Libyan Journal of Medical and Applied Sciences LJMAS
Online ISSN: 3006-1113
Volume 1, Issue 1, 2025, Page No: 14-22
Website: https://ljmas.com/index.php/journal/index

تأثير نسبة هيدروكسيد الصوديوم على خصائص الصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي

نجم الدين اللالي [1*]، سليمان حسن علي [2]، عبدالرؤوف الأمير محمد [3]، عبدالعاطي امحمد خليل [4]
[1] كلية الصيدلة، جامعة الزاوية، الزاوية ليبيا
[2] قسم الكيمياء، كلية العلوم العجيلات، جامعة الزاوية، ليبيا
[3] كلية العلوم صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا
[4] كلية العلوم رقدالين، جامعة صبراتة، ليبيا

The effect of sodium hydroxide on the properties of soap produced by the basic saponification reaction

Najmeddin Ellali [1*], Suliman Hasen Ali [2], Abduraouf Alamer Mohamed [3], Abdulati E. Khalil [4]
[1] Faculty of Pharmacy, University of Zawiyah, Zawiyah, Libya
[2] Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zawia, Libya
[3] Faculty of Science, Saburatah, Sabratha University, Libya
[4] Faculty of Science, Riqdalin. Sabratha University, Libya
[*]*Corresponding author: najmiellali@yahoo.com*

Received: March 19, 2025 Accepted: April 20, 2025 Published: April 27, 2025

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي باستخدام زيت الزيتون كمصدر رئيسي للدهون، وقد تم تنفيذ تجربة مخبرية أُعدّت فيها خمس عينات من الصابون باستخدام نسب متفاوتة من NaOH (90%، 100%، 110%، 120%، و130% من النسبة المتكافئة)، مع تثبيت بقية الشروط التفاعلية، وجرى تقييم خصائص كل عينة من حيث درجة الحموضة(pH) ، الصلابة، القدرة على التكوين الرغوي، وقابلية الذوبان، باستخدام أدوات ومعايير قياس معتمدة.

أظهرت النتائج وجود علاقة طردية بين تركيز NaOH وخصائص الصابون من حيث الصلابة والرغوة، في حين ارتفعت درجة الحموضة بشكل ملحوظ عند التركيزات الأعلى، ما قد يؤثر على السلامة الجلدية، كما انخفضت قابلية الذوبان تدريجيًا مع زيادة تركيز القاعدة، مما يشير إلى تكوّن منتج أكثر صلابة وأقل استهلاكًا، وقد أشارت البيانات إلى أن أفضل توازن في الخصائص تم تحقيقه عند تركيز يقارب 110% من النسبة المتكافئة.

تؤكد هذه الدراسة أن التحكم الدقيق في تركيز NaOH يُعد عاملًا حاسمًا في تحسين جودة الصابون المصنع، وتوصي باعتماد هذا التركيز المرجعي في عمليات التصنيع التي تستند إلى زيت الزيتون، كما تُبرز إمكانية الاستفادة من هذا النموذج في تطوير منتجات طبيعية فعالة وآمنة، تلبّي متطلبات الاستخدام المنزلي والصحي.

الكلمات المفتاحية: عملية التصبن، تركيز هيدروكسيد الصوديوم، صابون زيت الزيتون، تصنيع الصابون الطبيعي، درجة الحموضة، صلابة الصابون، تكوين الرغوة.

Abstract:

This research evaluates the NaOH concentration impact on soap physical and chemical attributes which result from saponification reactions where olive oil functions as the main fat material. This laboratory study created five different soap samples through the use of NaOH solutions with increasing concentrations (90%, 100%, 110%, 120%, and 130% of stoichiometric amount) while maintaining all other reaction parameters steady. Standardized tools and procedures were used to evaluate each sample regarding their pH levels and hardness together with their ability to foam and dissolve.

The laboratory results indicated that increasing NaOH concentration in soap solutions led to improved hardness and foam generation. Higher NaOH concentrations led to substantial pH value increases that might affect skin safety during use. The soap became more durable as base concentration increased because solubility levels decreased steadily. The experimental results showed that the best combination of soap properties occurred when using NaOH at 110% of its stoichiometric concentration.

The findings demonstrate that NaOH concentration control plays an essential role in soap quality improvement therefore this reference concentration should be utilized in olive oil-based production. This model demonstrates its capability to create natural cleaning products which are effective and safe for skin use in domestic and healthcare settings.

Keywords: Saponification process, Sodium hydroxide concentration, Olive oil-based soap, Natural soap formulation, Acidity (pH), Soap hardness, Foam formation.

المقدمة:

يُعد الصابون من أقدم المواد الكيميائية التي عرفها الإنسان واستخدمها في التنظيف والعناية الشخصية، إذ تشير الدلائل التاريخية إلى أن الحضارات القديمة كالسومريين والمصريين استخدموا مزيجًا من الدهون ورماد الخشب لتحضير مركبات مشابهة للصابون منذ آلاف السنين، وتطورت هذه الصناعة لاحقًا لتأخذ طابعًا علميًا دقيقًا، خصوصًا مع فهم التفاعل الأساسي المسؤول عن تكوين الصابون، والمعروف باسم تفاعل التصبن القاعدي، وهو تفاعل يتم بين الدهون الثلاثية وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) لإنتاج أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية (وهي المكوّن الفعّال للصابون) بالإضافة إلى الجليسرين كمركب ثانوي:

$$C_3H_5(COOR)_3 + 3NaOH \rightarrow C_3H_5(OH)_3 + 3RCOONa$$

تتوقف جودة الصابون الناتج على عدة عوامل، من أهمها تركيز القاعدة القلوية (NaOH) المستخدمة في التفاعل. إذ يؤدي التفاوت في هذه النسبة إلى تغيرات جوهرية في الخواص الفيزيائية والكيميائية للصابون، مثل درجة الحموضة(pH) ، ودرجة الصلابة، وقدرة الرغوة، والقابلية للذوبان، وعليه، فإن التحكم الدقيق بنسبة هيدروكسيد الصوديوم يُعد أمرًا بالغ الأهمية لضمان إنتاج صابون ذي جودة مناسبة وآمن للاستعمال البشري، وخاصة من الناحية الجلدية (Singh & Soni, 2019).

تشير الأدبيات العلمية إلى أن زيادة تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) عن النسبة المتكافئة المطلوبة لتفاعل التصبن قد تؤدي إلى ارتفاع مفرط في درجة الحموضة (pH) في الصابون الناتج، مما قد يُسبب آثارًا جلدية غير مرغوبة مثل التهيّج أو الجفاف، لا سيما عند الاستخدام المتكرر أو لدى الأشخاص ذوي البشرة الحساسة، وفي المقابل، فإن نقص تركيز NaOH عن الحد اللازم يُسفر عن تفاعل غير مكتمل، ينتج عنه صابون يحتوي على زيوت غير متصبنة، ويظهر بوضوح من خلال الملمس الدهني وضعف القدرة التنظيفية والرغوية. لذلك، فإن تحديد النسبة المثلى لهيدروكسيد الصوديوم لا يُعد مجرد قرار تقني في المعالجة الصناعية، بل هو عنصر جوهري لضبط التوازن الكيميائي للتفاعل، وضمان كفاءة الصابون من حيث الخصائص الفيزيائية والكيميائية وسلامته عند الاستخدام البشري (Ali et al., 2016).

وتبرز أهمية هذا البحث من خلال الحاجة إلى تطوير معايير كمية دقيقة تعتمد على التجريب المعملي، لضبط تركيز هيدروكسيد الصوديوم بما يتناسب مع نوعية الدهون أو الزيوت المستخدمة، وذلك في ضوء التوجّه العالمي نحو تصنيع منتجات أكثر أمانًا للبيئة والإنسان على حد سواء، دون المساس بكفاءة التنظيف أو فعالية الاستخدام.

