تصنيع قماش قطني فائق الكره للماء باستخدام أوكسيد الزنك النانوي المحضر بتقنية السول-جل

م. مي ابراهيم[1] د. م. زياد سفور[2]

ملخص البحث

تقنية السول –جل هي طريقة كيميائية شائعة لإنتاج مواد عالية النقاء على شكل مسحوق أو فلم رقيق . تتميز تقنية السول –جل بالعديد من المزايا مثل استخدام أقل للمواد الكيميائية ، والمعالجة بدرجات الحرارة المنخفضة ، وسهولة التطبيق ، وعدم الحاجة إلى معدات خاصة.

تم في هذا البحث تصنيع قماش قطني فائق الكره للماء من خلال طلاء القماش بأوكسيد الزنك النانوي المحضر بتقنية السول–جل لتكوين خشونة على السطح ومن ثم تعديله بمادة كارهة للماء.

تمت دراسة تأثير عدد مرات غمر القماش القطني بأوكسيد الزنك وتأثير تركيز حمض الشمع كمادة كارهة للماء في أداء القماش القطني فائق الكره للماء باستخدام اختبار زاوية التماس (WCA) .

أظهرت النتائج أن زاوية التماس تزداد بزيادة عدد مرات الغمر بينما تتناقص بزيادة تركيز حمض الشمع.

كلمات مفتاحية: أوكسيد الزنك النانوي ، قماش قطني فائق الكره للماء، حمض الشمع ، زاوية التماس ، تقنية (سول–جل) .

1- طالبة دكتوراه- قسم هندسة الغزل والنسيج- كلية الهندسة الكيميائية والبترولية-جامعة البعث

2- استاذ مساعد -قسم هندسة الغزل والنسيج- كلية الهندسة الكيميائية والبترولية- جامعة البعث

Fabrication Superhydrophobic Cotton Fabric by Using Nano Zinc Oxide Prepared by Sol-gel Technique

Abstract

Sol-gel technique is a common chemical approach to produce high purity materials shaped as powders and thin film coatings.

Sol-gel technique has various advantages such as less chemical material usage, low-temperature treatment, easy application, and no requirement for special equipment

In this paper, super hydrophobic cotton fabric was fabricated by coating the fabric with nano zinc oxide synthesis by the sol-gel technique to form a roughness on the surface and then modified with a hydrophobic material.

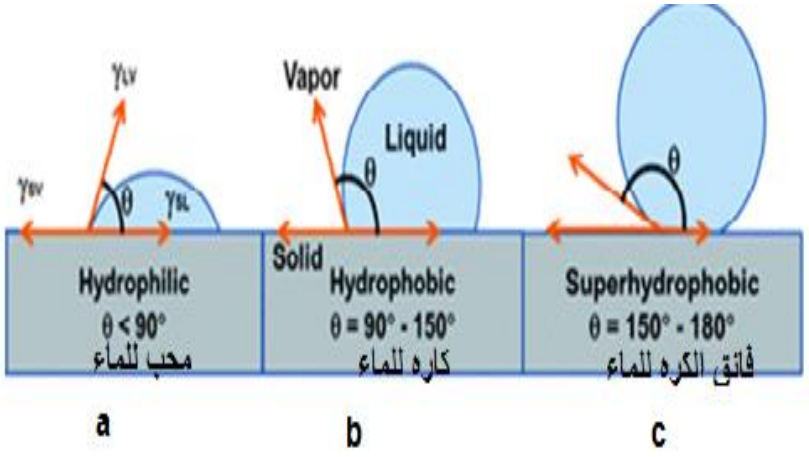
the number of coating times by nano zinc oxide and the effect of the concentration of stearic acid as a hydrophobic material on the performance of the superhydrophobic cotton fabric were studied using the water droplet contact angle (WCA) test.

The results showed that the contact angle increases with increasing number of coating times, while it decreases with increasing concentration of stearic acid

Keyword: nano- zinc oxide , super hydrophobic cotton fabric ,stearic acid ,water contact angle , sol –gel technique .

