ألياف النانو تكنولوجي الكيفلار

واستخداماتها فـي الأزياء المضادة للرصاص

Fiber Nano technology Kevlar and its uses in bulletproof fashion

middle-east2017@hotmail.com
مركز بحوث الشرق الأوسط
M.E.R.C
ISSN 2536-9504

كرار حيدر عبد الأمير

تصميم الأقمشة – قسم التصميم

كلية الفنون الجميلة – جامعة بغداد

الملخص:

يعج تاريخ العلم بالاكتشافات التي لم يكن أحد يبحث عنها في الأصل، إلا إن كثيرًا ما تتضافر الصدفة مع العقل لالتقاط همسات الطبيعة لتحصل البشرية على ما هو جديد.

ويمثل اكتشاف كل من البنسلين والأشعة السينية X-rays اثنين من أبرز الأمثلة على مثل هذه الأحداث المفيدة.

وقد ساهمت التكنولوجيا الحيوية في تطوير صناعة الأقمشة من خلال استبدال بعض المركبات الكيميائية بالإنزيمات للحصول علي خواص كيميائية مضافة، وذلك من خلال إدخال هذه التقنية لبعض الملابس الخاصة كملابس قوى الأمن الداخلي والتي تمتاز كونها ضد الرصاص وملابس رجال الإطفاء المقاومة للحرائق، وذلك للحد من احتمال اشتعالها.

وتشهد الملابس وأنسجة الأقمشة الذكية حاليّا نموًا متسارعًا وتحتل أهمية خاصة في جميع أنحاء العالم وبخاصة مع التطورات السريعة والمتزايدة في تقنيات النانو متناهية الصغر، وكذلك مع الحاجة إليها استجابة للمتغيرات الحادثة في حياة الإنسان.

Abstract:

The history of science is filled with the discoveries that no one has ever known about before. Chance often works in line with the human mind, which is supplied with the ability to catch the faint sounds of nature so that mankind can get a new discovered or invented gift.

As Penicillin and X-rays are among the most outstanding examples of useful accidents, science has played the greatest role in this domain.

Bio-tech has contributed in developing the industry of cloth through substituting some of the chemical composites with enzymes to have additive chemical features.

This technology is used in producing some kinds of clothes with special specifications, like those of the internal security forces as bullet-proof ones, fire-proof firemen's and oil stations' to reduce the possibilities of fires.

Nowadays, clothes and smart cloth fibers witness a rapid growing, and they occupy a special importance worldwide due to the fast and increasing developments in the Nano techniques and the growing need for such clothes to respond to the various changes in the lives of peoples.

المقدمة:

أظهرت التكنولوجيا الحديثة الكثير من المواد المفردة والمركبة، في العديد من المجالات وتتألف هذه المواد من ألياف ذات مقاومة كبيرة وصلابه مرتفعة مثل ألياف الزجاج وألياف الكربون أو الراتينج.

تؤلف المادة الرابطة تأمين بين الألياف بنقل إجهادات القص وغيرها من أي صدمات خارجية حيث ترتكز بعنصرها الأساس على المرونة.

والألياف الطبيعية التي نحصل عليها من ساق النباتات معروفة قديما في صناعة الملابس وليس لها مقاومة كمقاومة ألياف الكربون أو ألياف "Kevlar" ، لكن بعضها لها من صلابة ألياف الزجاج وبعضها لها مقاومة نوعية (مقسومة على الكثافة) أكبر من المقاومة النوعية لألياف الزجاج.

ولم يكن عالم تصميم الأقمشة والأزياء بعيد عن التقنية **الحديثة**. فبالإضافة إلى دور التقنية التقليدي في تصنيع الخيوط والخامات، ودورها في تقديم وتصنيع أقمشة وأنسجة عالية المتانة والنعومة لعبت التكنولوجيا دورًا مهمًا في عالم تصميم الأزياء من خلال تقنيات النانو.

فالملابس المضادة للرصاص المتمثلة بالألبسة العسكرية والدروع وغيرها اعتبرت الطفرة الأولى لمصمم الأقمشة لدخوله عالم النانو تكنولوجي من خلال إضافة ألياف Kevlar.

