# مقارنة خصائص القماش القطني المعالج بأوكسيد الزنك وأوكسيد الزنك النانوي المحضر بتقنية السول-جل

م. هدى شروف[1] د. م. زياد سفور [2]

**ملخص البحث**

يعد أوكسيد الزنك من أفضل الخيارات المتاحة للحصول على مجموعة من الخصائص الوظيفية على الأقمشة القطنية، بسبب ما يتمتع به من ميزات مثل توافقه حيوياً مع جسم الإنسان، موصليته الكهربائية، مقاومته للأشعة فوق البنفسجية والبكتيريا وكونه رخيص الثمن نسبياً. إن استخدام أوكسيد الزنك النانوي، يزيد من فعالية أوكسيد الزنك وخصائصه الوظيفية المرغوبة، بسبب اتساع مساحة السطح مقارنة مع الحجم. في هذه الدراسة، تم تحضير أوكسيد الزنك النانوي، وقياس الجسيمات النانوية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح وبرنامج (ImageJ). أظهرت النتائج أن أقطار جسيمات أوكسيد الزنك المتشكلة (68.81, 41.76, 44.6 nm)- من أجل (PVA, PVP, CMC) كمواد لاصقة على الترتيب، وهي من رتبة الجسيمات النانوية. تمت المقارنة بين فعالية كل من أوكسيد الزنك النانوي وغير النانوي في مقاومة الأشعة فوق البنفسجية، وكذلك تأثير عملية المعالجة على الخصائص الميكانيكية للعينات المعالجة من خلال اختبار مقاومة التمزق. حيث تبين أن الأوكسيد النانوي يتفوق في مجال صد الأشعة فوق البنفسجية، هناك تناقص في النفوذية حوالي 10% عند طول الموجة (200 nm)، لكنه يؤدي إلى تراجع مقاومة العينات المدروسة للتمزق.

**الكلمات المفتاحية:** أوكسيد الزنك، أوكسيد الزنك النانوي، تقنية السول-جل، مقاومة الأشعة فوق البنفسجية.

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

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

# A Comparative of the Properties of Cotton Fabric Treated With Zinc Oxide and Nano - Zinc Oxide Prepared by Sol-Gel Technology

**Abstract**

Zinc oxide is one of the best choices for a range of functional properties of cotton fabrics, because of its properties such as its bio-compatibility with the human body, its electrical conductivity, its resistance to ultraviolet radiation and bacteria, and its relatively cheap. The use of nano-zinc oxide increases the effectiveness of zinc oxide and its desired functional properties, due to the size of the surface compared to the volume. In this study, nano-zinc oxide was prepared and nanoparticles were measured using a Scanning Electron Microscope (SEM) and a program (ImageJ). The results showed that the diameters of the synthesis zinc oxide particles -(68.81, 41.76 and 44.6 nm) with (PVA, PVP and CMC) respectively- were of the nanostructure. The effect of both zinc oxide and nano-zinc oxides was compared in the ultraviolet resistance, as well as the effect of the treatment process on the mechanical properties of the treated samples through the testing of tear resistance. Nano-zinc oxide has been shown to outperform ultraviolet radiation ,there was 10% decrease in the transmittance at (200 nm), but it reduces the resistance of specimens to tear.

