جامعة البعث
كلية الهندسة الكيميائية والبترولية
قسم هندسة الغزل والنسيج

استخدام ثنائي أوكسيد التيتانيوم في المعالجة للحصول على أقمشة ذاتية التنظيف

المؤلف :
طالبة الدكتوراه : نسرين علي حسن

المشرف :
د حسين بكر

استخدام ثنائي أوكسيد التيتانيوم في المعالجة للحصول على أقمشة ذاتية التنظيف

1- الملخص :

يعد ثاني أوكسيد التيتانيوم TiO_2 محفزاً ضوئياً جيداً حيث يمتلك فجوة طاقة مساوية ل (3.2 ev) تقريباً وبالتالي يمكن لأشعة فوق بنفسجية بطول موجة أقصر من (388) نانومتر أن تحفزه فيعمل على تفكيك المركبات العضوية والملوثات عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية.

يتضمن هذا البحث معالجة أقمشة قطنية بثنائي أوكسيد التيتانيوم بطريقة (غمر_ تجفيف_ تعتيق) ثم تلطيخ العينات ببقع القهوة والحبر ثم تعريضها للأشعة فوق البنفسجية ومن ثم تقييم تفكك البقع بالصور و باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر الذي يعطي قيم عمق اللون K/S.

هدف البحث الحصول على قماش ينظف ذاته عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية من خلال معالجة القماش باستخدام ثنائي أوكسيد التيتانيوم وتقييم فاعلية إزالة البقع.

كلمات مفتاحية :

ثنائي أوكسيد التيتانيوم TiO_2 ، التحفيز الضوئي ، الأشعة فوق البنفسجية UV

Using Titanium dioxide in the treatment to get self – cleaning fabrics

Abstract:

It has been widely accepted that titanium dioxide (TiO_2) displays a good photocatalytic properties .This substance has a band gap of approximately (3.2 eV) and thus can be excited by UV radiation whose wavelength is shorter than 388 nm , therefor can dismantle organic compounds when they are exposed to UV .

Our research includes the treatment of cotton fabrics with titanium dioxide in (pad – dry–cure) way then stained the samples with ink and coffee stain and then exposure to the UV radiation , evaluation of stains disintegration by photo and spectrophotometer device which gives color strength values K/S.

The goal of research is getting fabric cleaning itself when exposed to UV by treatment the fabric with titanium dioxide and evaluation of effectiveness of removing stains.

Keywords: titanium dioxide (TiO_2) , photocatalytic , ultraviolet UV.

1- مقدمة:

من لا يعاني من اتساخ ملابسه بمختلف البقع وخصوصاً ملابس الأطفال كثيرة الاتساخ والتبقع ، كما أنه قد يتواجد أشخاص في أماكن يصعب فيها تنظيف الملابس مثل رجال الجيش أو توجد أقمشة كبيرة يصعب غسلها مثل أقمشة مظلات النوافذ ومداخل الفنادق.

تعاني الألبسة من فقدان بعض خواصها(كالملمس واللون والمظهرية) وتقصر عمرها نتيجة الغسل المتكرر بالإضافة إلى تكاليف التنظيف والهدر في استهلاك الماء والطاقة الكهربائية، لذا تم الاتجاه في الوقت الحالي نحو استبدال طرق الغسيل التقليدية بطرق أخرى، مما دعانا بالتفكير للاستفادة من خواص المحفزات الضوئية التي تعمل على تفكيك المركبات العضوية والملوثات عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية. ومن أهم المحفزات الضوئية ثنائي أوكسيد التيتانيوم .

بدأت رحلة التيتانيا نحو النجومية منذ ما يزيد على أربعة عقود ولم يكن لذلك أي علاقة بموضوع الابتلال. ففي عام 1967 اكتشف (أ. فوجيشيما) أن التيتانيا تستطيع عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية فصم الماء إلى أوكسجين وهيدروجين أي ما يسمى التحلل الضوئي photolysis لأنها إذا جعلت قادرة على العمل بكفاءة عالية لأمكن توليد الهيدروجين بكلفة زهيدة تجعله بديلاً ثميناً كوقود لا يطلق الكربون ولكنه أيقن في النهاية أن الوصول إلى مردود تجاري غاية بعيدة المنال [1].

لكن الدراسات بينت أن الأغشية الرقيقة من التيتانيا (ثخانة ما بين النانومترات والميكرومترات) أكثر فعالية من الجسيمات الكبيرة وعندما انضم فوجيشيما في عام 1990 إلى هاشيموتو من جامعة طوكيو و واتانابي من مصانع إنتاج المواد الصحية اكتشف هؤلاء جميعاً ان الأغشية التي ثخنها من القياس النانوي والمنشطة بفعل الأشعة فوق البنفسجية لها تأثير حفزي ضوئي يؤدي إلى تفكيك المركبات العضوية بما فيها المركبات الموجودة في جدران خلايا البكتريا وتحولها إلى ثنائي أكسيد الكربون وماء [2].

2- التحفيز الضوئي :

كلمة التحفيز الضوئي (Photocatalysis) هي كلمة مركبة من جزئين الجزء الأول Photo وتعني الضوء والجزء الثاني catalysis وتعني التحفيز. يمكن تعريف عملية التحفيز الضوئي على أنها تفاعل يستخدم فيه الضوء كمنشط للمادة المحفزة التي تعمل على زيادة معدل التفاعل الكيميائي عن طريق تقليل طاقة التنشيط اللازمة له، بدون أن تتأثر هذه المادة أو تُستنزف.

وقع الاختيار على أشباه الموصلات semiconductors لتكون محفزات ضوئية كونها تمتلك فجوة طاقة صغيرة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل. ومن بين مواد أشباه الموصلات الممكن استخدامها كمحفز ضوئي مادة ثاني أوكسيد التيتانيوم Titanium Dioxide والذي له الرمز الكيميائي TiO_2 وفجوة الطاقة في TiO_2 هي (Eg=3,2ev) وهذه الطاقة تعادل طاقة فوتون له طول موجي يساوي (388nm) وهذا الفوتون يقع في مدى الأشعة فوق البنفسجية [3] .