الأهداف

الهدف الرئيسي: تحليل تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي.

الأهداف الفرعية:

1. تحديد النسبة المثلى من NaOH التي تحقق توازنًا بين جودة الصابون وسلامته الجلدية.
2. تقييم التغيرات في درجة الحموضة، والصلابة، والرغوة، وقابلية الذوبان الناتجة عن اختلاف تركيز القاعدة.

الإطار النظري

يُعد الصابون من أكثر المركبات الكيميائية استخدامًا في الحياة اليومية، ويقوم أساسًا على تفاعل التصبن القاعدي بين الدهون أو الزيوت الطبيعية وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، لإنتاج أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية، وهي المكوّن الفعّال في الصابون، بالإضافة إلى الجليسرين كمركب ثانوي، وتُعد دقة النسبة بين NaOH والزيت عنصرًا حاسمًا في تحديد جودة الصابون من حيث القلوية، القوام، والرغوة، ويُستخدم زيت الزيتون في هذا السياق نظرًا لغناه بحمض الأوليك، ما يجعله مناسبًا لإنتاج صابون ناعم وآمن على البشرة، لكن فعالية المنتج تبقى مرهونة بضبط تركيز القاعدة القلوية بدقة أثناء التفاعل.

أولا: الصابون (المفهوم والتركيب الكيميائي)

يُعرَّف الصابون كيميائيًا بأنه ملح لقاعدة قوية (كـهيدروكسيد الصوديومNaOH) مع حمض دهني طويل السلسلة، ويُصنَّف ضمن المركبات العضوية السطحية الفعّالة، لما يتمتع به من قدرة على خفض التوتر السطحي للماء، مما يُسهّل إزالة الشوائب والدهون من الأسطح، ويتكوّن جزيء الصابون من بنية مزدوجة القطبية تشمل:

- ذيل كربوهيدروجيني غير قطبي (محب للدهن)
- رأس كربوكسيلي قطبي مشحون (محب للماء)

وهذا التركيب المزدوج هو ما يمنح الصابون خاصية الاستحلاب، حيث ينجذب الذيل إلى الزيوت والشحوم بينما يتفاعل الرأس مع جزيئات الماء، مما يسمح بتفكيك الشوائب الدهنية وإذابتها في الماء أثناء عملية الغسل (McClements, 2015).

يتم إنتاج الصابون صناعيًا من خلال تفاعل كيميائي يُعرف باسم التصبن القاعدي(Saponification) ، والذي يتم عند تفاعل الدهون الثلاثية (Triglycerides)مع هيدروكسيد الصوديوم(NaOH) ، مما يؤدي إلى تفكك روابط الإستر وتكوين أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية (الصابون)، بالإضافة إلى الجليسرين (Glycerol) كمركب ثانوي.

ويمكن تمثيل هذا التفاعل على النحو التالي (Morrison & Boyd, 2004).

$$C_3H_5(COOR)_3 + 3NaOH \rightarrow 3RCOONa + C_3H_5(OH)_3$$

حيث:

- $C_3H_5(COOR)_3$ تمثل الدهون الثلاثية
- RCOONa هو الصابون (ملح الصوديوم لحمض دهني)
- $C_3H_5(OH)_3$ هو الجليسرين

تُشتق الأحماض الدهنية الداخلة في تركيب الصابون غالبًا من زيوت طبيعية نباتية، ويُعد حمض الأولييك($C_{17}H_{33}COOH$) ، الموجود بنسبة مرتفعة في زيت الزيتون، من أبرز هذه الأحماض، وعند تفاعله مع هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، يتكوّن ملح أوليات الصوديوم($C_{17}H_{33}COONa$) ، وهو أحد المكونات الأساسية في صابون زيت الزيتون.
ويتميّز هذا النوع من الصابون بخصائص لطيفة على الجلد نظرًا لأن حمض الأولييك حمض دهني أحادي غير مشبع، مما يُكسب الصابون نعومة ومرونة مناسبة للاستعمال الجلدي(Shahidi & Zhong, 2005) .
تختلف خصائص الصابون الناتج باختلاف نوع الأحماض الدهنية الداخلة في تركيبه؛ حيث تُنتج الأحماض الدهنية المشبعة مثل حمض البالمتيك ($C_{15}H_{31}COOH$)صابونًا أكثر صلابة وتماسكًا، في حين أن الأحماض غير المشبعة، وعلى رأسها حمض الأولييك ($C_{17}H_{33}COOH$)، تمنح الصابون نعومة أعلى وسهولة في الذوبان عند الاستخدام، وتبرز أهمية هذه الاختلافات في التأثير المباشر للتركيب الكيميائي على الخواص الفيزيائية للصابون، مثل درجة الصلابة، القدرة على التكوين الرغوي، وسرعة الذوبان، وهي خواص ترتبط أيضًا بنسبة المكونات، لا سيما تركيز القاعدة القلوية (NaOH) المستخدمة أثناء تفاعل التصبن.(Masoodi & Chauhan, 2016)

ثانيا: تفاعل التصبن القاعدي

يُعد تفاعل التصبن القاعدي (Saponification) أحد التفاعلات الأساسية في الكيمياء العضوية التطبيقية، ويُمثّل نموذجًا لتفاعلات التحلل القاعدي للإسترات. يتم هذا التفاعل عندما تتفاعل الدهون الثلاثية(Triglycerides) ، وهي إسترات ناتجة عن اتحاد الجليسرول مع ثلاثة أحماض دهنية، مع هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، لتكوين أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية (الصابون)، بالإضافة إلى الجليسرين (Glycerol) كمركب ثانوي (Gunstone, 2004).
يُصنّف تفاعل التصبن القاعدي كونه تفاعلًا غير عكسي(Irreversible reaction) ، حيث لا يمكن للنواتج أن تعود إلى الحالة الأصلية (الدهون الثلاثية) في الظروف الاعتيادية.
يُجرى هذا التفاعل عادةً في وسط مائي وتتراوح درجة حرارته بين 40إلى 70 درجة مئوية، تبعًا لطبيعة الزيت المستخدم، ونوع القاعدة، ومدى الرغبة في تسريع التفاعل أو التحكم في خواص المنتج النهائي(Shahidi, 2005) .
الصيغة العامة للتفاعل يمكن تمثيلها كما يأتي:

$$\text{Triglyceride} + 3\text{NaOH} \rightarrow 3\text{RCOONa} + C_3H_5(OH)_3$$

وعند استخدام زيت الزيتون، الذي يحتوي بشكل رئيس على حمض الأولييك($C_{17}H_{33}COOH$) ، فإن التفاعل يكون على النحو الآتي:

$$(C_{17}H_{33}COO)_3C_3H_5 + 3\text{NaOH} \rightarrow 3C_{17}H_{33}COONa + C_3H_5(OH)_3$$

ويمثل الناتج:

- $C_{17}H_{33}COONa$: أوليات الصوديوم (الصابون).
- $C_3H_5(OH)_3$: الجليسرين.