**Keyword:** Zinc Oxide, Nano– Zinc Oxide, Sol-Gel Method, UV protection.

## 1-مقدمة:

تعد عملية تعديل سطوح المواد النسيجية ذات أهمية كبرى في الصناعة النسيجية إذ يمكن تطوير مواد جديدة لم تستخدم من قبل، أو إضافة خصائص جديدة للمواد المتوفرة مثل معالجة الأقمشة القطنية والممزوجة للحصول على أقمشة وظيفية كالأقمشة المقاومة للبكتيريا، المقاومة للأشعة فوق البنفسجية، الأقمشة الواقية من الرصاص والأقمشة المقاومة للاحتراق وغيرها الكثير من الخصائص. تتمتع بعض الأكاسيد المعدنية مثل ($ZrO_2$، ZnO، $TiO_2$، MgO، و$Al_2O_3$) بالعديد من الخصائص التي تجعلها مناسبة للاستخدام في المعالجة النهائية للأقمشة، مثل مؤشرات الانكسار العالية، المجال المحظور الواسع، التوافق مع الجلد، والاستقرار الكيميائي في درجات الحرارة العالية. تزداد فعالية أكاسيد المعادن عندما تكون على شكل جسيمات نانوية مقارنة بالجزيئات العادية، ويرتبط ذلك بمساحة سطحها الكبيرة جدًا. [5]

### 1-1-المعالجة النانوية السطحية:

تستطيع المواد النانوية أن تقدم العديد من الخصائص الفريدة المثيرة للاهتمام. من الممكن استخدام المواد النانوية في نطاق واسع من التطبيقات، مثل التحفيز، الكروماتوغرافيا، الفصل، والتحسس وما إلى ذلك. يعود السبب في ذلك إلى نسبة المساحة السطحية المرتفعة نسبة إلى الحجم، مساحة السطح الكبيرة، المسامية، التركيب متعدد السطوح. [8]

### 1-2-تقنية السول-جل (Sol-gel):

تعد تقنية السول-جل منهجًا شائعًا وموثوقًا به لتخليق المواد، خاصة أكاسيد المعادن ذات أحجام الجسيمات الصغيرة والمتجانسة وذات المورفولوجية المتنوعة. وتتضمن انتقال الوسط الغروي من الطور السائل "sol" إلى الطور الهلامي "gel". [2]

عرفت مواد سول-جل منذ أوائل الستينيات، عندما تم تحضير أول مادة غير عضوية باستخدام هذه الطريقة. في السنوات الثلاثين الماضية، تم تطوير العديد من التطبيقات الجديدة. لقد أظهر علماء ومهندسو المواد اهتمامًا متزايدًا بهذه التقنية، كطريقة بديلة لإعداد المواد ذات الخصائص الجديدة. إذ يمكن من حيث المبدأ تحضير أي أكسيد معدني نانوي بواسطة تقنية سول-جل. [5]

أصبحت تقنية سول–جل أداة مهمة لإنتاج الجزيئات النانوية أو لتحضير وتطبيق طبقات رقيقة أو تغطية تعتمد إما على المواد اللاعضوية أو مواد هجينة عضوية–غير عضوية، يمكن توظيفها لتعديل العديد من المواد النسيجية والسماح بإدخال خصائص معينة وضم خصائص مختلفة في خطوة تغطية واحدة. حالياً تسمح تقنية السول–جل بتحضير وترسيخ عدد كبير من معلقات أكاسيد المعادن. [6]

من مميزات تقنية السول–جل بساطتها، وحقيقة أنها وسيلة اقتصادية وفعالة لإنتاج مواد عالية الجودة. كما تتمتع بسهولة التشكيل، درجة حرارة التشكيل المنخفضة، التحكم بالتركيب الكيميائي، قابلية التكرار والموثوقية، إمكانية تعديل السطح. [4] ,[2]

### 1–3–أوكسيد الزنك:

يعد أحد أكاسيد التوصيل الشفافة ذات الاستخدامات الواسعة وهو مادة غير سامة، قليل الذوبان في الماء وذو نفاذية عالية للضوء المرئي وانعكاسية للمنطقة تحت الحمراء وامتصاصية للأشعة فوق البنفسجية، يمتلك موصلية كهربائية جيدة، استقرار كيميائي عالي ومتوفر في الطبيعة.