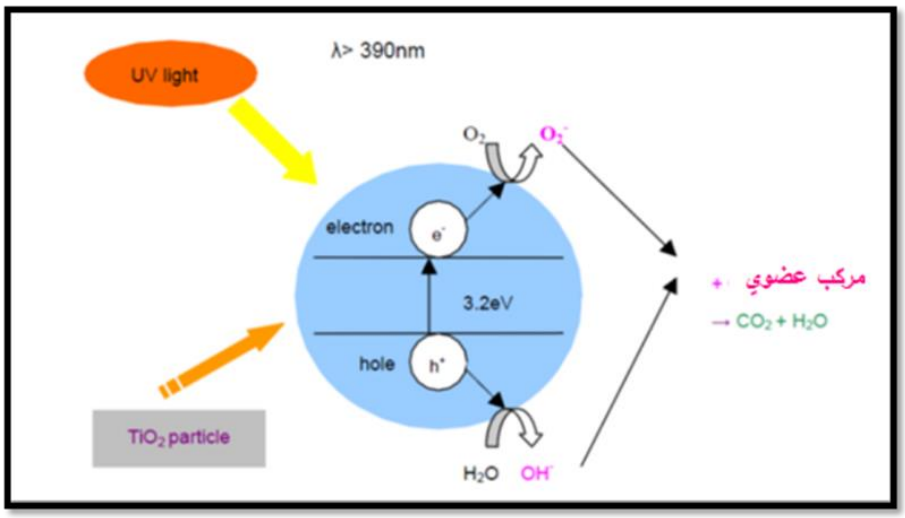
3- ثنائي أوكسيد التيتانيوم TiO_2:

جرى استخدام TiO_2 على نطاق واسع بسبب عدم سمّيته، توافره، الفعالية من حيث التكلفة، الاستقرار الكيميائي والخصائص الفيزيائية والكيميائية المناسبة.

3-1-آلية عمل التحفيز الضوئي في ثاني أوكسيد التيتانيوم:

عندما يمتص ثاني أوكسيد التيتانيوم الأشعة فوق البنفسجية من أشعة الشمس أو من أي مصدر ضوئي يعمل في مدى الأشعة فوق البنفسجية فإن طاقة الأشعة فوق البنفسجية تكون كافية لتحرير الكترون سالب وفجوة موجبة كما هو واضح في الشكل (1) . يصبح الكترون حزمة التكافؤ في ثاني أوكسيد التيتانيوم مثاراً عند امتصاصه للأشعة فوق البنفسجية وينتقل الالكترون (e^-) إلى حزمة التوصيل تاركاً خلفه فجوة موجبة في حزمة التكافؤ (h^+) ويصبح ثاني أوكسيد التيتانيوم في هذه الحالة مثاراً.

الفجوة الموجبة (h^+) في ثاني أوكسيد التيتانيوم تعمل على تحويل جزيء الماء إلى هيدروجين وهيدروكسيل . ويتفاعل الالكترون (e^-) مع جزيء الأوكسجين ويعطي أنيون مؤكسد قوي جداً وتستمر هذه العملية طالما هناك ضوء متوفر [3,4].



الشكل (1) آلية عمل التحفيز الضوئي في TiO_2 [4]

4- أدوات البحث وطرائقه:

4-1- المواد والأجهزة المستخدمة:

تم استخدام أقمشة قطنية 100% بتركيبين نسيجيين سادة ومبرد كما يبين الجدول (1) حيث يعد هذان التركيبان الأكثر شيوعاً في صناعة الملابس مثل ملابس الجيش التي تصنع بتراكيب مبرد وألبسة الأطفال القطنية التي تصنع في الغالب بتراكيب سادة.

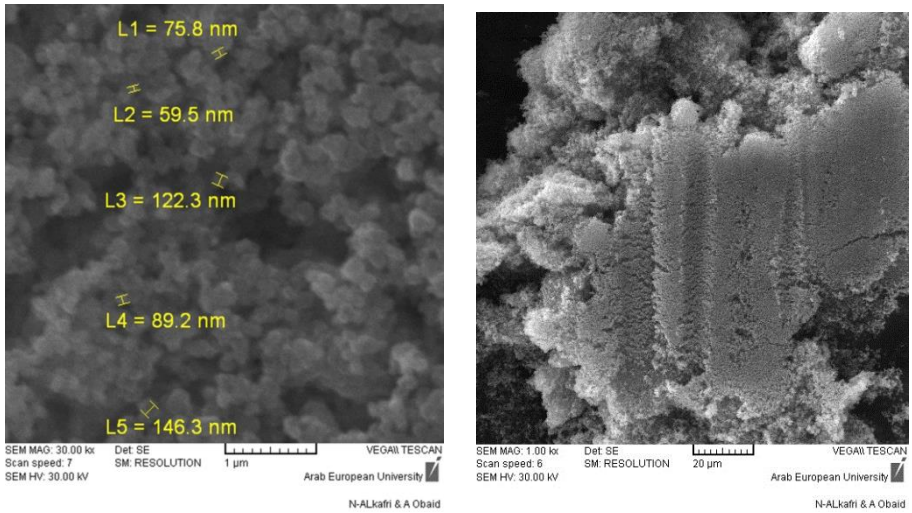
الجدول (1) يبين مواصفات القماش المستخدم في التجارب

القماش	عدد خيوط السداء بالسم	عدد خيوط الحدف بالسم	وزن المتر المربع غ/م²
سادة 1/1	23	23	148
مبرد 2/1	38	20	250

أما المواد الكيميائية المستخدمة في البحث فهي: – مادة ثنائي أوكسيد التيتانيوم TiO_2 نقاوة 89% (بلد المنشأ الهند) كمحفز ضوئي، – ومادة إيتلين غليكول كمذيب وماء مقطر.