تتم آلية تفاعل التصبن القاعدي عبر تحلل رابطة الإستر في جزيئات الدهون الثلاثية تحت تأثير قاعدة قوية. تبدأ الآلية بهجوم أيون الهيدروكسيد (OH^-)على ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل (C=O) ضمن رابطة الإستر، مما يؤدي إلى تكوين كحول (الجليسرين) وأنيون الحمض الدهني ($RCOO^-$)، يتفاعل هذا الأنيون لاحقًا مع أيون الصوديوم (Na^+) لتكوين ملح الصوديوم للأحماض الدهنية(RCOONa) ، وهو الصابون (Smith & Vollmer, 2011).
تُعد نسبة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) إلى كمية الدهون الثلاثية في تفاعل التصبن من العوامل الجوهرية التي تُحدد مدى اكتمال التفاعل وكفاءة المنتج النهائي، ففي حال كانت كمية NaOH أقل من الكمية المتكافئة اللازمة لتحلل جميع روابط الإستر، فإن جزءًا من الزيوت يبقى غير متفاعل، مما يؤدي إلى إنتاج صابون ناقص التصبن بملمس دهني وضعيف الأداء، في المقابل، فإن زيادة NaOH عن الحد المطلوب تؤدي إلى فائض من القاعدة في المزيج، مما يُنتج صابونًا مفرط القلوية، وقد يُسبب ذلك تهيّجًا جلديًا أو جفافًا عند الاستخدام، خصوصًا للبشرة الحساسة (Osei-Bonsu et al., 2019).
تُعد قيمة التصبن (Saponification Value) من المعايير الأساسية المستخدمة في حساب كمية القاعدة المطلوبة في تفاعل التصبن القاعدي، وتُعرّف بأنها كمية هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) اللازمة لتصبن غرام واحد من المادة الدهنية، وتُستخدم هذه القيمة في التطبيقات الصناعية والتجريبية لضمان دقة النسب بين المكونات، مما يُسهم في تحضير صابون عالي الجودة ومتزن كيميائيًا (Kumar & Sharma, 2017).

ثالثا: أثر تركيز هيدروكسيد الصوديوم في ناتج التفاعل

يُعد تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أحد العوامل الحاسمة في نجاح تفاعل التصبن القاعدي من الناحية الكيميائية والعملية، فباعتباره المتفاعل القلوي الأساسي في التفاعل إلى جانب الدهون الثلاثية(Triglycerides) ، فإن النسبة الدقيقة من NaOH هي التي تُحدّد ما إذا كان التفاعل سيتم بصورة كاملة أم سيبقى جزئيًا غير مكتمل، ويترتّب على ذلك اختلاف مباشر في جودة الصابون الناتج، من حيث ثباته الكيميائي، وخصائصه الفيزيائية، مثل القوام، والقلوية، والرغوة(Ali et al., 2016) .
يحدث التصبن القاعدي عندما تتفاعل الروابط الإستيرية في جزيء الدهون الثلاثية مع أيونات الهيدروكسيدOH^- ، لتنتج أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية (الصابون) بالإضافة إلى الجليسرين، ويمكن تمثيل التفاعل كما يلي:

$$C_3H_5(COOR)_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow 3\text{RCOONa} + C_3H_5(OH)_3$$

وتعتمد كفاءة هذا التفاعل بشكل كبير على تحقيق النسبة المتكافئة (Stoichiometric ratio) بين عدد مولات NaOH وعدد روابط الإستر في جزيئات الدهون، وفي حال تحقق هذه النسبة، فإن جميع الروابط تتحلل، وينتج الصابون في صورة نقية ومتجانسة، بتركيبة مستقرة ومتزنة من حيث درجة الحموضة والخواص الفيزيائية الأخرى.
عند استخدام كمية غير كافية من NaOH في تفاعل التصبن، تبقى بعض جزيئات الدهون الثلاثية دون تفاعل، مما يؤدي إلى إنتاج صابون ناقص التصبن يحتوي على بقايا دهنية، ويتميز بخصائص غير متوازنة مثل الملمس الدهني، وضعف إنتاج الرغوة، وانخفاض درجة الحموضة (pH) إلى مستويات أقرب للمتعادل، مما يُقلل من كفاءة الصابون التنظيفية (Pelaez et al., 2019).

على الجانب الآخر، فإن زيادة تركيز NaOH عن النسبة المتكافئة تؤدي إلى فائض من القاعدة القوية في ناتج التفاعل، وهو ما يرفع قلوية لصابون إلى مستويات قد تتجاوز pH = 10.5. وتُعد هذه القلوية الزائدة غير آمنة للاستخدام الجلدي، وخاصة لدى الأشخاص ذوي البشرة الحساسة، حيث قد تُسبب جفافًا، تهيّجًا، أو اضطرابًا في التوازن الحمضي الطبيعي للجلد.
تُشير الدراسات الحديثة إلى أن العلاقة بين تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وخصائص الصابون الناتج ليست علاقة خطية مباشرة، بل تتبع منحنى تفاعليًا توجد عنده نقطة توازن مثالية، يُنتَج فيها الصابون بجودة مثالية، من حيث اكتمال التصبن، والثبات الكيميائي، والملاءمة الجلدية.
ويُحدد هذا التوازن من خلال حساب ما يُعرف بـ قيمة التصبن(Saponification Value) ، والتي تعبّر عن كمية NaOHأو KOH اللازمة لتصبن 1غرام من المادة الدهنية. فعلى سبيل المثال، تتطلب الدهون الموجودة في زيت الزيتون، الغني بـ حمض الأوليك($C_{17}H_{33}COOH$) ، قيمة تصبن تقارب 0.134غرام NaOH لكل غرام زيت، وأي انحراف عن هذه القيمة سواء بالزيادة أو النقصان يؤدي إلى تغيّر ملحوظ في خصائص الصابون (Ayoub et al., 2013).
ويؤدي تجاوز هذه القيمة، دون ضبط دقيق، إلى تكوين صابون أكثر صلابة لكنه أقل ذوبانًا، مما قد يؤثر على أداء الصابون في الاستخدام اليومي، فضلًا عن قلوية زائدة غير مرغوبة، في المقابل، فإن التقليل دون هذه القيمة يؤدي إلى ضعف في الخصائص الأساسية، مثل تكوين الرغوة أو فعالية إزالة الشوائب.
إن هذا التوازن الحساس في تركيز القاعدة يجعل NaOH ليس مجرد مادة متفاعلة، بل عامل تحكم أساسي في خصائص المنتج النهائي، ومن هنا يُصبح ضبط هذا المتغير ضرورة علمية وعملية تفرضها اعتبارات الجودة، والسلامة، والفعالية في صناعة الصابون.

رابعا: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون

تُعد الخصائص الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن تفاعل التصبن القاعدي من المؤشرات الجوهرية في تقييم جودة الصابون وكفاءته، إذ تعكس هذه الخصائص بشكل مباشر مدى نجاح التفاعل، واستقرار تركيب المزيج النهائي، كما تُؤثر على أداء الصابون في عمليات التنظيف، وملاءمته للاستخدام الجلدي، وثباته التخزيني على المدى الطويل.
وتتحدد هذه الخصائص بعدّة عوامل، من أبرزها:

- نوع الأحماض الدهنية الداخلة في التفاعل (مشبعة أو غير مشبعة)
- تركيز القاعدة القلوية(NaOH)
- نوع الزيت المستخدم (زيت زيتون، زيت جوز هند، زيت نخيل…)
- ظروف التصنيع والمعالجة والتجفيف

وتُعد دراسة هذه الخصائص خطوة ضرورية لضمان توافق الصابون مع معايير الجودة والسلامة (Nwaiwu & Iwouno, 2020) ومن أبرز هذه الخصائص:

1. درجة الحموضة(pH)

تُعد درجة الحموضة (pH) من أهم الخصائص الكيميائية المستخدمة في تقييم سلامة الصابون وملاءمته للاستخدام الجلدي، وعند استخدام هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في التصبن، يكون ناتج الصابون ذو طبيعة قلوية، حيث يتراوح pHعادةً بين 8 إلى 11، بحسب تركيز القاعدة وظروف التفاعل.
وتُعتبر القيم القريبة من pH = 8.5مثالية للبشرة، نظرًا لتقليلها احتمال التهيّج أو الجفاف، في حين أن تجاوز pH = 10يشير إلى بقاء NaOH دون تفاعل، ما يُمكن أن يؤدي إلى تأثيرات سلبية على الجلد، خصوصًا لدى أصحاب البشرة الحساسة.
وتُقاس درجة الحموضة عمليًا عبر إذابة كمية من الصابون في الماء المقطر، وقياسها باستخدام أجهزة pH رقمية لضمان دقة النتائج (Dinda et al., 2020).