الفصل الأول

مشكلة البحث:

لعل ما تهدف إليه مناهج العلم الحديثة هي ترسيم سبل التطور المستقبلي، من خلال دور التكنلوجيا في تعزيز قيم ومفاهيم العالم بشكل عام نظراً للحاجة، وبما أن العلم يستند إلى رؤى واقعية مستمدة من تجربة تطور المجتمعات دفع الباحث إلى صياغة المشكلة فيما يلي:

١. ما هي ألياف "Kevlar"؟
٢. ما استخدام ألياف"Kevlar" **في زي قوات الأمن؟**

- **أهمية البحث:** تتجلى اهمية البحث في دراسة آليات تماسك الألياف واستخداماته للستر الواقية من الرصاص والبدلة المضادة للحرائق.
- **الأهداف:** التعرف على مبادئ وخواص ألياف "Kevlar " واستخداماته بالأقمشة المضادة للرصاص.
- **الحدود:** دراسة ألياف "Kevlar " في تصاميم الأقمشة والملابس، المنتجة في (الصين) عام ٢٠١٨/٢٠١٧.
- **المصطلحات:**

الألياف: هي الوحدة الأساسية لجميع النسيجية المكملة للخامة

النانو تكنولوجي: العلم الذي يهتم بدراسة معالجات المادة على المقياس الذري والجزيئي.

- **الكيفلار "Kevlar"**: هي ألياف البوليمر ذات البلمرة التكثيفية لمركبيها والتي تكون بهيئة سلسلة بوليميرية خطية غير متقطعة نتيجة الترابط الموجه العالي للضفائر المحاكة.[١]

الفصل الثاني

ألياف النانو تكنولوجي في تصاميم الأقمشة والملابس

أولًا- النانو تكنولوجي:

اشتقت كلمة "النانو" من الكلمة الإغريقية " نانوس " وتعني القزم ويقصد بها، كل شيء صغير وهنا تعني تقنية المواد المتناهية في الصغر أو التكنولوجيا المجهرية الدقيقة أو تكنولوجيا المنمنمات.

ويعنى وعلم النانو هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسه الـ ١٠٠ نانو متر.

ويعتبر النانو أدق وحدة قياس مترية معروفة حتى الآن، ويبلغ طوله واحد من بليون من المتر أي ما يعادل عشرة أضعاف وحدة القياس الذري المعروفة بالأنغستروم، ويعرَّف النانومتر بأنه جزء من البليون من المتر، وجزء من الألف من الميكرومتر. ولتقريب هذا التعريف إلى الواقع فإن قطر شعرة الرأس يساوي تقريبا ٧٥٠٠٠ نانومتر، ويعتبر عالم النانو الحد الفاصل بين عالم الذرات والجزيئات وبين عالم الماكرو.[٢]

استخدام تقنية النانو قديم جدًا ويعود إلى الحضارة الإغريقية، كما أن السيف الدمشقي المعروف بصلابته ومرونته يعد أحد أقدم التطبيقات لتقنية النانو، حيث نشر فريق برئاسة بيتر باوفلير الباحث في علوم المواد في جامعة درسدن التقنية في ألمانيا بحثًا يشير إلى

نماذج السيوف المكتشفه

أن الأنابيب الكربونية النانوية كانت موجودة في تصاميم السيوف الدمشقية. وقد صنعت السيوف الدمشقية من فولاذ أطلق عليه اسم (الووتز) wootz وهو فولاذ يصنع في الهند بطريقة خاصة، وقد درس الباحث الألماني صورًا للسيوف الدمشقية التقطها بالمجهر الإلكتروني وعثر فريقه على تراكيب لأنابيب بأحجام نانوية داخل هذا الفولاذ ,تشبه الأنابيب الكربونية النانوية التي يوظفها المصممون في التقيات الحديثة لصنع منتجات متينة تتصف بخفة وزنها .[٣]

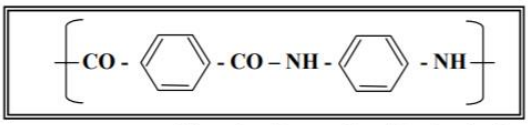
وقد قام الفيزيائي الأمريكي" ريتشارد فاينمان "بلقاء أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية ووصف مجالًا جديدًا يتعامل مع الذرات والجزيئات المنفردة بخصائص مميزة وهذا كان بداية الإعلان عن مجال جديد عرف لاحقًا **بتقنية النانو**.[٤]

ألياف (Kevlar) وآليات الاكتشاف:

تشكل ألياف بوليمر والتي تحضر بالبلمرة التكثيفية لمركبي:

(Phenylenediamine – Terephthaloy l)

هذه الألياف توضح التركيب الكيميائي لألياف "Kevlar ". في هذا البحث تم استخدام ألياف "Kevlar" بشكل ظفائر محاكة ثنائية الاتجاه سطحية ذات كثافة كما في الشكل رقم(١)