يستخدم أوكسيد الزنك في مجال المعالجة النهائية للأقمشة للحصول على الخصائص الوظيفية التالية: الحماية من الأشعة فوق البنفسجية، مقاومة الكهرباء الساكنة / امتصاص الرطوبة، مقاومة البكتيريا، مقاومة التجعد، خشونة السطح / التنظيف الذاتي. [7]

يتوفر أوكسيد الزنك في أشكال نانوية عديدة مثل الجسيمات النانوية وحيدة البعد (إبر، حلزون، نابض، حلقات، شرائط، أنابيب وأحزمة)، ثنائية البعد (صفائح، أوراق وأقراص) وثلاثية الأبعاد (شكل زهرة أو نجمة). اعتمد الباحثون أساليب مختلفة لإعداد أوكسيد الزنك النانوي باستخدام مواد بادئة كيميائية مختلفة. يمكن تصنيف هذه الطرق على نطاق واسع إلى ثلاث فئات رئيسية، وهي الطرق الكيميائية والبيولوجية والطبيعية. [4]

### 1–4–طريقة تطبيق المعالجة:

إن ما يعوق الاستخدام الواسع في المعالجة النهائية للمنسوجات هو عدم وجود ألفة بين ألياف النسيج وأوكسيد الزنك النانوي. إن طريقة تجفيف–غمر–تعتيق هي طريقة مستخدمة على نطاق واسع في صناعات النسيج للمعالجات النهائية الكيميائية. يتم تثبيت العنصر النشط على الركيزة النسيجية بمساعدة من البوليمرات أو عوامل الربط لتحسين ثباتية الإنهاء. وبما

أن أوكسيد الزنك النانوي لا يملك ألفة تجاه الألياف النسيجية، فإن هذه الطريقة شائعة الاستخدام لتحقيق التأثير الدائم. [4]

**2-هدف البحث:**

المقارنة بين تأثير استخدام كل من أوكسيد الزنك وأوكسيد الزنك النانوي في بعض الخصائص الوظيفية والمواصفات الميكانيكية للقماش القطني.

**3-خطة البحث:**

يتضمن إجراء البحث المراحل الأساسية الآتية:

1. تجهيز القماش القطني.
2. معالجة القماش القطني باستخدام معلق أوكسيد الزنك.
3. تحضير معلق أوكسيد الزنك النانوي باستخدام تقنية السول جل.
4. معالجة القماش القطني باستخدام أوكسيد الزنك النانوي.
5. إجراء عملية التجفيف والتعتيق للعينات المعالجة.
6. فحص العينات المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي باستخدام المجهر الالكتروني.
7. قياس نفوذية الأشعة فوق البنفسجية عبر القماش المعالج وذلك باستخدام السبيكتروفوتومتر.
8. اختبار مقاومة القماش المعالج للتمزق.

**4-الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:**

1. ميزان حساس.
2. سخان مخبري مع خلاط مغناطيسي.
3. جهاز التثبيت الحراري.
4. المجهر الإلكتروني الماسح (SEM).
5. جهاز السبيكتروفوتومتر.
6. جهاز اختبار مقاومة التمزق.
7. أدوات زجاجية ومخبرية مختلفة.
8. جهاز سبيكتروفوتومتر.

**5-المواد المستخدمة في البحث:**

1- قماش قطني خام تركيبه النسيجي سادة (1/1) وزن المتر المربع ($132\ g/m^2$).
2- أسيتات الزنك ($(CH_3COO)_2Zn.2H_2O$)).
3- ماءات الصوديوم ($NaOH$).
4- الماء الأوكسجيني ($H_2O_2$).
5- إيثانول ($C_2H_5OH$).
6- ماء مقطر.
7- بولي ڤينيل الكحول (PVA).
8- بولي ڤينيل البيروليدون (PVP).
9- كربوكسي ميتيل السيللوز (CMC).