2. الصلابة(Hardness)

تُشير الصلابة (Hardness) في الصابون إلى مدى مقاومته للضغط أو الانضغاط الفيزيائي، وتُعد من الخصائص المهمة التي تُؤثر في مدة استخدام قطعة الصابون الواحدة وكفاءتها أثناء الاستعمال.
تُقاس الصلابة عادة باستخدام جهاز Durometerالذي يُعطي قراءة بوحدة Shore A، وتُعد هذه الخاصية مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بـ:

- نسبة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في التفاعل: حيث تُؤدي الزيادة الطفيفة إلى زيادة تكوين أملاح الصوديوم، وبالتالي ارتفاع في الصلابة.
- نوع الأحماض الدهنية: إذ تُنتج الأحماض الدهنية المشبعة مثل حمض البالميتيك ($C_{15}H_{31}COOH$) صابونًا أكثر صلابة، بينما تُنتج الأحماض غير المشبعة مثل حمض الأوليك ($C_{17}H_{33}COOH$) صابونًا أنعم وأقل صلابة (Akinoso et al., 2020).

3. القدرة على التكوين الرغوي(Foaming Ability)

تُعد القدرة على التكوين الرغوي من الخصائص الوظيفية الأساسية للصابون، حيث تُعطي مؤشرًا مباشرًا على كفاءته في إزالة الأوساخ والشوائب.
تنتج الرغوة عن تجمّع جزيئات الصابون على سطح فقاعات الهواء عند مزج الصابون بالماء والهواء، مُشكّلة طبقات سطحية تُساهم في الاستحلاب والتنظيف.
يتم قياس الرغوة معمليًا غالبًا من خلال:

- قياس ارتفاع الفقاعات بعد رجّ محلول الصابون في أسطوانة مدرجة.
- تقدير ثبات الرغوة من خلال مدة بقاء الفقاعات قبل اختفائها.

تؤثر عدة عوامل في القدرة الرغوية، من أبرزها:

- اكتمال التصبن: فالصابون غير المتصبن بالكامل يُنتج رغوة ضعيفة.
- نوع الأحماض الدهنية: حيث تُنتج الأحماض غير المشبعة رغوة أخف وأكثر انتشارًا، بينما تُنتج الأحماض المشبعة رغوة أكثر كثافة وثباتًا.
- تركيزNaOH : يؤثر بشكل غير مباشر من خلال تحكمه في درجة التصبن (Singh & Soni, 2019).

4. القابلية للذوبان(Solubility)

تُعبّر قابلية الذوبان في الصابون عن مدى سرعة تحلله في الماء، وهي خاصية أساسية تُؤثر على كفاءة الاستخدام اليومي ومدى استمرارية قطعة الصابون أثناء الاستعمال.
ويُعتبر الصابون الجيد هو الذي يوازن بين سرعة الذوبان وبطئها؛ إذ إن الذوبان البطيء قد يُعيق تكوين الرغوة، في حين أن الذوبان السريع يؤدي إلى فقدان سريع للكتلة.
وتُعد قابلية الذوبان مرتبطة بعدّة عوامل، منها:

- درجة الصلابة: فكلما زادت، قلّت سرعة الذوبان.
- تركيزNaOH : حيث يؤدي إلى تشكيل بنية أكثر صلابة وأقل ذوبانًا.
- نسبة الرطوبة المتبقية: فالصابون منخفض الرطوبة يكون أكثر تماسكًا ويذوب بشكل أبطأ (Al-Kaisy et al., 2022).

5. الثبات التخزيني(Storage Stability)

يُشير الثبات التخزيني إلى قدرة الصابون على الاحتفاظ بصفاته الفيزيائية والكيميائية عند التخزين لفترات طويلة، دون أن يتعرض إلى تحلل، تشققات، تغير في اللون، أو صدور رائحة غير مرغوبة.

وتتأثر هذه الخاصية بعدة عوامل، أهمها:

- نسبة الرطوبة المتبقية بعد التصنيع، حيث تؤدي الرطوبة العالية إلى نمو الميكروبات أو التحلل.
- نوع الزيت المستخدم، إذ إن الزيوت الغنية بالأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة (مثل زيت الزيتون) تُعزز من الاستقرار.
- وجود شوائب أو فائض منNaOH ، الذي قد يُسبب تفاعلات غير مرغوبة أثناء التخزين.

ويُظهر الصابون المصنع من زيت الزيتون عادة درجة عالية من الثبات التخزيني، شريطة أن يتم تجفيفه ومعالجته بطريقة صحيحة (Al-Gendy et al., 2021).

تُظهر هذه الخصائص أن الصابون ليس منتجًا كيميائيًا بسيطًا، بل هو نتيجة توازن دقيق بين مكوناته وظروف تصنيعه، وأن أي خلل في النسبة أو في نوع المادة الداخلة يُؤثر بشكل واضح على الناتج، ومن هنا، فإن تحليل هذه الخصائص يُعد أساسًا في تقييم نتائج التفاعل، ويُسهم في ربط التركيب الكيميائي بالصورة النهائية للمنتج.

الدراسات السابقة

شهدت العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا في الدراسات المعنية بتفاعل التصبن القاعدي، سواء من حيث تحسين جودة الصابون أو فهم العوامل المؤثرة في خواصه النهائية، وعلى رأسها تركيز هيدروكسيد الصوديوم(NaOH) ، وتستعرض الدراسات التالية نماذج بحثية متنوعة تناولت هذا التفاعل من زوايا مختلفة، وتُبرز أهمية ضبط تركيز القاعدة القلوية بما يتناسب مع نوع الزيت المستخدم لضمان الحصول على صابون متزن في خصائصه الفيزيائية والكيميائية.

دراسة Irawan وزملائه(2024)

أجرى Irawan et al. (2024) دراسة تجريبية لإنتاج صابون صلب باستخدام زيت الطهي المستعمل مع مستخلص نفايات الأفوكادو (البذور والقشور) كمادة مالئة، بهدف تحسين الخصائص الجلدية للصابون. تم تقييم العينات من حيث درجة الحموضة، الفعالية التنظيفية، الخصائص الحسية، وإمكانية التهيّج الجلدي، وقد أظهرت النتائج أن معظم التركيبات استوفت المعايير الوطنية الإندونيسية من حيثpH ، كما كانت قادرة على مضاهاة الصابون التجاري من حيث الأداء. كما ساهمت إضافة مستخلص قشر الأفوكادو بنسبة 10% في تقليل التهيّج الجلدي. ورغم أن تركيز NaOH لم يكن المتغير الرئيسي في الدراسة، إلا أن الباحثين ضبطوه بدقة تبعًا لقيمة التصبن لكل زيت مستخدم، مما يُؤكد على أهمية هذا العامل في نجاح عملية التصبن.