1- مقدمة :

يتم تصنيف الأسطح تبعاً لقابليتها للبلل عموماً على أنها محبة للماء وكارهة للماء.تعد الأسطح القابلة للبلل بطبيعتها محبة للماء ، فعند سقوط قطرة ماء تنتشر ويمتصها السطح بسرعة كبيرة . خاصية قابلية البلل أو مقاومة البلل تعتمد بشكل أساسي على قياس زاوية تلامس قطرة الماء مع السطح (θ) contact angle. إذا كانت الزاوية أقل من 90 درجة ،الشكل (1-a)، فإن قطرات الماء ستنتشر على السطح . ولكن في حال كانت الزاوية أكبر من 90 درجة الشكل (1-b)، لن تنتشر قطرات الماء وتبقى على السطح لإظهار خاصية الكره للماء للمادة. ومع ذلك ، إذا كانت الزاوية 150 درجة أو أكثر، الشكل (1-c) فلن يبتل السطح بالماء مما يدل على أن طبيعة المادة فائقة الكره للماء ويمكن لقطرة الماء أن تتدحرج تمامًا على السطح .



الشكل (1) زاوية تماس القطرة مع السطح الصلب [1]

يمكن جعل الأسطح كارهة للماء بمجرد خفض الطاقة السطحية للمادة. لكن الأسطح شديدة المقاومة للماء تحتاج إلى إنشاء خشونة من رتبة النانو أو الميكرو على السطح إلى جانب خفض الطاقة السطحية .

في السنوات الأخيرة ، كان لتطوير تقنيات المعالجة المختلفة دوراً مهماً في تصنيع خشونة السطح الميكروية والنانوية لإنتاج مواد صناعية فائقة المقاومة للماء. يمكن انشاء

خشونة على السطح بطرق مختلفة مثل الطباعة الحجرية ومعالجة السطح بالبلازما والغزل الكهربائي والنقش الكيميائي(chemical etching) والترسيب بالبخار الكيميائي(CVD) وطريقة الطلاء بالغمر(dip coating) و تقنية الطلاء الدوار (spin coating) وتقنية سول- جل (sol–gel) [2] .

تعد تقنية الطلاء بالغمر (dip coating) وتقنية السول –جل (sol–gel) طرقاً سهلة وذات كلفة منخفضة لإنشاء خشونة على السطح مقارنة مع التقنيات التي ذكرت سابقاً .

تقنية سول – جل

تعد تقنية سول –جل (Sol–gel) من الطرق الكيميائية الرطبة . وتندرج هذه الطّريقة ضمن الطرق (Bottom–Up) لتحضير الأغشية النانوية الرقيقة ،حيثّ يتم تشكيل الأغشية انطلاقاً من الذّرات والجزيئات وصولاً للبنى النانوية.

لقد حظي استخدام تقنية السول –جل (sol–gel) في عمليات إنهاء المنسوجات باهتمام كبير في العقود الماضية لمزاياها المتعددة مثل استخدام أقل للمواد الكيميائية ، وإمكانية المعالجة بدرجات حرارة منخفضة ، وسهولة التطبيق والمعالجة في مصانع النسيج ، وعدم الحاجة إلى معدات خاصة [3],[4].

كما تتيح تقنية السول –جل (sol–gel) إكساب النسيج خصائص متعددة الوظائف في خطوة واحدة وهو أمر غير ممكن بواسطة طرق الإنهاء التقليدية للمنسوجات بسبب عدم توافق المواد الكيميائية.

يمكن إجراء هذه العملية باستخدام طرق الغمر التقليدية مثل طريقة (غمر– تجفيف) أو طريقة (غمر – تجفيف – تعتيق) أو طريقة الرش أو الطلاء الدوراني [5] .

تتكون معالجة النسيج باستخدام تقنية السول–جل (sol–gel) من خطوتين أساسيتين :

أولاً : تحضير محلول الجسيمات النانوية عن طريق الحلمهة المائية للبادئ (ألكوكسيدات المعادن أو السيلكون أو أملاح المعادن) بوجود المحفز (حمض أو أساس) في وسط مائي أو مذيبات عضوية. تُستخدم المذيبات العضوية ، مثل الكحوليات ، في الغالب لأنها توفر ثباتًا عاليًا في التخزين ، والالتصاق الممتاز بالأقمشة النسيجية وسهولة تبخر المذيب في درجات حرارة منخفضة.

ثانيًا: يتم تطبيق هذه الحلالة النانوية (nano sol) على ركائز النسيج باستخدام (طريقة غمر –تجفيف – تعتيق)،حيث يتم في هذه الخطوة تكثيف الجسيمات النانوية على سطح النسيج ، ثم يبخر المذيب مما ينتج عنه طبقة صلبة ذات بنية خشنة [6] .