ثاني أوكسيد التيتانيوم TiO_2 :

مسحوق أبيض اللون يستخدم كعامل فعّال لإضفاء خاصية التنظيف الذاتي على القماش القطني ويبين الشكل (2) صورة المجهر الإلكتروني لثنائي أوكسيد التيتانيوم المستخدم في التجارب.



الشكل (2) صور مجهر إلكتروني ل TiO_2

– الأجهزة المستخدمة في العمل فهي :

1. جهاز تجفيف وتثبيت حراري الشكل (3) وهو عبارة عن فرن مصنوع من الالمنيوم يوجد فيه حجرة يتم تثبيت العينات فيها، يتيح هذا الجهاز إمكانية التحكّم بدرجة الحرارة مع ضبط الزمن حيث يمكن استخدامه في تجفيف العينات وتعتيقها في درجات حرارة مرتفعة وضمن فترات زمنية مضبوطة.

2. مصباح أشعة فوق البنفسجية

تم تعريض العينات باستخدام مصباح Siemens UV (30 واط) لأشعة UV الشكل (4) وذلك لتحفيز عمل TiO_2.

الشكل (3) جهاز التجفيف والتثبيت الحراري

الشكل (4) مصباح الأشعة فوق البنفسجية

3. المجهر الالكتروني:

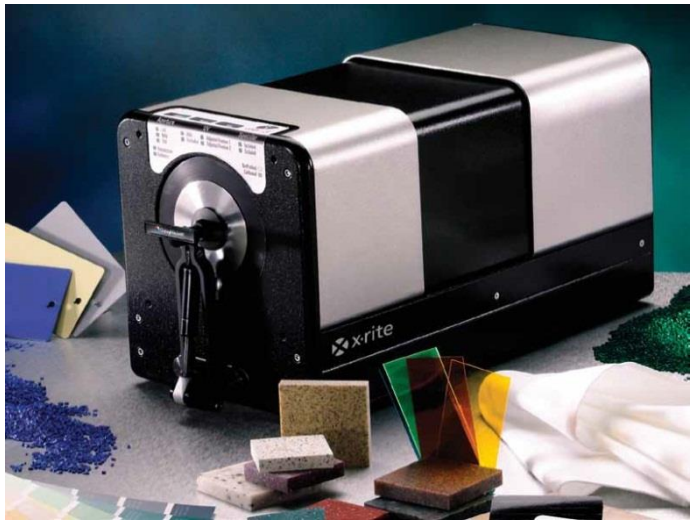
تم توصيف المواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة النسيج التي حصلنا عليها باستخدام المجهر الالكتروني الماسح Scanning Electron Microscope والذي يشار له اختصاراً بـ SEM الشكل (5).

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 الاشارات المنعكسة والصادرة عن العينة باستخدام الكاشف Detector وبعد ذلك يتم معالجة هذه الاشارات ليتم إظهارها كصور.

الشكل (5) يبين المجهر الالكتروني الماسح VEGA II XMU

4. جهاز السبيكتروفوتوميتر:

تم استخدام جهاز Color i-5 الشكل (6).



الشكل (6) يبين جهاز السبيكتروفوميتر

4-2- التجارب:

تم استخدام طريقة غمر تجفيف تعتيق في معالجة الأقمشة القطنية للحصول على خاصية التنظيف الذاتي حيث تم تحضير محلول يحوي ماء مقطر وإيتلين غليكول (بنسبة 1:1) ثم أضيف ثنائي أوكسيد التيتانيوم بنسب مختلفة مع إضافة رابط أكريلات.

تم التسخين مع التحريك المغناطيسي حتى حرارة (70 C°) ثم تم تحميل العينات بالمواد على الفولار مدة نصف ساعة بعد ذلك جففت العينات في فرن التجفيف على حرارة (70 C°) لمدة ربع ساعة والتعتيق على حرارة (110 C°) مدة (5) دقائق . وقد اختيرت حرارة التعتيق هذه بعد عدة تجارب لوحظ فيها اصفرار العينات عند تجاوز هذه الحرارة.

تم تلطيخ العينات ببقع القهوة والحبر. يقصد بتلطيخ العينات إضافة بقع عليها حيث تم وضع بقع من القهوة ، الحبر على العينات المعالجة السادة والمبرد. كما تم تلطيخ عينات سادة ومبرد غير معالجة واعتبارها عينات مرجعية تستخدم للمقارنة مع العينات المعالجة لإظهار مدى فاعلية المعالجة ومقدار إزالة البقع.

حضر محلول قهوة ساخنة ثم لطخت العينات باستخدام قطارة وعلى ارتفاع متساوي بالنسبة لجميع العينات ، أما بالنسبة لبقع الحبر فقد استخدم قلم حبر أزرق سكب منه الحبر مباشرة على جميع العينات.

لوحظ اختلاف في انتشار البقع على العينات ، فالعينات غير المعالجة انتشرت البقع على عينات السادة بشكل أكبر من عينات المبرد ، في حين اختلف انتشارها على العينات المعالجة حسب نوع التركيب ومحلول المعالجة.

4-3-النتائج والاختبارات:

- ♣ *حساب نسب المادة الجافة:*

نقوم بوزن العينات قبل وبعد المعالجة ونقوم بحساب نسبة المادة الجافة المحملة حسب القانون التالي:

نسبة المادة الجافة = ((الوزن بعد التجفيف – الوزن قبل التحميل) / (الوزن قبل التحميل)) x 100

الجدول (2) يبين نسب المادة الجافة على عينات القماش المعالج

العينة	نسبة TiO2 المستخدمة %	نسبة المادة الجافة %
العينة (1) قماش قطني سادة	3	9.34
العينة(2) قماش قطني سادة	5	18.02
العينة (3) قماش قطني سادة	10	5.20
العينة (4) قماش قطني سادة	15	2.90
العينة (5) قماش قطني سادة	20	2.32
العينة (6) قماش قطني مبرد	3	16.48
العينة (7) قماش قطني مبرد	5	51.27
العينة (8) قماش قطني مبرد	10	14,07
العينة (9) قماش قطني مبرد	15	13.25
العينة (10) قماش قطني مبرد	20	2.32