دراسة(2024) Alum

قدم Alum (2024) مراجعة علمية موسّعة تناولت تاريخ التصبن وتطوره، والآلية الكيميائية للتفاعل، ودور NaOH أو KOH في إنتاج الصابون. ركّزت الورقة على تفكيك رابطة الإستر وتكوين أنيونات الصابون، كما ناقشت دور سلسلة الأحماض الدهنية في تحديد خواص المنتج، وأوضحت الدراسة أن زيادة تركيز القاعدة عن القيمة المطلوبة يؤدي إلى قلوية زائدة قد تكون مؤذية للبشرة، في حين أن نقصه يؤدي إلى عدم اكتمال التفاعل، وقد دُعمت النتائج بتحليل منهجي لعدد كبير من الدراسات السابقة، ما يمنح الورقة طابعًا مرجعيًا مهمًا.

دراسة Ferracane وزملائه(2021)

في دراسة تطبيقية، استخدم Ferracane et al. (2021) زيت الزيتون غير الصالح للأكل بعد التخمير، كمصدر لتصنيع صابون طبيعي، وتمت مقارنة نتائجه بصابون منتج من زيت زيتون تقليدي. استخدمت الدراسة تركيزات محسوبة من NaOH وفقًا لقيمة التصبن، وتم إنتاج عينات كاملة التصبن وأخرى ناقصة التصبن (بفائض 5% من الأحماض الدهنية الحرة).

أظهرت النتائج أن الزيت المخمّر منح المنتج النهائي ثباتًا أفضل خلال فترة النضوج التي امتدت لستة أشهر. كما أظهرت العينات التي تحتوي على نسبة منخفضة من الأحماض غير المتصبنة خصائص جلدية محسّنة، مما يُعزز أهمية التحكم في تركيز.NaOH

دراسة(2003) Girgis

تناولت دراسة Girgis (2003) إمكانية استخدام زيت الزيتون الفاسد كمصدر لإنتاج صابون كاستيلي عالي الجودة، مقارنة بصابون مصنوع من زيت زيتون بكر. تم تقييم الخواص الفيزيائية والكيميائية، بما في ذلك اللون، الرغوة، القلوية، والتآكل، وبعد تخزين العينات لمدة ستة أشهر، لوحظ تحسّن ملحوظ في الرغوة والبنية، خصوصًا في النوع المصنع من الزيت الفاسد، رغم بقاء لونه داكنًا، ورغم أن الدراسة لم تفرد تركيز NaOH كمتغير مستقل، إلا أن اكتمال التصبن بوضوح في العينات يشير ضمنًا إلى استخدام نسب مضبوطة وفقًا لقيمة التصبن.

تُشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أن تركيز هيدروكسيد الصوديوم هو عامل حاسم في ضبط توازن تفاعل التصبن، وفي ضمان جودة الصابون على المستوى الفيزيائي والكيميائي. كما تؤكد على ضرورة مواءمة كمية القاعدة مع نوع الزيت المستخدم وقيمة تصبنه، تجنبًا للآثار السلبية الناتجة عن نقص التصبن أو فرط القلوية، وتُدعم هذه النتائج التوجه الذي تبنته هذه الدراسة في تحليل تأثير تركيز NaOH على خواص الصابون.

المنهجية

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج التجريبي التطبيقي، بهدف تحليل تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، وقد تم تنفيذ سلسلة من التجارب المعملية في بيئة محكمة، داخل مختبر الكيمياء بكلية العلوم، باستخدام أدوات وأجهزة دقيقة لضمان ثبات الظروف التجريبية وتحقيق نتائج موثوقة.

تركز التصميم التجريبي على تغيير تركيز NaOH في كل عينة، مع تثبيت نوع الزيت وكمية الماء ودرجة الحرارة وزمن التفاعل، بهدف عزل أثر هذا المتغير الوحيد وتحليل تأثيره بدقة، وتم تحضير عدة عينات من الصابون، ثم إجراء اختبارات مخبرية عليها لقياس الخصائص التالية: درجة الحموضة(pH) ، الصلابة، قدرة التكوين الرغوي، وقابلية الذوبان في الماء، وقد تم توثيق النتائج وتحليلها باستخدام أدوات إحصائية مناسبة لاختبار صحة الفرضيات المطروحة في الدراسة.

أولا: تصميم التجربة

تم تصميم هذه الدراسة التجريبية بهدف قياس تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) على خصائص الصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، ولتحقيق هذا الهدف، تم إعداد خمس عينات منفصلة من الصابون باستخدام زيت الزيتون الطبيعي المكرر كمصدر موحد للدهون في جميع التجارب، مع تثبيت جميع الظروف التفاعلية الأخرى، مثل كمية الزيت، كمية الماء، درجة الحرارة، وزمن التفاعل، بينما تم تغيير تركيز NaOH فقط بين العيّنات باعتباره المتغير المستقل في التجربة.

تم اختيار خمس نسب مختلفة منNaOH ، بدءًا من نسبة أقل من النسبة المتكافئة (تعني نقص القاعدة)، مرورًا بالنسبة المتوازنة (المعادلة تمامًا لكمية الأحماض الدهنية)، وانتهاءً بنسب زائدة تدريجيًا، وذلك بهدف تتبع أثر هذا التدرج على الخصائص الناتجة، وقد شملت القياسات المقارنة لكل عينة: درجة الحموضة(pH) ، الصلابة، قدرة التكوين الرغوي، وقابلية الذوبان في الماء.

يعتمد هذا التصميم على التحكم التام في جميع المتغيرات الأخرى لضمان أن التغيّر في نتائج الخصائص الفيزيائية والكيميائية يعود فقط إلى اختلاف تركيز هيدروكسيد الصوديوم، مما يمكّن من استخلاص نتائج علمية دقيقة وقابلة للتكرار.

ثانيا: المواد والأدوات المستخدمة

1- المواد الكيميائية

تم استخدام المواد التالية في إعداد وتحضير الصابون وفقًا للمعايير المخبرية:

1. زيت الزيتون الطبيعي المكرر –كمصدر للأحماض الدهنية، بكمية ثابتة قدرها 500 مل لكل عينة.
2. هيدروكسيد الصوديوم – (NaOH) تركيز 100%، تم تحضيره بنسب متفاوتة حسب تصميم التجربة.
3. ماء مقطر –استخدم لتحضير محلول NaOH ولضمان نقاء التفاعل، بكمية 200 مل لكل عينة.
4. زيت عطري طبيعي (اختياري) –أضيف بنسبة متساوية لجميع العينات فقط لتحسين الرائحة دون التأثير في النتائج.

2- الأدوات والأجهزة المخبرية

تم استخدام الأدوات والأجهزة التالية أثناء تنفيذ التجربة وقياس النتائج:

1. ميزان إلكتروني حساس –لقياس كميات NaOH بدقة.
2. أسطوانة مدرجة –لقياس كميات الماء والزيت.
3. أكواب زجاجية مقاومة للحرارة – (Beakers) لخلط المكونات.
4. ملعقة زجاجية أو قضيب تقليب – (Stirring rod) لتقليب الخليط أثناء التفاعل.
5. مقياس درجة الحموضة – (pH meter) لقياس pH العينات النهائية.
6. قوالب صابون سيليكونية –لتشكيل الصابون وتسهيل فصله بعد التصلب.
7. ميزان صلابة – (Durometer) لتقييم صلابة الصابون بعد التصلب.
8. ساعة توقيت –لضبط زمن التفاعل ووقت التصلب.
9. أدوات اختبار الرغوة –كأس مخروطي، ماء مقطر، وطرق قياسية لحساب الرغوة ومدة بقائها.

تم اختيار جميع المواد والأدوات بما يتناسب مع طبيعة التجربة بهدف ضمان الدقة والسلامة والقدرة على التكرار في القياسات.