2-1- أوكسيد الزنك ZnO :

تم استخدام الجسيمات النانوية غير العضوية مثل ZnO و TiO_2و SiO_2 لتوليد الخشونة النانوية على المنسوجات ومن ثم معالجتها بعامل طارد مما يجعلها شديدة المقاومة للماء[7] . الميزة الرئيسية لاستخدام الهياكل النانوية ZnO هي طرق تحضيره البسيطة ذات الكلفة المنخفضة ، بالإضافة لخصائصه المتعلقة بالسلامة الحيوية فهو مادة آمنة للإنسان وقابل للتحلل البيولوجي ، والاستقرار الجيد ، كل ذلك جعله مادة فعالة ليتم تطبيقها على الأقمشة القطنية ، لتصنيع أسطح فائقة الكره للماء من خلال زيادة خشونة السطح [8] .

2- هدف البحث :

يهدف هذا البحث إلى تصنيع أقمشة قطنية فائقة الكره للماء بطريقة آمنة و بسيطة ومنخفضة التكلفة باستخدام أوكسيد الزنك المحضر بتقنية السول –جل لخلق خشونة على السطح، ومن ثم معالجة السطح بمادة كارهة للماء (حمض الشمع) .

3- خطة البحث:

يتضمن إجراء البحث المراحل الأساسية الآتية:

1. تجهيز القماش القطني الخام.
2. تحضير أوكسيد الزنك النانوي باستخدام تقنية السول جل, وتطبيقه على القماش القطني باستخدام تقنية (غمر –تجفيف – تعتيق) .
3. تعديل القماش القطني بمادة منخفضة الطاقة السطحية كارهة للماء بطريقة (غمر – تجفيف) .

4. توصيف العينات المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي باستخدام المجهر الالكتروني.
5. اختبار قياس زاوية التماس(water contact angle) (**WCA**) للعينات المحضرة
6. اختبار الغرق والتبقيع.

4-الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

1. ميزان حساس.
2. سخان مخبري مع خلاط مغناطيسي.
3. فرن التجفيف
4. آلة الغمر والعصر(الفولار).
5. كاميرا لتصوير العينات .
6. المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) .

5-المواد المستخدمة في البحث:

1- قماش قطني خام مبرد 2/1 ، رقم الصنف 1441 من صنع شركة نسيج اللاذقية مواصفات القماش مبينة في الجدول (1) .
2- كلوريد الزنك ($ZnCl_2$) .
3- هيدروكسيد الصوديوم (NaOH).
4- إيثانول (C_2H_5OH).
5- حمض الشمع ($C_{18}H_{36}O_2$).

الجدول (1) يبين مواصفات القماش المستخدم

التركيب النسيجي	مبرد 2/1
نوع المادة الخام	قطن 100%
عرض القماش (cm)	170
وزن المتر المربع (g/m^2)	245
كثافة خيوط السداء (خيط/ cm)	36
كثافة خيوط الحدف (خيط/ cm)	18
نمرة خيوط السداء Ne	16
نمرة خيوط الحدف Ne	12
نوع الغزل لخيوط السداء	مسرح
نوع الغزل لخيوط الحدف	توربيني

6- التجارب:

6-1- تجهيز القماش القطني الخام:

أجريت عملية تبييض القماش القطني الخام باستخدام هيدروكسيد الصوديوم 4% والماء الأوكسجيني8 % وبضع قطرات من مثبت الماء الأوكسجيني و نسبة الحوض (1:40). تم رفع درجة الحمام المائي حتى (100^0c) واستمرت عملية التبييض بعد الغليان لمدة ساعة . تشطف العينات بعدها وتعدل بحمض الخل يعاد شطف العينات بالماء العادي وتترك لتجف بدرجة حرارة المخبر.

6-2- تحضير أوكسيد الزنك النانوي باستخدام تقنية السول جل :

تم استخدام كلوريد الزنك كمادة بادئة، حيث تمت اذابة (6.8g) من كلوريد الزنك في (100 ml) من الايتانول، وتم تسخين المحلول مع التحريك حتى الدرجة(50^oc) ومن

ثم تم اضافة هيدروكسيد الصوديوم حتى تصل قيمة (pH =8) بعد ذلك استمر تحريك المحلول لمدة ساعتين .

