نرشح المزيج على ورقة ترشيح ويُغسل بالماء المقطر الساخن حتى يعطي اختبارا سلبيا بعد إضافة نترات الفضة إليها، تُوضع ورقة الترشيح مع الراسب في بوتقة مجففة سابقا في الدرجة 800°C لمدة 30min ومبردة في الديسكاتور وموزونة وهي فارغة ونضعها في فرن تجفيف في الدرجة 105°C لمدة نصف ساعة ثم نحرق على لهب ويجب الانتباه إلى عدم اشتعال الورقة ثم نضع البوتقة في المرمدة في الدرجة 800°C لمدة نصف ساعة ثم نبرد في الديسكاتور لمدة نصف ساعة ثم تُوزن:

$$SO_4^{2-}(\text{Ppm}) = [(A-B) \times 96.0616 \times 1000] / (WS \times 233.4016)$$

حيث: A- وزن العينة مع البوتقة(g)، B- وزن البوتقة فارغة(g)،  $W_S$ - حجم العينة المأخوذة(ml).

### 3-2-3- تحضير الغشاء Preparation of Membrane

تم تحضير الغشاء عن طريق استخدام قطعة قماشية (سيللوزية) بقياس 10\*10cm وتحميلها بطبقة من كبريتات الباريوم بسماكة (1mm)، وحجم حبيبات (25μ) وسطياً، ثم إخاطة القطعة حتى الحصول على مربعات قياس 0.5\*0.5cm، يوضح الشكل رقم (2) صورة الغشاء المستخدم.

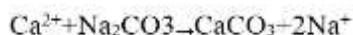


الشكل (2) الغشاء السيللوزي المحضر

## 4-النتائج والمناقشة Results and Discussion

### 1-4- مواصفات الملح Specifications of Salt

يوضح الجدول رقم (2) الاختبارات المطبقة على الملح الخام فعالية عملية التنقية فقد ارتفعت نسبة نقاوة الملح وانخفضت نسبة الشوائب المرافقة وتغير لون الملح من الأبيض المسمر إلى اللون الأبيض، وهذه النتائج تدل على تحسن في مواصفات الملح، وذلك بعد معالجة الملح بكاربونات الصوديوم وكلوريد الباريوم وترشيح الناتج ثم تجفيف الرشاحة حسب المعادلات التالية:



الجدول رقم (2) الخواص الفيزيائية والكيميائية للملح قبل وبعد المعالجة

الاختبار	الواحدة	قبل المعالجة	بعد المعالجة
المظهر	-	حبيبات بيضاء مسمرة	حبيبات بيضاء
النقاوة	%	98.15	98.99
الرطوبة	%	5.82	0.092
شوارد الكالسيوم	ppm	0.320	0
شوارد المغنيزيوم	ppm	0.515	0
شوارد الكبريتات	ppm	0.004745	0
الانحلالية	%	0.2987	0.301
PH/25C°	-	7.1	7.2
نسبة المواد غير المنحلة	%	0.88	0
TDS	g/l	305	299

### 4-2- تحديد الشروط المثلى للعمل من كثافة تيار والتوتر

تم تحديد الشروط المثلى لإنتاج هيدروكسيد الصوديوم بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول الملح المحلي ذي التركيز (300 غ/ل) باستخدام غشاء من السيلولوز المحمل بكبريتات الباريوم أو ضمن خلية التحليل الموضحة بالشكل رقم (3).