ثالثًا: خطوات إجراء التجربة (طريقة التحضير)

تم تنفيذ تجربة التصبن القاعدي داخل المختبر وفق الخطوات الآتية، مع تكرارها خمس مرات باستخدام تركيزات مختلفة من هيدروكسيد الصوديوم، بينما تم تثبيت كمية الزيت والماء والظروف التجريبية الأخرى:

1. تحضير محلولNaOH

تم وزن الكمية المطلوبة من هيدروكسيد الصوديوم بدقة باستخدام الميزان الإلكتروني، ثم إذابتها في 200 مل من الماء المقطر داخل كأس زجاجي مقاوم للحرارة، مع التقليب المستمر حتى الذوبان التام، وترك المحلول ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة (حوالي 25°) قبل الاستخدام.

2. تسخين زيت الزيتون

تم قياس 500 مل من زيت الزيتون الطبيعي المكرر، وتسخينه في حمام مائي حتى وصلت درجة حرارته إلى 45-50°C، وهي الدرجة المثلى لبدء تفاعل التصبن مع الحفاظ على استقرار المكونات.

3. خلط الزيت مع محلولNaOH

تم صب محلول هيدروكسيد الصوديوم تدريجيًا فوق الزيت الساخن مع التحريك المستمر باستخدام قضيب زجاجي أو خلاط يدوي بطيء السرعة، حتى يبدأ المزيج في التماسك والدخول في مرحلة "الأثر" وهي المرحلة التي يصبح فيها الخليط متجانسًا وسميكًا.

4. إضافة الزيت العطري (اختياري)

بعد الوصول إلى مرحلة التماسك، تم إضافة كمية صغيرة متساوية من الزيت العطري لكل عينة – بغرض التوحيد الجمالي فقط – دون التأثير على نتائج الدراسة، ثم تم تقليب الخليط مرة أخرى.

5. صب الصابون في القوالب

صُبّ الخليط في قوالب سيليكون مخصصة، ثم تُرك في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة حتى يكتمل التصلب الأولي.

6. إخراج الصابون وتركه ليجف

بعد التصلب، أُخرجت القطع من القوالب، وتم تركها في مكان جاف جيد التهوية لمدة 3 أسابيع (فترة المعالجة) لضمان اكتمال التفاعل، وتثبيت الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

7. ترقيم العينات وتوثيقها

تم ترقيم كل عينة برمز يدل على تركيز NaOH المستخدم، تمهيدًا لاختبار خصائصها وتحليل النتائج.

رابعًا: طرق القياس والتقييم

بعد الانتهاء من تصنيع الصابون وتجفيف العينات، تم تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لكل عينة باستخدام مجموعة من الاختبارات القياسية، بهدف تحليل تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم على جودة الصابون الناتج، وقد شملت عملية التقييم المؤشرات التالية:

1. قياس درجة الحموضة (PH):

تم إذابة كمية صغيرة من كل عينة صابون في 100 مل من الماء المقطر الدافئ، ثم قياس درجة الحموضة باستخدام مقياس pH رقمي تمت معايرته مسبقًا. تم تسجيل القيمة النهائية بعد استقرار القراءة خلال 30 ثانية، هذا القياس يساعد في تحديد مدى قلوية الصابون وملاءمته للاستخدام الجلدي.

2. اختبار الصلابة:

تم استخدام جهاز قياس الصلابة لتحديد مقاومة قطعة الصابون للضغط، وضع الجهاز فوق مركز كل عينة، وسُجلت قيمة الصلابة بوحدة، يساعد هذا القياس في تقييم قوة تماسك الصابون وإمكانية استخدامه لفترات أطول.

3. قياس الرغوة:

تم إذابة كمية موحدة من الصابون (2 غرام) في 50 مل من الماء المقطر داخل أسطوانة مدرجة، ثم رجّها لعدد محدد من المرات (10 درجّات). بعد توقف الحركة، تم قياس ارتفاع الرغوة (بـ سم) وملاحظة مدة بقاء الرغوة قبل أن تختفي، هذا الاختبار يُستخدم كمؤشر عملي على فعالية الصابون في التنظيف.

4. اختبار القابلية للذوبان:

وُضعت قطعة صغيرة من كل عينة (وزنها 5 غرامات) في كأس يحتوي على 100 مل ماء مقطر، وتم نقعها لمدة 5 دقائق دون تحريك. بعد ذلك، أُخرجت القطعة وجُففت، ثم وُزنت مرة أخرى لتحديد نسبة الفاقد بالذوبان. يُستخدم هذا القياس لبيان مدى استهلاك الصابون في الاستخدام اليومي.

تم تكرار كل اختبار ثلاث مرات لعينة واحدة لضمان الموثوقية، وأُخذ المتوسط الحسابي كقيمة تمثيلية لكل خاصية، وقد تم توثيق النتائج بدقة وتحليلها إحصائيًا لاحقًا ضمن قسم النتائج.

خامسًا: تحليل البيانات

تم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية الوصفية البسيطة، حيث اقتصر التحليل على حساب المتوسط الحسابي لكل خاصية مقاسة (درجة الحموضة، الصلابة، ارتفاع الرغوة، ونسبة الذوبان) بعد تكرار القياس ثلاث مرات لكل عينة، وقد تم تنظيم النتائج في جدول مقارن يُظهر العلاقة بين تركيز هيدروكسيد الصوديوم والخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون، مما أتاح تحديد الاتجاهات العامة للتغير في القيم مع اختلاف التركيز. كما تم الاعتماد على التحليل البصري للمقارنة بين العينات من أجل استخلاص التركيز الأمثل الذي تحقق عنده التوازن الأفضل بين القلوية المقبولة وخصائص الاستخدام المناسبة، وقد ظهر هذا التوازن عند تركيز يقارب 110% من النسبة المتكافئة.

النتائج

أسفرت التجارب المعملية عن مجموعة من النتائج التي تُبيّن أثر اختلاف تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي باستخدام زيت الزيتون، وقد تم إعداد خمس عينات باستخدام نسب تصاعدية من NaOH (9%، 100%، 110%، 120%، و130%) مع ثبات باقي المتغيرات التجريبية.

لعرض القيم الكمية لهذه الخصائص، يوضح الجدول (1) المتوسطات المقاسة لأهم الخواص: درجة الحموضة(pH) ، الصلابة(Shore A) ، ارتفاع الرغوة (سم)، ونسبة الذوبان(%) .

الجدول 1 القيم المقاسة لخصائص الصابون عند تراكيز مختلفة منNaOH

تركيز NaOH المستخدم(%)	متوسطpH	متوسط الصلابة(Shore A)	ارتفاع الرغوة (سم)	نسبة الذوبان(%)
%9	7.8	62	3.0	7.2
100% (المتكافئ)	8.4	68	3.5	6.0
%110	9.1	72	4.2	5.3
%120	9.8	77	4.5	4.9
130%	10.4	80	4.6	4.3

- لوحظ ارتفاع تدريجي في درجة الحموضة مع زيادة تركيزNaOH ، حيث وصلت إلى مستويات قد تكون مهيجة للبشرة في التركيزات الأعلى (فوق 120%).
- ازدادت صلابة الصابون بشكل واضح مع زيادة القلوية، ما يشير إلى تكون شبكة جزيئية أكثر كثافة.
- تحسنت قدرة التكوين الرغوي بزيادة تركيز NaOH، لكنها استقرت بعد تركيز 120% دون فرق جوهري.
- انخفضت قابلية الذوبان في الماء مع زيادة نسبة NaOH، ما قد يطيل عمر الصابون أثناء الاستخدام لكنه قد يُصعّب الذوبان الأولي.