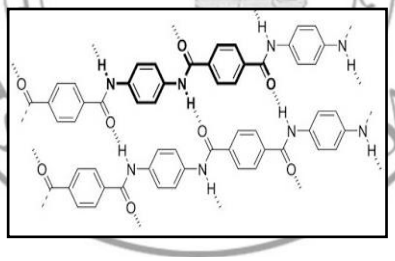
الشكل رقم (١) : التركيب الكيميائي لألياف كيفلار

آليات اكتشاف ألياف "Kevlar":

تتكون الألياف الصناعية من مركبات البارا أراميد ذات المتانه عاليه وخفيف الوزن وتشبة ألياف الأراميد الأخرى مثل نومكس وتكنورا. تستخدم عن طريق غزله إلى حبال أو نسجه إلى أقمشة، وتعتبر "Kevlar " هو بوليمير، مادة مكونة من

سلسلة طويلة من جزيئة ذات سلسلة طويلة، بحيث تكونت السلسلة من المئات من الجزيئات، تدعى المونوميرات. [٥] ويعود فضل ذلك إلى ستيفاني كواليك [٦]، من ديو بونت. حيث قامت في إعادة تمحيص كيمياء النايلون، في عام ١٩٦٥ أظهرت ستيفاني بدراسة البولي أميدات الناجمة عن أحماض أروماتية (حلقات كاربون مغلقة)، وأمينات أروماتية، والذي كان يستخدم في النايلون العادي. إن نسبة المونوميرات المستخدمة لتشكيل "Kevlar " هي ١,٤ فينيلين ثنائي الأمين وكلوريد التيرفتاويل. إنّ تسمية كيفلار هي الاسم التجاري للبوليمير، تسميته الكيميائية هي بولي بارافينيلين، إن المقاومة الحرارية "Kevlar " عالية مقارنة بالبوليمرات الأخرى، كما أنه يحافظ على قوة الشد ورجوعيته في درجات حرارة منخفضة تصل إلى -١٩٦°م. ومن الملاحظ أن قوة الشد له تزداد بشكل طفيف في درجات الحرارة المنخفضة.

عند ارتفاع درجة الحرارة عن حد معين، تبدأ مقاومة الشد في الانخفاض بما يصل إلى ١٠-٢٠%، وتزداد هذه النسبة عند التعريض للحرارة العالية لعدة ساعات.



الشكل رقم (٢) الرابطة الهيدروجينية في كيفلار

خواص المواد المركبة"Kevlar"

تعتمد استخدامات المواد المركبة للكفيلار إلى حد بعيد على خواصها الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للاستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل الرطوبة وأشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأُخرى.

إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيرًا على التركيب الجزيئي للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية[٧] كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات. ومن الخواص المناقشة في هذا البحث ما يأتي:[٨]

١- مقاومة الصدمة (Impact Strength)

وهي قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير أي حمل مفاجئ، كما تعتبر مقياسًا لمتانة المادة. ويمكن تحسين مقاومة الصدمة للراتنجات بترتيب وتراصف السلاسل البوليمرية هي أكثر الطرق فاعلية في تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف. [٩]

٢- مقاومة الشد.(Tensile Strength))

هي المقياس لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها. تبدأ المادة المركبة بالاستطالة بشكل خطي في البداية إستجابة للجهد المسلط ومع استمرار التحميل يحصل انحراف نتيجة لوصول المادة الأساس إلى نقطة الخضوع[١٠]

٣- الصلادة:

تعد الصلادة على إنها مقاومة المادة للخدش أو الاختراق، وهنالك عِدة مقاييس عالمية مختلفة لتعيين صلادة المواد يحدث الاختراق بمعدل بطيء في سطح النموذج أثناء تسليط القوة لأجل الاختبار مما يؤدي إلى حدوث زحف موضعي، وبعد زوال القوة المؤثرة تحصل استعادة بطيئة نسبيًا مما يؤدي إلى تغيير أبعاد الأثر المعتمد [١١].

خصائص ألياف "Kevlar"

تعتبر درجة المقاومة الحرارية لألياف "Kevlar " عالية مقارنة بالبوليمرات الأخرى، كما أنه يحافظ على قوة الشد ورجوعيته في درجات حرارة منخفضة تصل إلى -١٩٦°م.

ومن الملاحظ أن قوة الشد له تزداد بشكل طفيف في درجات الحرارة المنخفضة. عند ارتفاع درجة الحرارة عن حد معين، تبدأ مقاومة الشد في الانخفاض بما يصل إلى ١٠-٢٠%، وتزداد هذه النسبة عند التعريض للحرارة العالية لعدة ساعات[١٢].