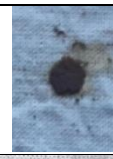
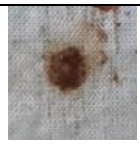
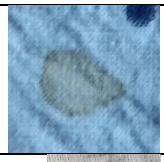
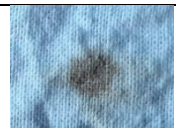
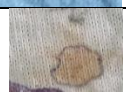
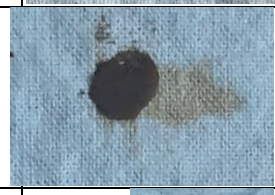
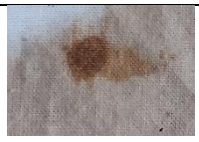
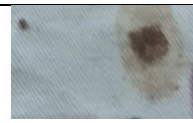
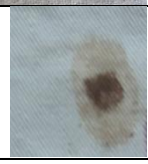
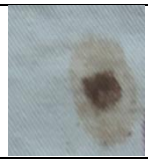
يلاحظ من الجدول السابق زيادة نسبة المادة الجافة للعينات السادة والمبرد المعالجة ب 5% من TiO_2 ثم تتناقص هذه النسبة لباقي العينات ويعود ذلك إلى عدم انحلال كامل TiO_2 عند زيادة نسبته في المحلول.

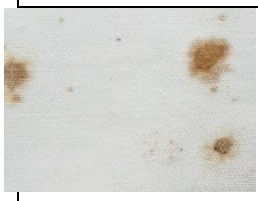
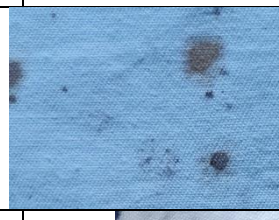
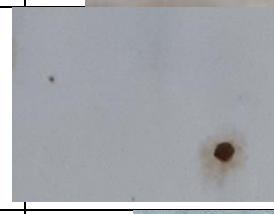
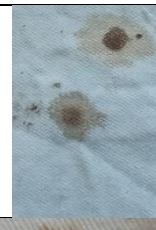
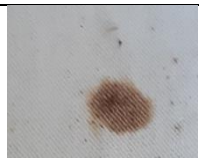
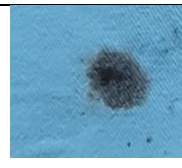
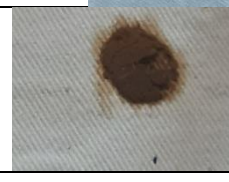
♣ *التعريض للإشعاع:*

بعد معالجة العينات المختبرة بالمواد الكيميائية وإضافة البقع عليها تم تعريضها للإشعاع (شمسي او UV) لكي تحصل عملية التحفيز الضوئي التي تقوم بتفكيك البقع. ويوضح الشكل التالي صور بعض العينات المعالجة والعينات المرجعية قبل وبعد تعريضها لإشعاع UV. حيث تظهر الجداول (3,4) صور بقعة القهوة وبقعة

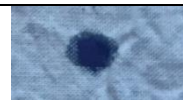
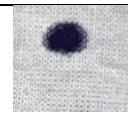
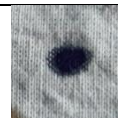
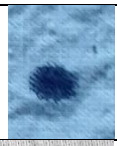
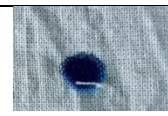
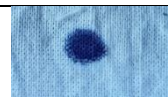
الحبر للعينات المعالجة وغير المعالجة بعد تعرضها لفترات زمنية من أشعة UV باستخدام مصباح الأشعة فوق البنفسجية.

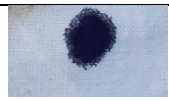
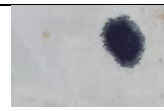
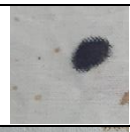
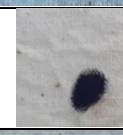
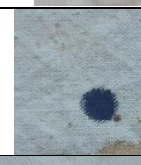
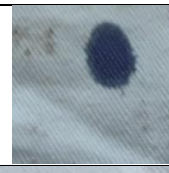
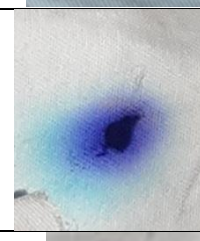
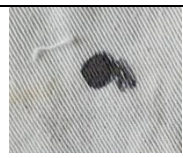
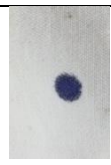
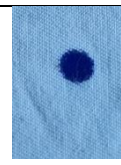
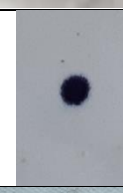
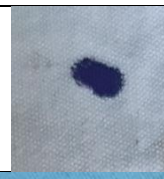
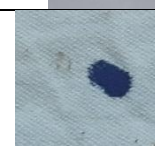
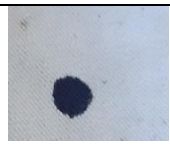
الجدول (3) يبين تغير لون بقع القهوة وحوافها على العينات بعد تعرضها لأشعة UV

العينة	0 h	30h	50h
المرجعية السادة			
1			
2			
3			
4			
5			
مرجعية مبرد			

6			
7			
8			
9			
10			

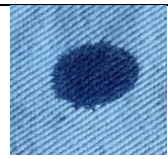
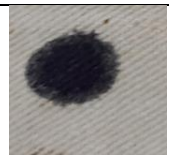
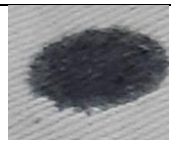
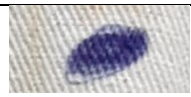
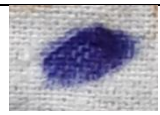
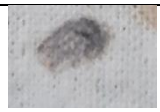
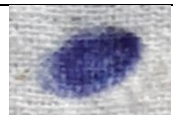
الجدول (4) يبين تغير لون بقع الحبر وحوافها على العينات بعد تعرضها لأشعة UV