الجدول (2) يوضح تلخيصًا وصفيًا للخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عند تركيزات مختلفة من هيدروكسيد الصوديوم(NaOH) ، حيث يتضمن القيم المقاسة لكل خاصية إلى جانب وصف نوعي للأداء العام لكل تركيبة، ويُظهر الجدول بوضوح وجود علاقة طردية بين تركيز NaOH وخصائص مثل الصلابة ودرجة الحموضة، مقابل انخفاض تدريجي في قابلية الذوبان، كما يُبيّن أن التركيز الأمثل تحقق عند 110% من النسبة المتكافئة، حيث اجتمعت فيه القلوية المقبولة مع خصائص وظيفية متوازنة، بينما أظهرت التركيزات الأقل قصورًا في التفاعل، والأعلى منها ميلًا للقلوية الزائدة التي قد تؤثر على سلامة الاستخدام الجلدي.

الجدول 2 تلخيص وصفي وتحليلي لخصائص الصابون عند تركيزات مختلفة منNaOH

الوصف العام	نسبة الذوبان (%)	ارتفاع الرغوة (سم)	الصلابة (Shore A)	درجة الحموضة (pH)	تركيز NaOH (%)
تفاعل غير مكتمل، قلوية ضعيفة	7.2	3.0	62	7.8	90
توازن جيد، ملاءمة معتدلة	6.0	3.5	68	8.4	100
أفضل توازن في الخصائص	5.3	4.2	72	9.1	110
صلب وفعال، لكنه مائل للقلوية	4.9	4.5	77	9.8	120
قلوية عالية، قد تسبب تهيجًا	4.3	4.6	80	10.4	130

تشير هذه النتائج إلى وجود علاقة طردية واضحة بين تركيز NaOH وخصائص الصابون، مع وجود نقطة توازن عند التركيز المتكافئ أو أقل منه بقليل، تجمع بين الاعتدال في pH وخصائص الاستخدام المناسبة.

اختبار الفرضيات

سعت هذه الدراسة إلى اختبار مجموعة من الفرضيات التي انطلقت من الفرضية العامة القائلة بأن تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) يؤثر تأثيرًا مباشرًا في خصائص الصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، وبالاستناد إلى البيانات الكمية الموضحة في الجدول(1) ، والتحليل النوعي الوارد في الجدول(2) ، أمكن التحقق من مدى صحة هذه الفرضيات على النحو الآتي:

أولًا: الفرضية الرئيسة تؤثر نسبة هيدروكسيد الصوديوم في تفاعل التصبن القاعدي تأثيرًا ملموسًا على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج.

تُبيّن النتائج بشكل قاطع أن التغير في تركيز NaOH أدى إلى تباين واضح في جميع الخصائص المقاسة، بما في ذلك درجة الحموضة، الصلابة، الرغوة، وقابلية الذوبان، هذا التغير المنهجي والمتسق يعكس وجود علاقة وظيفية حقيقية بين المتغير المدروس وخصائص الصابون، مما يجعل الفرضية الرئيسة مدعومة تجريبيًا بشكل تام.

ثانيًا: الفرضيات الفرعية

1. زيادة تركيز NaOH عن النسبة المتكافئة تؤدي إلى ارتفاع درجة الحموضة في الصابون، مما يجعله أقل ملاءمة للبشرة.

أظهرت البيانات أن ارتفاع تركيز NaOH من 90% إلى 130% رافقه ارتفاع تدريجي في قيمة pH من 7.8 إلى 10.4، وتُعد القيمة الأخيرة قلوية مفرطة قد تؤثر على التوازن الطبيعي للجلد، خاصة لدى ذوي البشرة الحساسة، وعليه، فإن هذه الفرضية مدعومة بوضوح.

2. نقص تركيز NaOH يؤدي إلى تفاعل غير مكتمل، وينتج صابونًا منخفض الرغوة وضعيف الخصائص الفيزيائية.

وفقًا لما ورد في الجدولين، أظهرت عينة 90% أقل نسبة رغوة (3.0 سم) وأعلى معدل ذوبان، مما يُشير إلى بقاء زيوت غير متصبنة، نتيجة نقص القاعدة، ويُفهم من ذلك أن التفاعل لم يكتمل كيميائيًا، وبالتالي فإن الفرضية مدعومة بالبيانات.

3. تختلف صلابة الصابون وقابليته للذوبان باختلاف تركيز هيدروكسيد الصوديوم.

تُبرز القيم المسجلة في الجداول وجود علاقة طردية بين التركيز والصلابة، وعلاقة عكسية بين التركيز وقابلية الذوبان، فقد زادت الصلابة من 62 إلى 80، بينما انخفضت الذوبانية من 7.2% إلى 4.3%، وهو ما يؤكد أن زيادة NaOH تؤدي إلى إنتاج صابون أكثر صلابة وأقل ذوبانًا، مما يجعل هذه الفرضية مدعومة بوضوح وموضوعية.

مناقشة النتائج

أظهرت نتائج التجربة وجود علاقة وثيقة بين تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) والخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، وقد بيّنت البيانات أن زيادة تركيز NaOH أدت إلى ارتفاع تدريجي في درجة الحموضة(pH) ، إذ تراوحت القيم من 7.8 في العينة ذات التركيز الأدنى (90%) إلى 10.4 في العينة ذات التركيز الأعلى (130%)، وتشير هذه القيم إلى أن الصابون الناتج في التركيزات المرتفعة يصبح أكثر قلوية، ما قد يُعد غير مناسب للاستخدام المباشر على الجلد، نظرًا لاحتمال تسببه في التهيّج أو الجفاف، خاصة في البشرة الحساسة، هذه النتيجة تتفق مع ما ورد في الأدبيات الكيميائية حول أثر القلوية العالية في المنتجات الجلدية.

أما فيما يتعلق بالصلابة، فقد لوحظ أن زيادة تركيز NaOH ساهمت في إنتاج صابون أكثر صلابة، وهو ما يُفسَّر بزيادة تكوّن أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية بشكل كامل، مما يعزز من البنية الشبكية للمادة الصلبة، ومع أن زيادة الصلابة تُعد مؤشرًا إيجابيًا من حيث الاستخدام طويل الأمد، إلا أن ذلك قد يُقابل بانخفاض في الذوبانية، كما أظهرت البيانات، حيث تناقصت قابلية الذوبان تدريجيًا من 7.2% إلى 4.3% مع زيادة تركيز NaOH، مما يدل على تكوين صابون أقل ذوبانًا وأبطأ في الاستهلاك.

وفيما يتعلق بخاصية الرغوة، فقد سجلت العينات ذات التركيزات الأعلى مستوى أعلى من التكوين الرغوي، مما يعكس كفاءة التنظيف الأفضل نظريًا، إلا أن هذه الزيادة بلغت ذروتها عند تركيز 120% تقريبًا، ثم استقرت، مما يشير إلى أن الزيادة في الرغوة لا ترتبط بخطية مطلقة مع تركيز القاعدة، بل قد تصل إلى نقطة تشبّع لا تتخطاها.

وتُظهر هذه النتائج أن التركيز المثالي لهيدروكسيد الصوديوم قد يكون قريبًا من النسبة المتكافئة أو يزيد عنها قليلًا (ما بين 100% و110%)، إذ يُنتج صابونًا متوازنًا في درجة الحموضة، جيد الرغوة، ومناسب في الصلابة والذوبانية. أما التركيزات الأعلى، فرغم تحسينها بعض الخصائص، فإنها تُنتج صابونًا قد لا يكون آمنًا تمامًا من الناحية الجلدية.