تم تطبيق أوكسيد الزنك النانوي المحضر على القماش باستخدام طريقة (غمر – تجفيف – تعتيق) بغمر عينة قماش قطني أبعادها (2×2 cm) في حلالة أوكسيد الزنك المحضر لمدة 10 دقائق ثم تمريرها على آلة العصر للتخلص من الكمية الفائضة ثم تجفيف العينة بدرجة حرارة ($80^{o}c$) لمدة 10 دقائق ثم تم تعتيق العينات في المجفف عند درجة الحرارة ($110^{o}c$) لمدة 5 دقائق . تم تكرار (غمر– تجفيف– تعتيق) لدراسة تأثير عدد مرات الغمر في خاصية فائق الكره للماء .

6-3- تعديل القماش القطني المعالج بأوكسيد الزنك بمادة منخفضة الطاقة السطحية كارهة للماء بطريقة الغمر:

تمت إذابة كمية معينة من حمض الشمع في الايثانول، وتم تسخين المحلول في حمام مائي إلى الدرجة ($40^{o}c$) حتى ينحل حمض الشمع، ثم غمر العينات القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك في محلول حمض الشمع لمدة 10 دقائق، ثم تمرير العينات على آلة العصر، وأخيراً تجفيف العينات بدرجة حرارة الغرفة . تمت معالجة عينات القماش القطني بتراكيز مختلفة من حمض الشمع (% 7-5-3-1-0.5).

6-4 توصيف لأوكسيد الزنك المحضر والعينات المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

تم توصيف أوكسيد الزنك الذي تم تحضيره وعينات القماش القطني المعالج بأوكسيد الزنك باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope (SEM)) في هيئة الطاقة الذرية بدمشق .

وتقوم فكرة عمل المجهر الالكتروني على استخدام حزمة من الالكترونات عالية الطاقة وذات طول موجي قصير جداً تصطدم عمودياً بسطح العينة ومن ثم يتم جمع الإشارات المنعكسة والصادرة عن العينة باستخدام الكاشف Detector وبعد ذلك يتم معالجة هذه الإشارات ليتم إظهارها كصور.

6-5- اختبار قياس زاوية التماس(WCA):

قياس زاوية التماس هي إحدى الطرق الشائعة لقياس قابلية سطح أو مادة للبلل .يتم من خلال هذا الاختبار توصيف فيما إذا كان القماش المعالج فائق الكره للماء بحيث يجب أن يكون قياس زاوية تماس القطرة مع السطح الصلب أكبر من (150^{O}).

تم الاختبار حسب المواصفة الصينية (GB/T30693-2014):

- إسقاط قطرة من الماء على سطح القماش الجاف.
- تصوير القطرة على سطح القماش باستخدام كاميرا.
- معالجة الصور باستخدام برنامج ImageJ باستخدام الدالة (Drop analysis-LB-ADSA). تم إجراء ثلاثة قياسات لكل عينة وأخذ المتوسط الحسابي وحساب الانحراف المعياري .

6-6- اختبار الغرق والتبقيع :

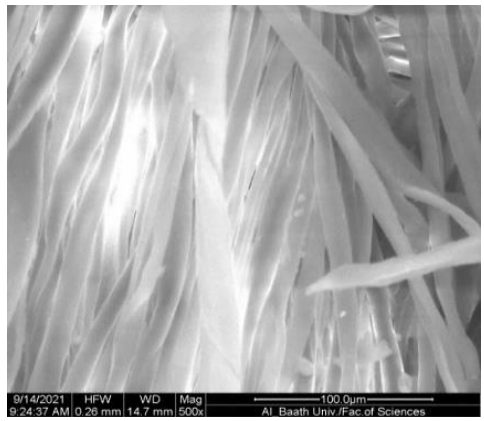
لإثبات قدرة العينات المعالجة على المقاومة الفائقة للماء تم تطبيق اختبار الغرق حسب المواصفة القياسية السورية (1994/958) بحيث تم وضع عينة قطنية(غير معالجة/ عينة معالجة) بأبعاد (3×3cm) على سطح ماء مقطر درجة حرارته ($20^{o}c$) وقياس الزمن اللازم لغرق العينة في الماء وصولاً إلى القاع .