العينة	0 h	30h	50h
المرجعية السادة			
1			
2			

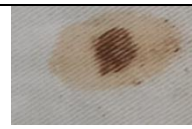
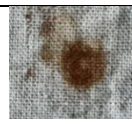
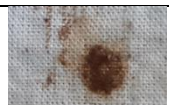
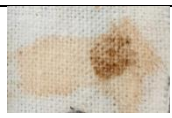
			3
			4
			5
			مرجعية مبرد
			6
			7
			8
			9
			10

لوحظ أن إزالة بقع القهوة والحبر كانت أفضل في العينات المعالجة ب 5% من TiO_2، وأن بقعة القهوة تناقصت بشكل أكبر من بقعة الحبر . وعند إعادة التجربة بتراكيز (5، 10) % من TiO_2 ومحاولة إزالة البقع باستخدام أشعة الشمس تم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (5) لبقع الحبر والجدول (6) لبقع القهوة.

الجدول (5) يبين مدى تغير بقع الحبر عند تعرض عينات القماش لأشعة الشمس

العينة	0 سا شمس	20 سا شمس	40 سا شمس	60 سا شمس
العينة المرجعية المبرد				
عينة معالجة ب 5% TiO2				
عينة معالجة ب 10% TiO2				
العينة المرجعية السادة				
عينة معالجة ب 5% TiO2				
عينة معالجة ب 10% TiO2				

الجدول (6) يبين مدى تغير بقع القهوة عند تعرض عينات القماش لأشعة الشمس

العينة	0 سا شمس	20 سا شمس	40 سا شمس	60 سا شمس
العينة المرجعية المبرد				
عينة معالجة ب 5% TiO2				
عينة معالجة ب 10% TiO2				
العينة المرجعية السادة				
عينة معالجة ب 5% TiO2				
عينة معالجة ب 10% TiO2				

لوحظ من الجداول السابقة أن بقع الحبر تغير لونها عند تعرضها لأشعة الشمس قبل أن تبدأ بالتناقص وكانت أفضل إزالة في العينات المعالجة ب 10% من TiO_2 ، بينما كانت إزالة بقع القهوة أفضل في العينات المعالجة ب 5% من TiO_2.

4-4- تقييم النتائج:

بعد أن تم تعريض العينات المعالجة والمرجعية الملطخة ببقع القهوة والحبر للأشعة فوق البنفسجية تم تقييم النتائج باستخدام كل من جهاز السبيكتروفوميتر والمجهر الالكتروني .

.4-4-1- جهاز السبيكتروفوتوميتر:

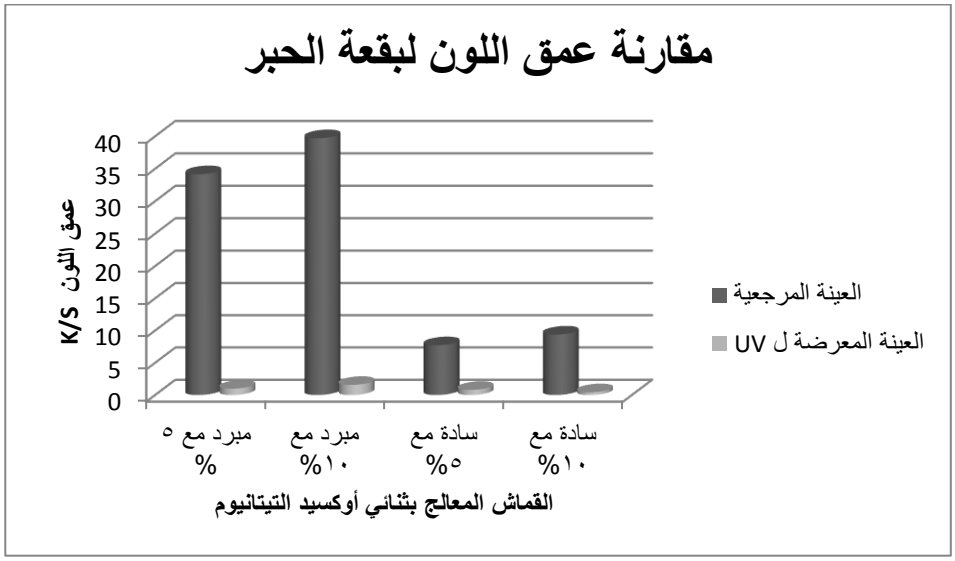
ينقسم الضوء الساقط على الخامات النسيجية من حيث سلوكه إلى ثلاثة أقسام، فهو إما ينعكس عن سطح النسيج، أو يمتص أو ينفذ من خلال النسيج . وباستخدام جهاز السبيكتروفوتومتر يمكن قياس كل من الضوء المنعكس (R)، الممتص(abs) ، النافذ (T) بالإضافة إلى قوة اللون (K/S) قيست هذه البارامترات للعينات المختبرة في هذا البحث في المجال المرئي (360–750 nm) لكن تم التركيز على القيم المقاسة عند طول الموجة (λmax=440 nm) وهو طول موجة الامتصاص الأعظمي بالنسبة لمعظم العينات في هذا البحث . علماً أن قيمة K/S تعبر عن عمق اللون وتحسب من معادلة كوبلكا مونك [6] :

$$K/S = (1 - R)^2/2R$$

يعطي جهاز السبيكتروفوتومتر النتائج على شكل جداول يظهر فيها عمق اللون K/S للبقع (الجداول 7,8). تم تنظيم النتائج في مخططات لإظهار مدى تغير عمق اللون لبقع الحبر والقهوة لقماش السادة والمبرد الشكل (7، 8).