الشكل رقم(3) يوضح شكل خلية التحليل الكهربائي المستخدمة في إنتاج NaOH

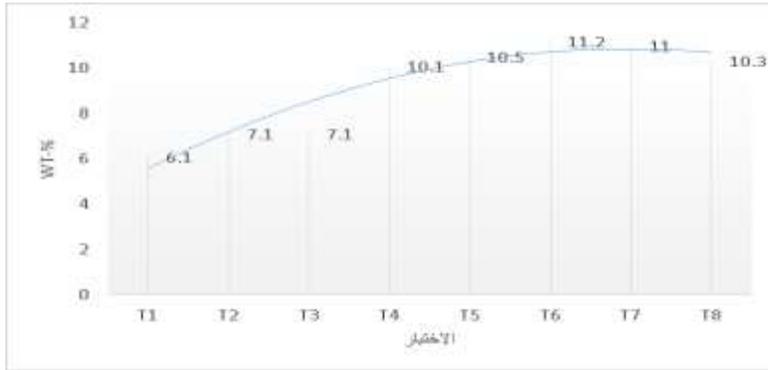
#### 4-2-1- اختبار إنتاج هيدروكسيد الصوديوم عند تغيير التوتر المطبق

يوضّح الجدول رقم (3) الشروط المثلى لإنتاج الصودا الكاوية بواسطة التحليل الكهربائي باستخدام حاجز مسامي من كبريتات الباريوم المحمل على غشاء من السيللوز، وذلك بعد تغيير التوتر في كل مرة وتنشيط كثافة التيار عند ( $1\text{KA}/\text{m}^2$ ) وكانت النتائج كالتالي:

الجدول رقم (3) تغيير تركيز هيدروكسيد الصوديوم بالعلاقة مع تغيير التوتر المطبق

اختبار إنتاج هيدروكسيد الصوديوم عند تغيير الفولط المطبق باستخدام الحاجز المسامي من السيللوز								
T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	الاختبار
3.8	3.6	3.4	3.2	3	2.2	2	1.8	التوتر المطبق (V)
1								كثافة التيار ( $\text{KA}/\text{m}^2$ )
10.3	11	11.2	10.5	10.1	7.1	7.1	6.1	تركيز الصودا بعد التحليل (% wt)

نلاحظ من الجدول رقم (3) ارتفاع تركيز الصودا الكاوية عند توتر  $3.6\text{V}$ - $3.2\text{V}$  وكثافة تيار ( $1\text{KA}/\text{m}^2$ )، يوضح الشكل رقم (4) منحنى تغيير تركيز الصودا الكاوية مع تغيير شدة التيار.



الشكل رقم(4) تغير تركيز هيدروكسيد الصوديوم مع تغير شدة التوتّر

#### 4-2-2- إنتاج هيدروكسيد الصوديوم عند تغيير كثافة التيار المطبق

يوضّح الجدول رقم (4) تغير تركيز الصودا الكاوية المنتجة بواسطة التحليل

الكهربائي باستخدام حاجز مسامي من كبريتات الباريوم المحمل على غشاء من

السيللوز ، وذلك بعد تغيير كثافة التيار في كل مرة وتثبيت التوتّر عند  $V(3.4)$ .

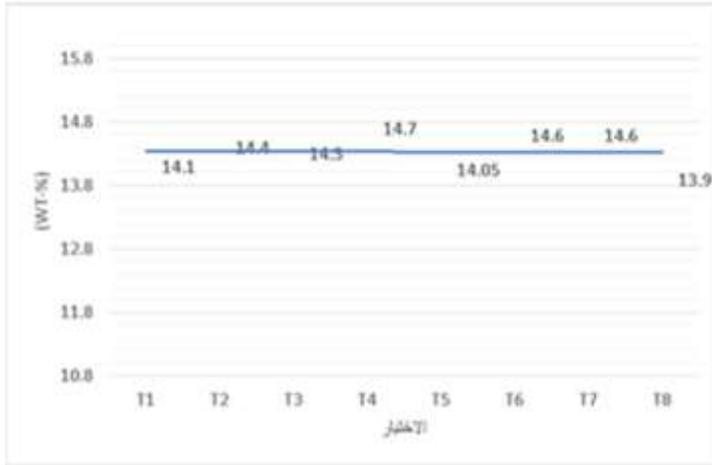
الجدول رقم (4) تغير تركيز الصودا الكاوية بدلالة تغيير كثافة التيار

اختبار إنتاج الصودا الكاوية عند تغيير كثافة التيار المطبق باستخدام الحاجز المسامي من كبريتات الباريوم والسيللوز								
T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	الاختبار
6.5	6	5.5	5	4	3	2	1	كثافة التيار ( $KA/m^2$ )
3.4								التوتّر المطبق (V)
13.9	14.6	14.6	14.05	14.7	14.3	14.4	14.1	تركيز الصودا بعد التحليل (% wt)

حيث نلاحظ من الجدول السابق أن كثافة التيار لا تؤثر بشكل كبير في

تركيز المنتج وإنما تؤثر على سرعة التحليل الكهربائي، كما هو موضّح بالشكل رقم

(5).