وتم اختبار التبقيع بوضع قطرات من سوائل مختلفة (قهوة –شاي – عصير– دبس رمان) على عينة معالجة وعينة غير معالجة لاختبار قدرة القماش المعالج على مقاومة سوائل أخرى غير الماء بهدف استخدامه كقماش ذاتي التنظيف.

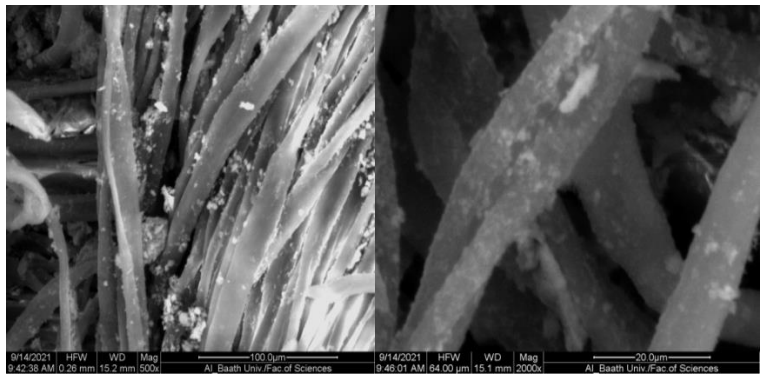
7 – نتائج الاختبارات و مناقشتها

7-1- المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

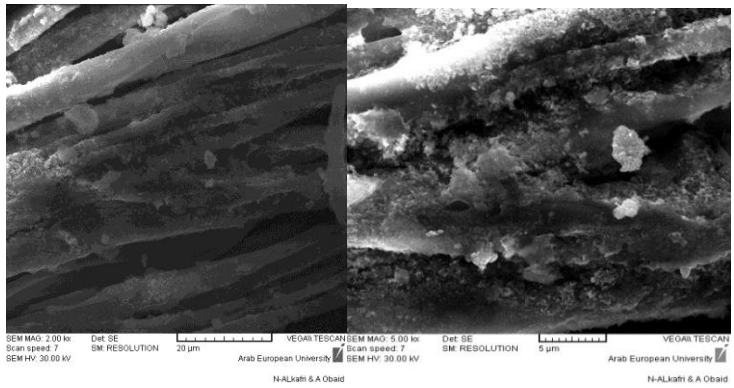
تبين صور المجهر الالكتروني الشكل (2-a) بأن ألياف النسيج القطني غير المعالج ذات سطح أملس . عند غمر العينات لمرة واحدة لوحظ أن ترسب جسيمات أوكسيد الزنك لم يكن متجانس مع وجود أماكن لم تكن مغطاة بأوكسيد الزنك الشكل (2-b) . يلاحظ أنه بزيادة عدد مرات الغمر(مرتين – ثلاث مرات) تزداد كمية جسيمات أوكسيد الزنك المترسبة على سطح الألياف وكانت التغطية متجانسة تقريباً مع وجود بعض التجمعات ولا يوجد أي أماكن لم تكن مغطاة بجسيمات أوكسيد الزنك الشكل (2-c) ، وأصبح سطح الألياف خشن بشكل واضح .



(a)



(b)



(c)

الشكل (2) صور المجهر الالكتروني الماسح لعينات النسيج

(a) غير المعالج (b) غمر مرة واحدة بأوكسيد الزنك (c) غمر مرتين بأوكسيد الزنك

7-2- نتائج اختبار زاوية التماس (WCA) وقابلية البلل :