**6-التجارب:**

**6-1-تبييض وتجهيز القماش القطني الخام:**

تجري عملية التبييض والتجهيز في حمام واحد باستخدام ماءات الصوديوم والماء الأوكسجيني وتشمل عملية التجهيز نزع النشاء وزيادة ترطيب القماش وبالتالي تقبل القماش للمعالجة الكيميائية. جرت العملية وفق الجدول (1) عند درجة الغليان لمدة ساعة. تشطف العينات بعدها وتعدل بحمض الخل (للتخلص من القلوي المتبقي في القماش ومنع تأثيره على المعالجة اللاحقة). يعاد شطف العينات بالماء العادي وتترك لتجف بدرجة حرارة المخبر.

| الجدول (1) تجهيز القماش القطني | |
|---|---|
| نسبة الحوض | 1:40 |
| ماء أوكسيجيني | %10 |
| ماءات الصوديوم | %3 |

**6-2-معالجة القماش القطني باستخدام معلق أوكسيد الزنك:**

من المعروف أن أوكسيد الزنك قليل الانحلال بالماء، لذلك وبغرض تطبيقه على القماش القطني يشكل معلق منه في الإيثانول. ثم يضاف هذا المعلق إلى محلول مائي محضر مسبقاً من البوليمير المراد استخدامه كمادة لاصقة. بحيث يحتوي المحلول الأول على (PVA)

والثاني على (PVP) والثالث على (CMC). تغمر ثلاث عينات قطنية في المعلقات الغروية الناتجة لمدة (10 دقائق) وتجفف عند الدرجة (80 $^{o}$ C) لمدة 10 دقائق وتعتق عند الدرجة (100 $^{o}$ C) لمدة 5 دقائق.

**6-3-تحضير معلق أوكسيد الزنك النانوي بطريقة السول-جل:**

لتشكيل جسيمات أوكسيد الزنك النانوي، يذاب كل من أسيتات الزنك وهيدروكسيد الصوديوم في الماء المقطر، تخلط لمدة خمس دقائق بعد مزج المحلولين باستخدام الخلاط المغناطيسي. يضاف الماء المقطر إلى المحلول السابق تدريجياً مع استمرار التحريك. بعد انتهاء التفاعل سوف يتشكل راسب أبيض يدل على تشكل أوكسيد الزنك النانوي. [3]

**6-4-معالجة القماش القطني باستخدام أوكسيد الزنك النانوي:**

يتم غمر 3 عينات في المعلق المتشكل السابق مع مراعاة إضافة محلول مائي من: (PVA) في العينة الأولى، (PVP) في العينة الثانية و(CMC) في العينة الثالثة. حيث يستمر الخلط حتى تمام التجانس ثم تنقع العينة القطنية لمدة (10 دقائق) وتجفف عند الدرجة (80 $^{o}$ C) لمدة 10 دقائق، باستخدام جهاز التثبيت الحراري من نوع (Roaches) الموضح في الشكل (1) والموجود في مخابر هندسة الغزل والنسيج، وتعتق عند الدرجة (100 $^{o}$ C) لمدة 5 دقائق. [1]

**الشكل (1) جهاز التثبيت الحراري**

### 6-5-فحص العينات المعالجة باستخدام المجهر الالكتروني:

تم توصيف الجسيمات النانوية التي حصلنا عليها باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope) والذي يشار له اختصاراً بـ SEM حيث تم تحديد قطر جسيمات أوكسيد الزنك باستخدام برنامج (imageJ).

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. ويبين الشكل التالي صورة المجهر الالكتروني الماسح (VEGA II XMU)، صنع جمهورية التشيك. والموجود في هيئة الطاقة الذرية.

**الشكل (2) المجهر الإلكتروني الماسح**

### 6-6-قياس نفوذية الأشعة فوق البنفسجية عبر القماش المعالج باستخدام السبيكتروفوتومتر:

استخدم جهاز (JASCO 530 specreo photometer) ضمن المجال (200-400) نانومتر وهو مجال الأشعة فوق البنفسجية والجهاز موصول مع كمبيوتر لتسجيل النتائج.

**الشكل (3) جهاز السبيكتروفوتومتر**

حيث يتم باستخدام هذا الجهاز تحديد قيم النفوذية (T%) للأقمشة القطنية عند أطوال أمواج مختلفة.