الشكل رقم(5) تغير تركيز هيدروكسيد الصوديوم مع كثافة التيار الكهربائي

#### 4-2-3- استحصال الصودا الكاوية عند درجات حرارة مختلفة

يوضح الجدول رقم (5) إنتاج الصودا الكاوية بواسطة التحليل الكهربائي باستخدام حاجز مسامي من كبريتات الباريوم المحمل على غشاء من السيللوز، وذلك بعد تغيير درجة الحرارة في كل مرة وتثبيت الفولط عند  $V(3.4)$  وكثافة التيار الكهربائي عند  $(1KA/m^2)$  وكانت النتائج كما في الجدول رقم(5).

الجدول رقم (5) يوضح تغير تركيز الصودا الكاوية بالعلاقة مع درجة حرارة المحلول

اختبار إنتاج الصودا الكاوية عند تغيير درجة حرارة المحلول الملحي المطبق باستخدام الحاجز المسامي من كبريتات الباريوم والسيللوز								
T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	الاختبار
1								كثافة التيار $(KA/m^2)$
3.4								الفولط المطبق (V)
45	40	35	30	25	20	15	10	درجة الحرارة ( $^{\circ}C$ )
21.2	21.2	21.6	21.8	20.4	18.8	18.3	18.3	تركيز الصودا بعد التحليل (% wt)

نلاحظ مما سبق أن أفضل الشروط لاستحصال الصودا الكاوية هي عند درجة حرارة  $30^{\circ}C$ .

#### 4-2-4- استحصال الصودا الكاوية وفقاً لنفوذية الغشاء المحضر

حُدثت نفوذية الغشاء وفق علاقة دارسي وذلك بحساب معدّل التدفق الحجمي

الماء عبر الغشاء عن طريق تحديد الزمن اللازم لمرور حجم محدد من الماء وذلك بتطبيق ضغط منخفض [5].

$k=Q.\mu.\Delta L/A.\Delta p$								
-النفوذية ( $m^2$ ) أو (darcy) : $1\text{darcy} = 1 \times 10^{-12} m^2$								حيث: K
-A المساحة السطحية للغشاء ( $m^2$ ).				-التدفق الحجمي ( $m^3/sec$ )				Q
- $\Delta p$ فرق الضغط بين وجهي الغشاء (Pa).				-اللزوجة الحركية P.s				$\mu$
				- $\Delta L$ سماكة الغشاء (m).				
<b>الجدول (6) تركيز هيدروكسيد الصوديوم مع تغير تدفق المحلول الملحي عبر الغشاء</b>								
اختبار إنتاج الصودا الكاوية عند تغيير تدفق المحلول الملحي باستخدام الحاجز المسامي من كبريتات الباريوم والسيللوز								
T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	الاختبار
1								كثافة التيار ( $KA/m^2$ )
3.4								الفولط المطبق (V)
30								درجة الحرارة ( $^{\circ}C$ )
3.08	3.96	4.63	5.55	6.94	9.25	13.8	27.7	سرعة التدفق ( $m^3/sec$ )* $10^{-7}$
26	28.3	28.6	28.5	24.3	21.8	18.5	10.2	تركيز هيدروكسيد الصوديوم (% wt)

نلاحظ من الجدول رقم (6) أن تركيز NaOH المحضر يزداد مع زيادة سرعة تدفق المحلول الملحي ذي التركيز (300g/l) حتى سرعة معينة يبدأ فيها التركيز بالتناقص بسبب عدم اكتمال التفاعل على الأقطاب، كما نشير إلى أنه تم تغيير نفوذية الغشاء عن طريق زيادة أو إنقاص نسبة تحميل كبريتات الباريوم على الغشاء وبالتالي يتغير تدفق المحلول الملحي يوضح الشكل رقم (6) شكل الهيدروكسيد الناتج بعد التجفيف.