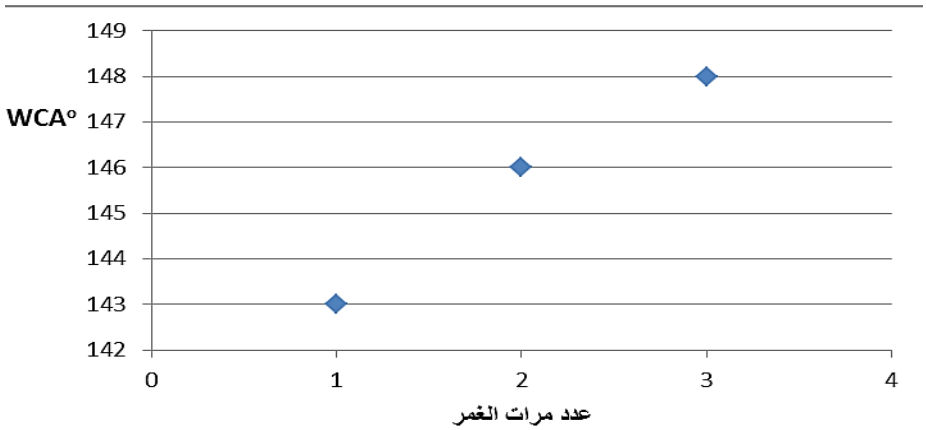
يبين الجدول (2) نتائج قياس زاوية تماس القطرة (WCA) لعينات القماش القطني المعالج بأوكسيد الزنك والمعدلة بتراكيز مختلفة من حمض الشمع :

الجدول (2) نتائج قياس زاوية تماس قطرة الماء للعينات المحضرة

غمر مرة واحدة					
7	5	3	1	0.5	تركيز حمض الشمع(%)
140.52	146.208	140.89	150.71	145.233	WCA1
141.569	142.78	143.146	146.139	149.861	WCA2
140.98	146.341	143.567	150.341	148.693	WCA3
141.023	145.1097	142.5343	149.0633	147.929	متوسط القراءات
0.52582	2.018646	1.439508	2.539259	2.406734	الانحراف المعياري
غمر مرتين					
7	5	3	1	0.5	تركيز حمض الشمع(%)
144.01	147.92	143.017	152.057	148.475	WCA1
145.861	147.942	144.096	152.497	151.737	WCA2
144.932	147.056	143.548	152.546	151.547	WCA3
144.9343	147.6393	143.5537	152.3667	150.5863	متوسط القراءات
0.925502	0.505301	0.539522	0.269296	1.830935	الانحراف المعياري
غمر ثلاث مرات					
7	5	3	1	0.5	تركيز حمض الشمع(%)
143.862	144.626	143.359	156.327	152.723	WCA1
143.052	144.103	142.313	156.742	152.057	WCA2
143.208	144.365	142.604	156.103	152.5	WCA3
143.374	144.3647	142.7587	156.3907	152.4267	متوسط القراءات
0.429758	0.2615	0.53988	0.324223	0.339002	الانحراف المعياري

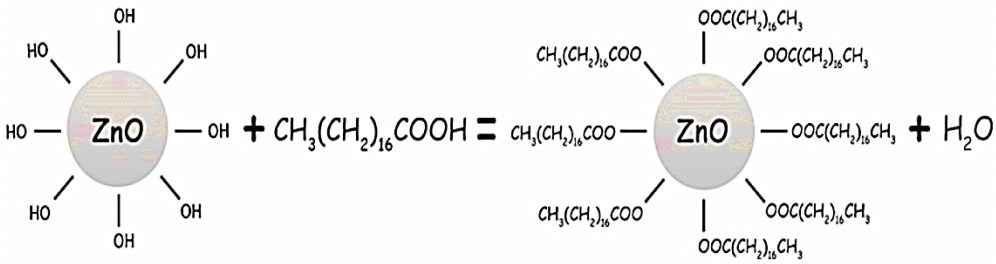
يبين الشكل (3) بأن قيمة زاوية التماس (WCA) تزداد بزيادة عدد مرات الغمر للقماش القطني بأوكسيد الزنك . يعزى ذلك إلى زيادة ترسب جزئيات أوكسيد الزنك على سطح الألياف وبالتالي زيادة الخشونة على سطح الألياف وهذا يؤكد أن البنية المورفولوجية للسطح تشكل عاملاً مهماً لقياس قابلية السطح للبلل ولكنه غير كافٍ للحصول على خاصية الكره الفائق للماء بسبب القطبية العالية للسطح (لوجود شوارد (OH^-) على سطح جسيمات أوكسيد الزنك) وبالتالي فإن الماء سوف يملأ الأخاديد الموجودة على السطح بسرعة بسبب الخاصية الشعرية وتتناقص قيمة زاوية التماس، لذلك فإن تخفيض

الطاقة السطحية عامل مهم أيضاً للحصول على خاصية الكره الفائق للماء ويؤثر في قيم زاوية التماس.