الجدول (7) يبين عمق اللون لبقع الحبر على قماش سادة ومبرد

العينة	البقعة	k/s للعينة المرجعية	k/s للعينة المعالجة
عينة مبرد تحوي 5% من Tio2	حبر	34.148	0.988
عينة مبرد تحوي 10% من Tio2	حبر	39.700	1.570
عينة سادة تحوي 5% من Tio2	حبر	7.713	0.787
عينة سادة تحوي 10% من Tio2	حبر	9.376	0.428

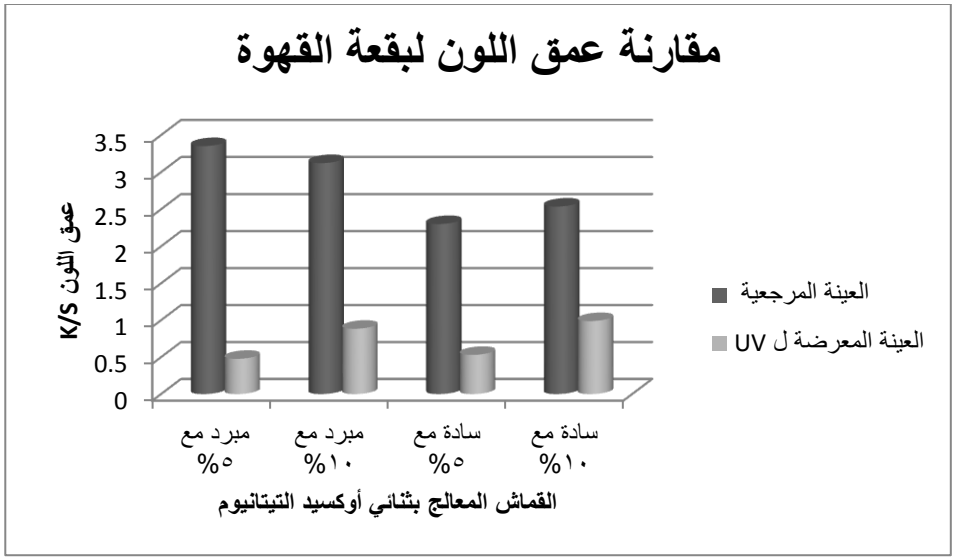


الشكل (7) يبين تغير عمق لون بقع الحبر

يلاحظ من الجدول والمخطط السابقين أن قوة اللون لبقع الحبر تكون أكبر على أقمشة المبرد غير المعالج ويتناقص بشكل كبير في عينات المبرد المعالجة وخصوصاً العينات المعالجة بنسبة 5% من TiO_2 . ويظهر أن أقمشة السادة غير المعالجة ذات قوة لون لبقعة الحبر أقل من المبرد غير المعالجة ويتناقص بشكل أكبر في العينات المعالجة بنسبة 10% من TiO_2 .

الجدول (8) يبين عمق اللون لبقع القهوة على قماش سادة ومبرد

العينة	البقعة	k/s للعينة المرجعية	k/s للعينة المعالجة
عينة مبرد تحوي 5% من Tio2	قهوة	3.352	0.478
عينة مبرد تحوي 10% من Tio2	قهوة	3.123	0.885
عينة سادة تحوي 5% من Tio2	قهوة	2.301	0.531
عينة سادة تحوي 10% من Tio2	قهوة	2.537	0.989

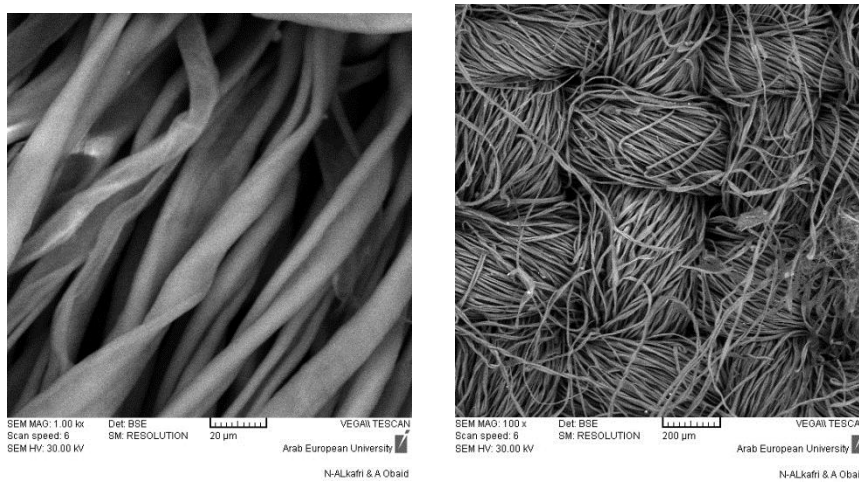


الشكل (8) يبين تغير عمق اللون لبقع القهوة

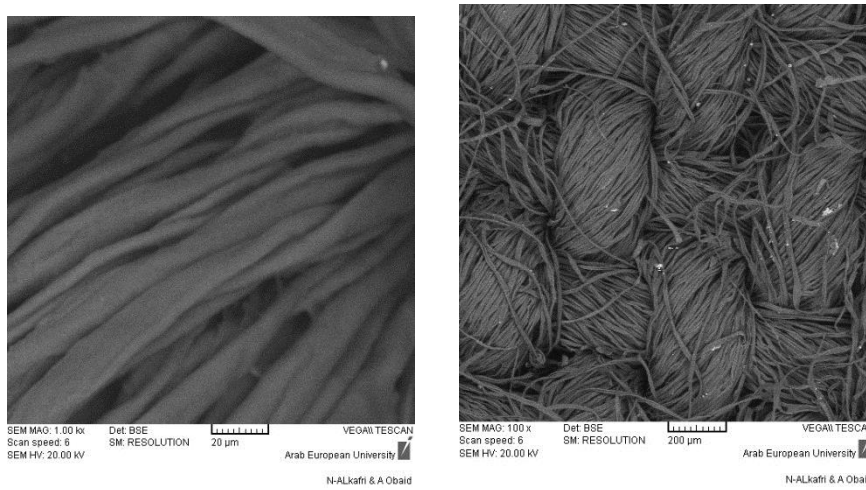
يلاحظ من الجدول والمخطط السابقين أن قوة اللون لبقع القهوة تكون أكبر على أقمشة المبرد غير المعالج ويتناقص بشكل كبير في عينات المبرد المعالجة وخصوصاً العينات المعالجة بنسبة 5% من TiO_2 . ويظهر أن أقمشة السادة غير المعالجة ذات قوة لون لبقعة القهوة أقل من المبرد غير المعالجة ويتناقص بشكل أكبر في العينات المعالجة بنسبة 5% من TiO_2 .