الشكل رقم (6) يوضح شكل الهيدروكسيد الناتج بعد التجفيف

## 5-الاستنتاجات Conclusions

1. بيّنت نتائج الدراسة أن التوتر الأمثل لإنتاج NaOH من NaCl المحلي للتحليل الكهربائي باستخدام غشاء من السيللوز المحمل بكبريتات الباريوم والمحضر محلياً هي  $V=(3.2-3.6)v$
2. تبين أن كثافة التيار الكهربائي لا تؤثر بشكل ملحوظ على تركيز NaOH المنتج، إلا أنها تلعب دوراً ملحوظاً في زيادة سرعة عملية التحليل.
3. أظهرت النتائج أن استخدام غشاء سيللوزي محمل بكبريتات الباريوم كغشاء نفوذ، يعطي تراكيز أفضل لـ NaOH بالمقارنة مع استخدامه منفرداً.
4. دلت نتائج الدراسة أن درجة حرارة تدفق المحلول عبر الغشاء المحضر تؤثر بشكل جيد على مردود عملية التحضير، مع الإشارة إلى أن درجة الحرارة المثلى هي  $30^{\circ}C$ .
5. أثبتت الدراسة أن سرعة تدفق المحلول الملحي تؤثر بشكل كبير على مردود NaOH المحضر بهذا البحث، وأن المردود الأمثل لـ NaOH يتم عند سرعات التدفق المنخفضة  $(4.63E-7)m^3/sec$ .

### المراجع العلمية

- 1-ZUMDAHL S., 2009 – **Chemical Principles**. Houghton Mifflin, 6<sup>th</sup> Ed, England, A23.
- 2-وتي عبد الله، حواله وليد، أدنا صلاح، 2004 \_ **الصناعات الكيميائية اللاعضوية(2)**. القسم العملي، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية بحلب، سوريا، 300 صفحة.
- 3-وتي عبد الله، حواله وليد، 2014 \_ **الصناعات الكيميائية اللاعضوية(2)**. القسم النظري، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية بحلب، سوريا، 450 صفحة.
- 4-**Brinkmann T,Santonja G,Schorcht F,Roudier S,Sancho L., 2014 - Reference Document for the Production of Chlor-alkali**. European Commission. Page 340.
5. **O'Brien, T. F., Bommaraju, T. V. & Hine, F.** Handbook of Chlor-Alkali Technology Vol. 1 (Springer, 2005).
6. Fauvarque, J,1996\_ **The Chlorine Industry**. Pure. Appl. Chem. 68, 1713–1720 .

7. Lakshmanan, S. & Murugesan, T,(2014), **The Chlor-Alkali Process: Work in Progress.**Clean. Technol. Environ. Policy 16, 225–234.
8. **Division H.H. Dow**(2015), **Industrial Electrochemistry and Electrochemical Engineering memorial Student Achievement Award.** Electrochem. Soc. Interface 24, 72–72
10. **Wang, X. N.**(2014) **An economic Receding horizon optimization approach for energy management in the chloralkali**
11. **Jung, J., Postels, S. & Bardow, (2014). A. Cleaner chlorine production using oxygen depolarized cathodes? a life cycle assessment.** J. Clean. Prod. 80, 46–56
12. **Karlsson, R. K. B. & Cornell, (2016). A. Selectivity between oxygen and chlorine ,evolution in the chlor-alkali and chlorate processes.** Chem. Rev. 116, 2982–3028
13. **Al-Hamaiedeh, H. D (2016). electrochemical generation of Active chlorine.** Desalin. Water Treat. 51.