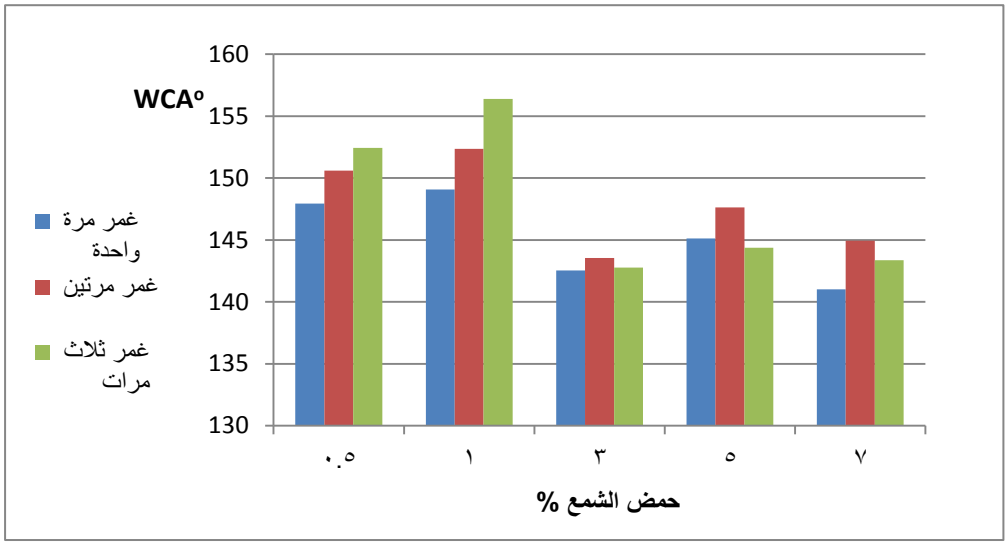
الشكل (3) تأثير عدد مرات الغمر في زاوية التماس

تم استخدام حمض الشمع لخفض الطاقة السطحية لانخفاض كلفته وعدم سميته وهو يحوي على سلسلة ألكيلية طويلة كارهة للماء ورأس قطبي يحوي مجموعة كربوكسيل (COOH) . عند غمر عينات القطن المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي في محلول حمض الشمع فإن مجموعات الكربوكسيل تتفاعل مع مجموعات الهيدروكسيل الموجودة على سطح أوكسيد الزنك النانوي ليتم استبدال مجموعات (OH^-) المحبة للماء بسلسلة الألكيل الكارهة للماء، الشكل (4)، ليتم الحصول على الكره الفائق للماء ولكن تبعاً لتركيز حمض الشمع فهو عامل مهم جداً .



الشكل (4) يوضح آلية التفاعل بين حمض الشمع وأوكسيد الزنك النانوي [9]

يوضح الشكل (5) تأثير تغير تركيز حمض الشمع في قياس زاوية تماس قطرة الماء (WCA) للعينات المعالجة بأوكسيد الزنك .



الشكل (5) تأثير تركيز حمض الشمع في قياس زاوية التماس .

يلاحظ من المخطط مايلي :

- ازدادت زاوية التماس مع زيادة تركيز حمض الشمع حتى (1%) بالنسبة لجميع العينات القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك (مع اختلاف عدد مرات الغمر).

- تم الحصول على قماش قطني فائق الكره للماء عند المعالجة بحمض الشمع بتركيز (0.5-1%) بالنسبة للعينات القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك (غمر مرتين – ثلاث مرات) وكانت أعلى قيمة لزاوية التماس ($WCA=156^{O}$) هي لعينة القماش القطني المعالج بأوكسيد الزنك(غمر ثلاث مرات) ومعدلة بحمض الشمع بتركيز (1%) .

- بزيادة تركيز حمض الشمع على (1%) تتناقص زاوية تماس القطرة أي أن زيادة تركيز حمض الشمع لم تكن فعالة في الحصول على قماش فائق الكره للماء ويعود السبب إلى أن زيادة تركيز حمض الشمع يزيد من سماكة الطبقة المغلفة لسطح أوكسيد الزنك وبالتالي تقلل من خشونة السطح بالإضافة إلى توضع مجموعات الكربوكسيل الفائضة على السطح مما يجعل السطح أقل نفوراً للماء .