بناءً على ذلك، تؤكد الدراسة أن تحقيق توازن دقيق في تركيز NaOH يُعد ضروريًا لضبط جودة الصابون، وتدعم ما ذهبت إليه الفرضيات من وجود تأثير مباشر لهذا المتغير في صفات المنتج النهائي.

الاستنتاجات

توصلت هذه الدراسة التجريبية إلى مجموعة من الاستنتاجات المهمة التي تبرز أثر تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في خصائص الصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، ويمكن تلخيصها فيما يلي:

1. يوجد تأثير مباشر وملموس لتركيز NaOH على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصابون، إذ تزداد درجة الحموضة والصلابة والتكوين الرغوي، في حين تقل قابلية الذوبان بزيادة تركيز القاعدة.
2. التركيزات المنخفضة من NaOH (أقل من المتكافئ) تُنتج صابونًا منخفض القلوية وضعيف الرغوة، مما يدل على تفاعل غير مكتمل.
3. التركيزات العالية (أكثر من 120%) تؤدي إلى قلوية مرتفعة قد تكون ضارة عند الاستخدام البشري المباشر، رغم تحسن بعض الخصائص الأخرى.
4. أفضل توازن في خصائص الصابون تم تحقيقه عند تركيز يقارب 110% من النسبة المتكافئة، حيث سجلت العينة في هذا المستوى أداءً جيدًا من حيث الرغوة والصلابة والملاءمة الجلدية.

التوصيات

بناءً على النتائج المستخلصة، تُوصي الدراسة بما يلي:

1. اعتماد نسبة قريبة من 110% من NaOH عند تصنيع الصابون القائم على زيت الزيتون، لضمان تحقيق توازن مثالي بين الجودة والسلامة.

2. ضرورة التحكم الدقيق في حسابات التصبن عند إعداد التركيبات، مع استخدام أدوات قياس معايرة بدقة.
3. تجنّب الإفراط في زيادة NaOH تجنبًا لارتفاع درجة الحموضة بشكل يؤثر على سلامة الاستخدام، خصوصًا في منتجات مخصصة للبشرة الحساسة.
4. توسيع الدراسة مستقبلًا لتشمل أنواعًا أخرى من الزيوت، وتحليل أثرها عند تثبيت أو تغيير تركيز القاعدة، مع اختبار خصائص إضافية مثل مدة الذوبان الكلي أو الثبات الحراري للصابون.

الخلاصة

أظهرت هذه الدراسة أن تركيز هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) يُعد عاملًا حاسمًا في تحديد الخصائص النهائية للصابون الناتج عن تفاعل التصبن القاعدي، خصوصًا عند استخدام زيت الزيتون كمصدر طبيعي للأحماض الدهنية، وقد بيّنت النتائج أن التغير في تركيز القاعدة يؤدي إلى تباين واضح في الصفات الفيزيائية والكيميائية للصابون، لاسيما في درجة الحموضة، والصلابة، والرغوة، وقابلية الذوبان.
وقد تبيّن أن استخدام تركيزات أقل من النسبة المتكافئة يؤدي إلى تفاعل غير مكتمل، بينما تؤدي التركيزات المرتفعة إلى قلوية زائدة قد تكون غير ملائمة للاستخدام البشري. أما التركيز الذي يحقق توازنًا بين السلامة والكفاءة فقد حُدّد عند نسبة تقارب 110% من الكمية المتكافئة، حيث لوحظ عند هذا المستوى إنتاج صابون يتمتع بخواص وظيفية جيدة ودرجة حموضة مناسبة للبشرة.
إن ما توصلت إليه الدراسة يعكس أهمية التحكم الدقيق في نسب المواد الداخلة في التفاعل، ويفتح المجال أمام تطوير منتجات صابونية طبيعية أكثر أمانًا وجودة، وخاصة في السياقات التي تعتمد على الزيوت النباتية المحلية، مثل زيت الزيتون. كما تدعم هذه النتائج توجه الصناعات الصغيرة والمتوسطة نحو تحسين ممارسات التصنيع بناءً على بيانات علمية موثوقة، وتشجع على استخدام بدائل طبيعية ومستدامة في صناعة المنظفات.

References

1- Akinoso, R., Igbeka, J. C., & Bankole, Y. O. (2020). Physical properties and quality assessment of soaps produced from different oil blends. *Scientific African, 9*, e00522.
2- Al-Gendy, A. A., Mohamed, H. M., & Hegazy, H. G. (2021). Evaluation of stability and physicochemical properties of olive oil-based soaps. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University, 59*(1), 35–43.
3- Al-Kaisy, S. M., Al-Dujaili, A. H., & Al-Araji, M. S. (2022). Study of the physical properties of different types of handmade soap. *Iraqi Journal of Science, 63*(3), 1021–1032.
4- Alum, B. (2024). Saponification process and soap chemistry. *Journal of Soap Science, 12*, 51–56.
5- Ayoub, M., Abdullah, A. Z., & Bhatia, S. (2013). Effect of process parameters in the production of palm-based soap. *Chemical Engineering Journal, 217*, 70–77.
6- Dinda, S., Sahu, R. K., & Dinda, S. C. (2020). Evaluation of physicochemical properties of different soap samples available in the market. *Research Journal of Topical and Cosmetic Sciences, 11*(1), 9–15.
7- Ferracane, A., Tropea, A., & Salafia, F. (2021). Production and maturation of soaps with non-edible fermented olive oil and comparison with classic olive oil soaps. *Fermentation, 7*(4), 245.
8- Girgis, A. (2003). Production of high-quality castile soap from high rancid olive oil. *Grasas y Aceites, 54*(3).
9- Gunstone, F. D. (2004). *The chemistry of oils and fats: Sources, composition, properties and uses*. Blackwell Publishing.
10- Irawan, N. Z. P., Munawaroh, H., & Anwar, S. (2024). The properties of waste cooking oil soap with avocado waste extract as filler. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics, 30*, 97–106.
11- Kumar, P., & Sharma, B. (2017). Determination of saponification value of various oils and their comparison. *International Journal of Scientific Research and Education, 5*(7), 6823–6828.
12- Masoodi, F. A., & Chauhan, G. S. (2016). *Chemical analysis of fats and oils*. Springer.
13- McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques* (3rd ed.). CRC Press.
14- Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (2004). *Organic chemistry* (7th ed.). Prentice Hall.
15- Nwaiwu, N. E., & Iwouno, J. O. (2020). Physicochemical properties and storage stability of soaps produced from blends of oils. *Heliyon, 6*(7), e04502.
16- Osei-Bonsu, K., Mensah, M., & Kwofie, S. (2019). Optimization of soap production using a blend of oils: Effect of alkali concentration on soap properties. *Journal of Chemical and Process Engineering, 3*(2), 45–53.
17- Peláez, C., Vásquez, D., & López, D. (2019). Influence of saponification conditions on the physicochemical properties of handmade soaps. *Revista Colombiana de Química, 48*(1), 20–30.
18- Shahidi, F. (2005). *Bailey's industrial oil and fat products, Volume 6: Edible oil and fat products – Processing technologies*. Wiley-Interscience.
19- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2005). Lipid oxidation: Measurement methods. In *Bailey's industrial oil and fat products*. Wiley.
20- Singh, V., & Soni, R. (2019). Comparative evaluation of foaming properties and surfactant behavior in natural and synthetic soaps. *International Journal of Scientific Research and Reviews, 8*(2), 1145–1152.
21- Smith, M. B., & Vollmer, C. (2011). *Organic chemistry: An acid-based approach* (2nd ed.). CRC Press.