4-4-2- المجهر الالكتروني:

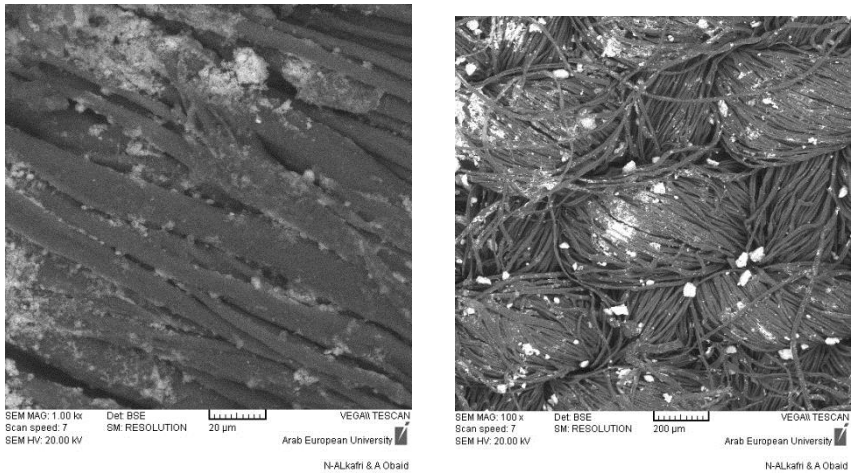
تم أخذ صور للعينات المعالجة وغير المعالجة باستخدام المجهر الإلكتروني الموجود في هيئة الطاقة في دمشق والذي تحدثنا عن مواصفاته سابقاً . حيث تم تصوير العينات المرجعية السادة الشكل (9) والمبرد (10) ثم أخذنا صور للعينات المعالجة بثنائي أوكسيد التيتانيوم بنسبة (5%) الشكل (11) والشكل (12) و للعينات المعالجة بثنائي أوكسيد التيتانيوم بنسبة (10%) الشكل (13) والشكل (14) .