3-7 اختبار الغرق والتبقيع

يلاحظ من الشكل (6-a) أن العينة القطنية غير المعالجة قد تبللت بالماء وغرقت واستقرت في أسفل البيشر مباشرة بزمن قدره (4s) بينما ظلت العينة القطنية المعالجة تطفو على السطح حتى عند تطبيق قوة لغمر هذه العينة تحت الماء تعود للطفو على السطح بعد زوال القوة .

كما أظهر القماش المعالج مقاومة لقطرات القهوة والشاي وعصير البرتقال ودبس الرمان بالإضافة إلى الماء حيث احتفظت هذه القطرات بشكلها الكروي ولم تخترق سطح القماش ،الشكل (6-b) بينما انتشرت قطرات هذه السوائل بسرعة على سطح العينة القطنية غير المعالجة .

(a)

(b)

الشكل (6) (a) اختبار الغرق لعينة قطنية غير معالجة وعينة قطنية معالجة.

(b) قطرات من سوائل مختلفة على عينة قطنية معالجة وعينة قطنية غير معالجة .

8- الخلاصة

تم في هذه الدراسة استخدام طريقة السول –جل (sol–gel) لتحضير أوكسيد الزنك بطريقة بسيطة وآمنة، ومن ثم تم غمر القماش في حلالة أوكسيد الزنك المحضرة لإكساب سطح القماش خشونة ومن ثم تعديل هذا القماش بمحلول حمض الشمع لتخفيض الطاقة السطحية ، تمت أيضاً دراسة تأثير عدد مرات غمر القماش القطني بأوكسيد الزنك في خاصية الكره الفائق للماء بالإضافة إلى تأثير تركيز حمض الشمع . تبين من خلال الدراسة أن قيمة زاوية التماس تزداد بزيادة عدد مرات الغمر بينما تتناقص بزيادة تركيز حمض الشمع بعد التركيز (1%)، وتبين الدراسة أن القماش المعالج أثبت مقاومة لأنوع مختلفة من السوائل بالإضافة للماء .

9- المقترحات:

1- دراسة تأثير العوامل المؤثرة في تحضير أوكسيد الزنك باستخدام تقنية السول –جل مثل تركيز المادة البادئة ونوعها ،درجة الحموضة (pH), ودرجة الحرارة .

2- دراسة تأثير زمن غمر القماش القطني المعالج بحمض الشمع (لتخفيض الطاقة السطحية) في زاوية تماس قطرة الماء(WCA).

3- استخدام أقمشة قطنية بتراكيب نسيجية مختلفة ودراسة تأثير اختلاف التركيب النسيجي في خاصية الكره الفائق للماء .

المراجع

1- Manoharan, K., & Bhattacharya, S. (2019),Super hydrophobic surfaces review Functional application, fabrication techniques and limitations, *Journal of Micromanufacturing*, *2*(1), 59-78.

2- Kumar, A., & Nanda, D. (2019). Methods and fabrication techniques of superhydrophobic surfaces. In Superhydrophobic polymer coatings (pp. 43-75). Elsevier.

3- Periyasamy, A. P., Venkataraman, M., Kremenakova, D., Militky, J., & Zhou, Y. (2020). Progress in sol-gel technology for the coatings of fabrics. Materials, 13(8), 1838.

4-Camlibel, N. O., & Arik, B. (2017). Sol–gel applications in textile finishing processes. Recent applications in sol-gel synthesis. Intech Open Limited, UK, 253-281.

5-Kim, J., & Choi, S. O. (2018). Superhydrophobicity. In Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing (pp. 267-297). Wood head Publishing

6-Mahltig, B., Haufe, H., & Böttcher, H. (2005). Functionalisation of textiles by inorganic sol–gel coatings. Journal of materials chemistry,

15(41), 4385-4398.

7− Zhu, T., Li, S., Huang, J., Mihailiasa, M., & Lai, Y. (2017). Rational design of multi-layered superhydrophobic coating on cotton fabrics for UV shielding, self-cleaning and oil-water separation. *Materials & Design*, *134*, 342-351.

8- Becheri, A., Dürr, M., Lo Nostro, P., & Baglioni, P. (2008). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers. Journal of Nanoparticle Research, 10(4), 679-689.

9- Zhu, J., & Liao, K. (2020). A Facile Method for Preparing a Superhydrophobic Block with Rapid Reparability. Coatings, 10(12), 1202.