**6-7-اختبار مقاومة القماش المعالج للتمزق:**

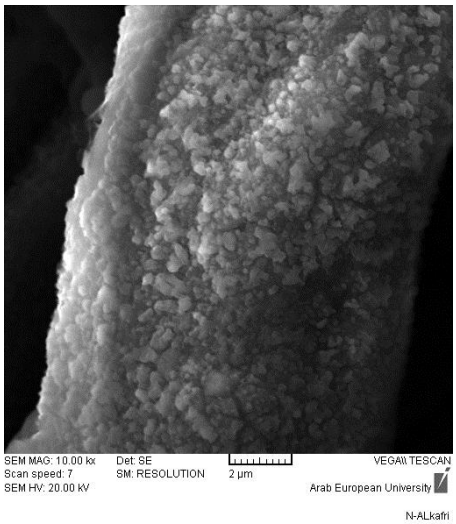
يستخدم الجهاز لتحديد مقاومة الأقمشة للتمزق حسب مواصفات قياسية محددة ( ASTMD 1424)، حيث يتم اختيار ثقل معين (الثقل C)، ووحدة قياس القوة (N)، وأبعاد العينة (96*60 mm).

**الشكل (4) جهاز اختبار قوة التمزق**

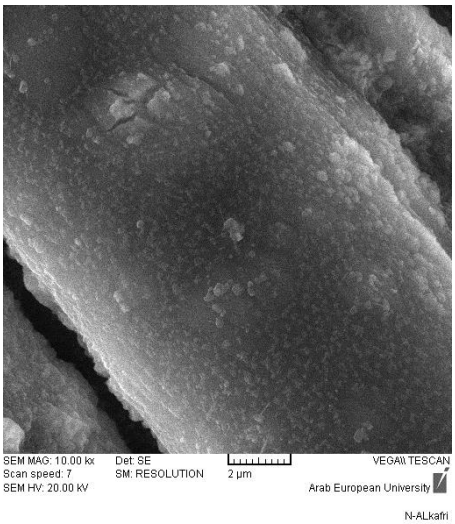
## 7-النتائج والمناقشة:

### 7-1-المجهر الالكتروني الماسح:

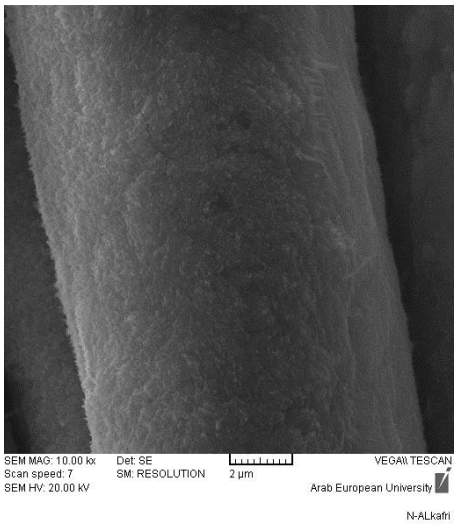
تظهر الأشكال (7،6،5) صوراً مجهرية للعينات المعالجة باستخدام أوكسيد الزنك النانوي المحضر بطريقة السول-جل. تم التأكد من أن قياس الجسيمات المتشكلة من مرتبة النانو. وتظهر الصور توزعاً منتظماً إلى حد كبير للجزيئات النانوية على سطح الألياف القطنية.




**الشكل (5) صور المجهر الالكتروني الماسح للعينة القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي و(PVA)**




**الشكل (6) صور المجهر الالكتروني الماسح للعينة القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي و(PVP)**




**الشكل (7) صور المجهر الالكتروني الماسح للعينة القطنية المعالجة بأوكسيد الزنك النانوي و(CMC)**

كما يلاحظ وجود اختلاف في أحجام الجسيمات النانوية، استخدم برنامج (ImageJ) بغرض قياس أقطار عدد من الجسيمات ومن ثم تحديد متوسط أقطارها من أجل كل بوليمير (مادة لاصقة) مستخدم. يبين الجدول (2) متوسط أقطار الجسيمات النانوية.