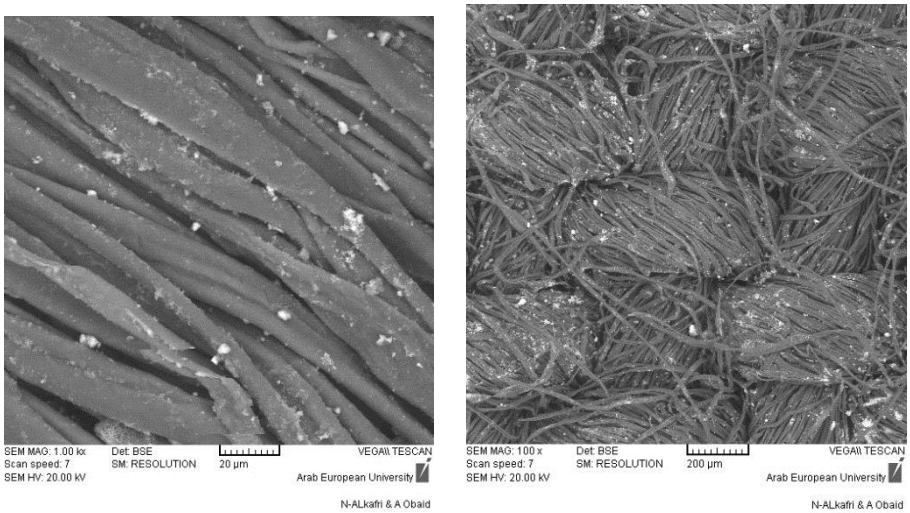
الشكل (9) صور SEM لعينة مرجعية سادة



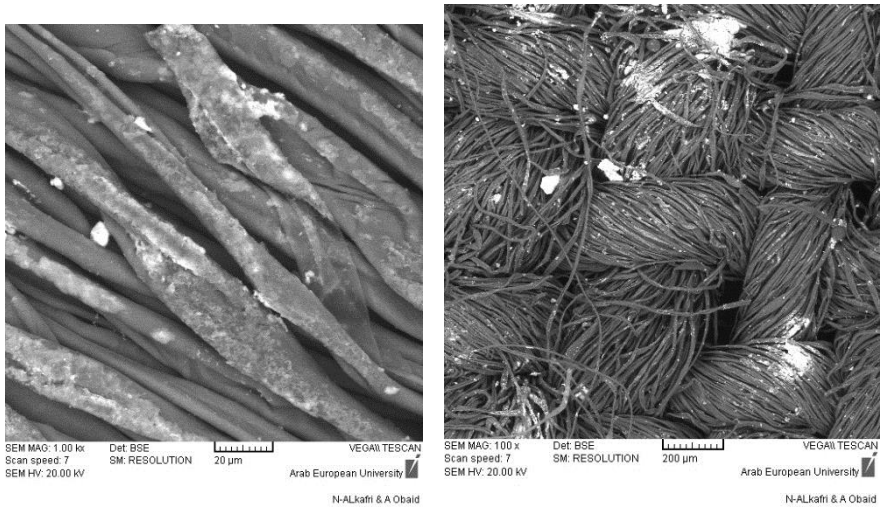
الشكل (10) صور SEM لعينة مرجعية مبرد



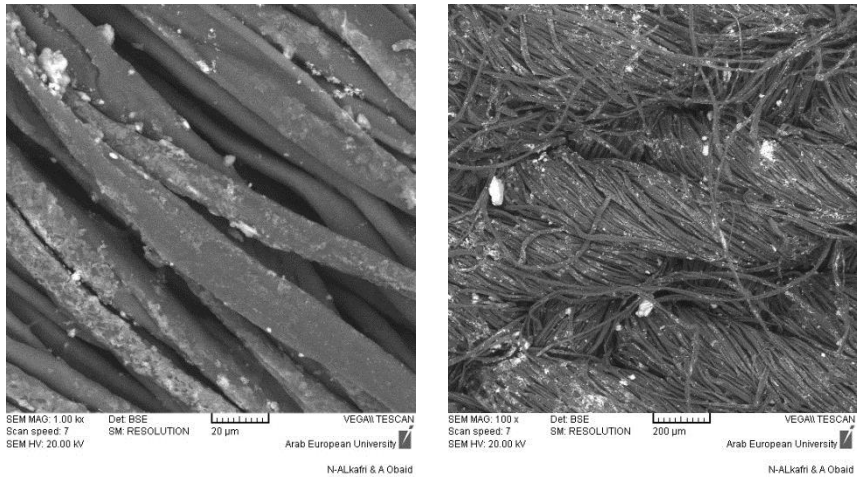
الشكل (11) صور SEM لعينة سادة معالجة ب 5% من TiO_2



الشكل (12) صور SEM لعينة مبرد معالجة ب 5% من TiO_2



الشكل (13) صور SEM عينة سادة معالجة ب 10% من TiO_2



الشكل (14) صور SEM عينة مبرد معالجة ب 10% من TiO_2

يظهر من خلال صور المجهر الإلكتروني السابقة عدم وجود توزع متساوٍ لثنائي أوكسيد التيتانيوم على الألياف القطنية كما يظهر أحياناً تكتل للمادة .

5- مناقشة النتائج:

1- عند مقارنة إزالة البقع باستخدام الصور وجدنا أن الإزالة الأفضل كانت لبقع الحبر والقهوة عند نسب 5، 10% من TiO_2 فالنسبة الأعلى من ذلك أعطت تكتل لثنائي أوكسيد التيتانيوم على النسيج وبالتالي تقل فاعليته كمحفز ضوئي. فكما يظهر من صور المجهر الإلكتروني تتوزع حبيبات ثنائي أوكسيد التيتانيوم على النسيج وتغلف الألياف ولكن يظهر أحياناً تكتل للمادة على النسيج.

2- تظهر نتائج جهاز السبيكتروفوتومتر أن تناقص عمق اللون لبقع الحبر كانت للعينات المعالجة بنسبة 5% أكبر من العينات المعالجة بنسبة 10% وكانت لبقع الحبر أكبر من بقع القهوة .

3- إن أقطار حبيبات ثنائي أوكسيد التيتانيوم المستخدمة في بحثنا يتراوح بين 75 nm و 150 nm كما بينت صور المجهر الإلكتروني . ومن المعلوم أنه كلما كان الحجم أصغر كلما أعطت فاعلية أكبر لأن المساحة السطحية الفعالة للحجم النانوي أكبر .

4- استخدم تركيبين نسيجيين للقماش المعالج (سادة ومبرد) باعتبار أنهما الأكثر شيوعاً في صناعة ملابس الأطفال وبدلات الجيش وملابس العمل حيث تعتبر هذه الألبسة هي الأكثر عرضة للاتساخ.

5- تختلف فاعلية إزالة البقع حسب نوع التركيب النسيجي للقماش المستخدم فقد لوحظ أن استخدام تركيب المبرد أعطى فاعلية أعلى بسبب اختلاف تحميل المادة على القماش وبالتالي يختلف فاعلية التحفيز الضوئي لمادة ثنائي أوكسيد التيتانيوم على القماش المعالج ولكن لوحظ أن هذا الاختلاف طفيف.

6- تتوقف إزالة البقع للعينات المعالجة على فاعلية التحفيز الضوئي لطبقة ثنائي أوكسيد التيتانيوم التي تتأثر بثلاث عوامل أساسية هي:

- المساحة السطحية الفعالة والتي تزداد كلما صغر حجم حبيبات ثنائي أوكسيد التيتانيوم
- شدة الأشعة فوق البنفسجية التي تعمل على إثارة الإلكترونات وتشكيل أزواج (ثقوب ، إلكترونات) تعمل على تفكيك الملوثات.

- زمن التعرض للأشعة فوق البنفسجية وبالتالي استمرار عملية التحفيز الضوئي.

6- المقترحات:

1- استخدام أنواع أخرى من الأقمشة كالصوفية والحريرية والممزوجة والأقمشة الصناعية

2- استخدام مذيبات أخرى لثنائي أوكسيد التيتانيوم

3- استخدام المايكرويف في المعالجة

4- استخدام ثنائي أوكسيد التيتانيوم بحبيبات أصغر

المراجع العلمية:

1- WALID A. DAOUD. Self-Cleaning Materials and Surfaces, This edition first published 2013 ,2013 John Wiley & Sons, Ltd

2-Peter Forbes . Self-cleaning materials , 2008 Scientific American , INC.

3- Prathapan Ragesh,a V. Anand Ganesh,b Shantikumar V. Naira and A. Sreekumaran Nair*a , A review on self-cleaning and multifunctional Materials . Article in Journal of materials chemistry A · AUGUST 2014

4- Penwisa Pisitsak , Arnon Samootsoot and Nassarin Chokpanich . Investigation of the Self –cleaning properties of cotton fabrics finished with nano- TiO2 and nano –TiO2 mixed with fumed silica . KKU Res.J.2013; 18(2):200-211 .http://resjournal.kku.ac.th

5-Y.W.H.Wong , C.W.M. Yuen , M.Y.S.Leung , S.K.A.Ku, and H.L.I.Lam . Selected applications of nanotechnology in textiles .Autex Research Journal , Vol.6, No 1 , March 2006 AUTEX.

6- D K Maharani , M M S Basukiwardoyo , S T Alawiyah ,Rusmini. The Study of Self-Cleaning Properties of TiO2 Coated on Cotton Fabrics, Advances in Computer Science Research, volume 95, Copyright © 2019, the Authors. Published by Atlantis Press SARL.