الجدول (2) متوسط أقطار جزيئات أوكسيد الزنك النانوية في العينات المدروسة

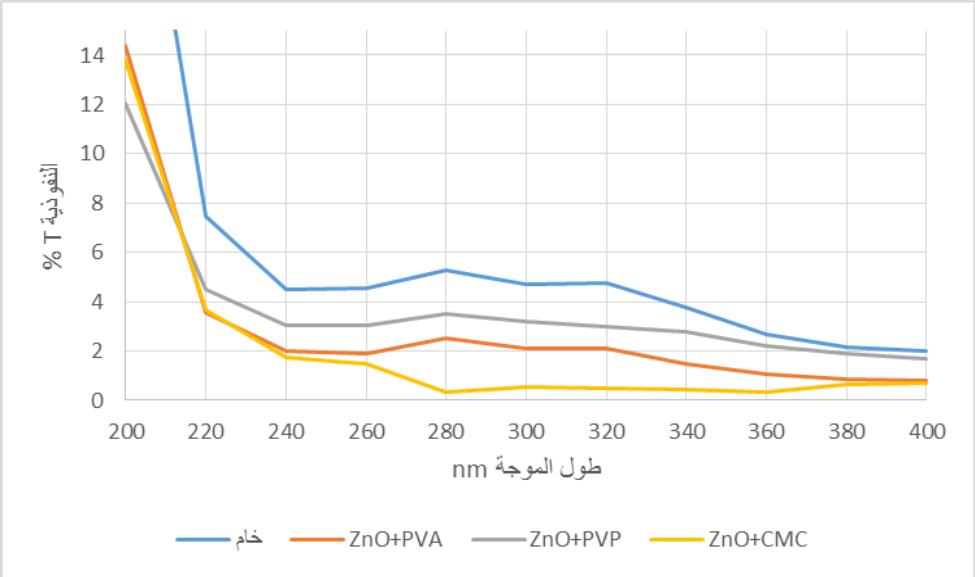
| العينة | متوسط أقطار الجزيئات النانوية (nm) | الانحراف المعياري (CV%) |
|---|---|---|
| Nano-ZnO+PVA | 68.81 | 28 |
| Nano-ZnO+PVP | 41.76 | 39 |
| Nano-ZnO+CMC | 44.6 | 16 |

يتضح من الجدول، أن استخدام بوليمير بولي ڤينيل بيروليدون أعطى جسيمات أصغر من حيث القطر، علماً أنه يستخدم كمادة مشتتة في تحضير الجسيمات النانوية، مما يمنع تكتل الجسيمات المتشكلة وبالتالي الحصول على جسيمات أصغر حجماً.

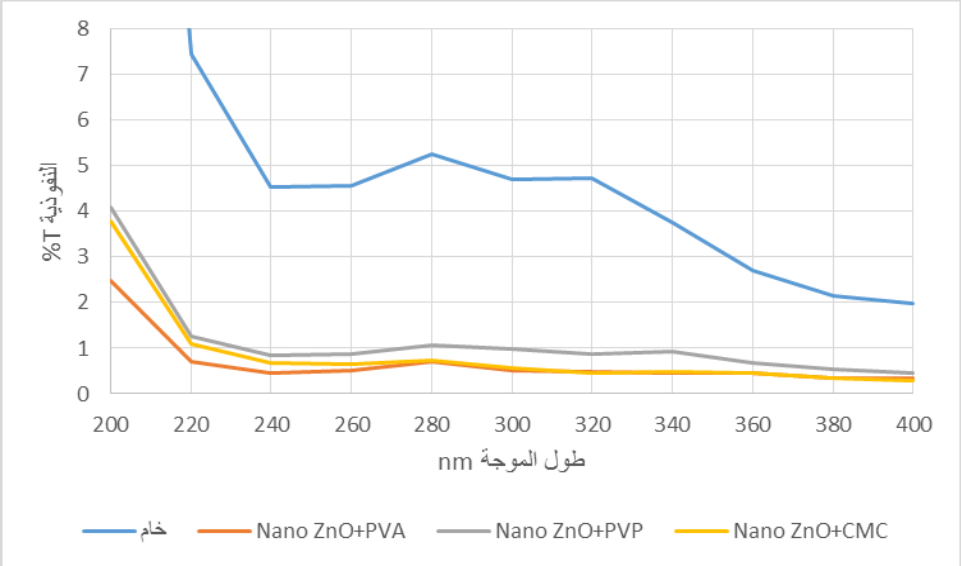
### 7-2-نفوذية الأشعة فوق البنفسجية:

يتضح من الشكل (8) أن استخدام أوكسيد الزنك غير النانوي قد أدى إلى تراجع نفوذية العينات المدروسة للأشعة في المجال (200-400 nm) وهو مجال الأشعة فوق البنفسجية بشكل ملحوظ مقارنة مع العينة الخام غير المعالجة، حيث انخفض مقدار صد الأشعة حوالي 14% عند طول الموجة 200 نانومتر. ويبين الشكل (9) علاقة النفوذية بطول الموجة للعينات المعالجة باستخدام أوكسيد الزنك النانوي المحضر بطريقة السول-جل. حيث يتضح من المخطط انخفاض النفوذية بشكل كبير للعينات المعالجة مقارنة مع العينة الخام غير المعالجة، ولاسيما من أجل العينة المعالجة باستخدام بولي ڤينيل الكحول كمادة لاصقة التي أبدت أكبر قدرة على صد الأشعة في المجال المدروس، ويعود ذلك إلى أن قمة امتصاص PVA للضوء في مجال الأشعة فوق البنفسجية أكبر من البوليميرين الآخرين. بالمقارنة بين الشكلين (8 و9) نلاحظ وجود فرق واضح في فعالية مجموعة العينات المعالجة في صد

الأشعة فوق البنفسجية، حيث أبدى أوكسيد الزنك النانوي امتصاصاً أكبر للأشعة وبالتالي مقاومة أكبر لمرورها من خلال العينات القطنية.




**الشكل (8) العلاقة بين طول الموجة ونفوذية العينات القطنية المعالجة باستخدام جزيئات أوكسيد الزنك**




**الشكل (9) العلاقة بين طول الموجة ونفوذية العينات القطنية المعالجة باستخدام جزيئات أوكسيد الزنك النانوي**

### 7-3-نتائج اختبار قوة التمزق:

أجري اختبار مقاومة الأقمشة للتمزق، لمعرفة تأثير عملية المعالجة المطبقة في إحدى الخواص الميكانيكية للعينات القطنية المدروسة.

الجدول (3) نتائج اختبار مقاومة التمزق

| اسم العينة | قوة التمزق (N) |
|---|---|
| Without | 19.29 |
| ZnO+PVA | 14.85 |
| ZnO+PVP | 12.58 |
| ZnO+CMC | 9.96 |
| Nano-ZnO+PVA | 3.5 |
| Nano-ZnO+PVP | 1.78 |
| Nano-ZnO+CMC | 4.40 |

بملاحظة الجدول (3) نجد أن مقاومة التمزق لجميع العينات المدروسة قد انخفضت مقارنة مع العينة الخام غير المعالجة. لم تتأثر العينات المعالجة بأوكسيد الزنك غير النانوي بشكل كبير وخاصة العينة المعالجة باستخدام بولي ڤينيل الكحول كمادة لاصقة، حيث حافظت على مقاومة عالية للتمزق. لكن متانة العينات المعالجة باستخدام أوكسيد الزنك النانوي تراجعت بشكل ملحوظ، ربما يعود السبب إلى تأثر القطن بالقلوي المستخدم في إرجاع أسيتات الزنك أثناء تحضير أوكسيد الزنك النانوي بواسطة تقنية السول-جل.

### 8-الخلاصة:

في هذه الدراسة، تم تحضير أوكسيد الزنك النانوي، وقياس الجسيمات النانوية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح وبرنامج (ImageJ). تم تطبيق كل من أكسيد الزنك النانوي وغير النانوي على القماش القطني باستخدام مواد بوليميرية هي (PVP، CMC،PVP )

لربط الأوكسيد مع سطح القماش القطني ومن ثم طبق محلول المعالجة على العينات وأجريت عليها عمليات التجفيف والتعتيق. تمت المقارنة بين فعالية كل من أوكسيد الزنك النانوي وغير النانوي في مقاومة الأشعة فوق البنفسجية، حيث صد كل منهما وعلى اختلاف المادة اللاصقة المستخدمة الأشعة فوق البنفسجية بشكل كبير. لكن أدى استخدام أوكسيد النانوي إلى مقاومة أعلى بكثير للأشعة فوق البنفسجية. كما تمت دراسة تأثير عملية المعالجة على إحدى الخصائص الميكانيكية للعينات المعالجة من خلال اختبار مقاومة التمزق. حيث تبين أن استخدام الأوكسيد النانوي أدى إلى تراجع مقاومة العينات المدروسة للتمزق، بينما حافظت عملية المعالجة بالأوكسيد غير المعالج على متانة العينات بشكل أكبر.

**9-المقترحات:**

1. استخدم في هذا البحث أسيتات الزنك كبادئ للحصول على أوكسيد الزنك النانوي باستخدام تقنية السول-جل، يقترح استخدام مواد بادئة أخرى مثل كلور الزنك وكبريتات الزنك ودراسة فعاليتها وتأثيرها على المواصفات الميكانيكية للأقمشة المعالجة.

2. استخدم (PVA،PVP، CMC ) ولكن مع ثبات تركيز كل منها في هذا البحث، يقترح تغير تركيز البوليمير المستخدم كمادة لاصقة ودراسة تأثير ذلك في فعالية الأقمشة المعالجة وخواصها الفيزيائية.

3. استخدم أوكسيد الزنك النانوي المشكل بطريقة السول-جل على شكل معلق غروي في معالجة الأقمشة المعالجة. يقترح استخدام جهاز (Rotary Evaporator) في الحصول على الأوكسيد المعدني على شكل مسحوق نقي، مما يتيح إمكانية تغيير تركيزه بسهولة ويسر.

## 10-المراجع:


| | |
|---|---|
| 1- | Gouda M, Aljaafari A I. Augmentation of Multifunctional Properties of Cellulosic Cotton Fabric Using Titanium Dioxide Nanoparticles. Advances in Nanoparticles: 29-36, 2012. |
| 2- | Gurav J, Jung L, Park H, Kang E, Nadargi D. Silica Aerogel: Synthesis and Applications. Journal of Nanomaterials, Hindawi Publishing Corporation, 2010. |
| 3- | Hasuidawani et al. Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. Procedia chemistry, Vol 19: 211-216, 2016. |
| 4- | Islam S, Butola B. Nanomaterials in the Wet Processing of Textiles. Scrivener Publishing LLC, 2018. |
| 5- | Levy D, Zayat M. The Sol-Gel Handbook. Wiley-VCH, 2015. |
| 6- | Paul R (Ed). Functional Finishes for Textiles: 469-471. Elsevier, 2015 |
| 7- | Riaz S, Ashraf M, Hussain T, Hussain M. Functional finishing and coloration of textiles. Coloration Technology, Vol 134: 327–346, 2018. |
| 8- | Sun Z. Novel Sol-Gel Nanoporous Materials, Nanocomposites and Their Applications in Bioscience. A Thesis in partial fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor of Philosophy. The Faculty of Drexel University, 2005. |