ويعد وزنه أقل من الفولاذ ٧.٨ يعني ذلك بأنه خفيف الوزن بالمقارنة. هو أيضًا أقوى بـ ٥ مرات من الفولاذ على أساس مساواة الوزن. تأتي قوته من القوى ما بين الجزيئية ما بين السلاسل المتراصفة على بعضها لألياف بوليمير "Kevlar". تسمى هذه القوى ما بين الجزيئية بالروابط الهيدروجينيةhydrogen bonding .

التكنولوجيا ودور تصميم الأقمشة النانوية

بدأت في السنوات الأخيرة مهمة المصمم وواجباته في التشعب باتجاهين إحداهما مرتبط بالخيال، والآخر متعلق بالوظيفية التي ينبغي الحفاظ عليها أثناء عملية التصميم[١٣].

التي تحتاج إلى مصمم متجدد ومتفهم الأبعاد الصناعية وإمكانياتها التكنولوجية، فهو من يجمع بين العلوم والفنون، وتكمن هذه الأفكار بمجرد دخولها دائرة الحس والإدراك. فمصمم الأزياء مبتكر إذا كانت أفكاره تدرك بالبصر وترمز لتطور فكري.[١٤]

فاكتشاف المصمم لكل جديد ناتج عن التقدم التكنولوجي، قد يبدأ بمحاولة توظيف خامات مستحدثة قد أنتجتها التكنولوجيا، ليس خصيصا لمجال محدد بل قد تكون منتجة أساسا لتوظيفها في مجالات أخرى، ولكنه بعين المصمم وتصوراته المستقبلية لأبعاد ما يريد أن ينتجه من فن، إنما قد يخلق له ذلك من المؤثرات ما يجعله قادرًا على توظيف تلك الخامات في مجال الأزياء. ومصمم الأزياء[١٥]

التقنية في الفكرة التصميمية:

من المعروف أن الفكرة هي النواة الأولى للعمليات التصميمية الإظهارية وما تلك العمليات إلا نتاج فاعليات ذهنية وأدائية ومهارات يدوية وتقنية[١٦] تدخل المكننة والآلات

فيها ويجري ذلك بعدة كيفيات قد تظهر متعددة ومتنوعة تتناقض وتتفق حسب تفعيلها العقلي، أي وفق فلسفة المصمم من افتراضات واشتراطات متعددة تحكمها هيكلية موضوعية واحدة تعمل على مزجها معًا لتقديم ناتج موحد تظهر فيه القدرة التحويلية للصورة الذهنية إلى إنتاجية وسيطة تؤدي غاية محددة تتوافق مع الفكرة الأساسية) [١٧]، بمعنى تحقيق الهدف والغاية منه تحقيق ظهور نوعي متميز للأقمشة النانوية من شأنه أن يعزز من قيمة القماش الوظيفية والجمالية، وعلى هذا الأساس "فالتقنية قبل كل شيء اختيار لفكرة يؤديها المصمم، فهو تقني لتنظيم العلاقات التصميمية" [١٨] وما سيكون عليها من نواتج تقع ضمن خيارات شكلية محددة أساسًا، أما المتغيرات فستكون وفق عمليات التنوع للصفات والخامات لإظهار المنجز التصميمي، فالتقنيات حديثًا تشمل الجانبين النظري والتطبيقي، حيث إنها تقدم إطارات معرفية لدعم التطبيق وتوفر قاعدة معرفية حول كيفية التعرف على المشكلات وحلها[١٩].

ثانيًا – التطور التقني للأقمشة النانوية

يعد تصميم الأقمشة النانوية المحددة وظيفيًّا أحد الأمثلة المهمة لهذا التطور التكنولوجي الهائل الذي أخذ يقفز قفزات كبيرة خاصة في الخمسين عامًا الأخيرة، وبعد تتويجها بجهاز الحاسوب، والذي بدورهِ فتح مجالا واسعا أمام اشد تفاصيل التكنولوجيا النانوية صعوبة وأكثرها تعقيدا. إذ طالت التقنية والتكنولوجيا جميع العلوم الإنسانية والثقافية عامة واختارت لنفسها مسارًا استراتيجيًّا متميزًا، فالتكنولوجيا تعمل على إيصال وتحقيق الهدف في تصميم أزياء مضادة للرصاص عن طريق ألياف "Kevlar" والتقنية التي تعد اليوم أحد أعمدة الفن التي تمكننا من إخراج أعمال تصميمية جديدة ومبتكرة، للأزياء إرضاءً للمستهلك [٢٠]. إن هذا الحجم الهائل من التغيرات التي تمر بها المجتمعات يرجع بصورة أساسية إلى التطور الكبير والسريع في تقنية المعلومات، ويقصد بتقنية المعلومات ذلك المزيج من تقنيات الإلكترونيات الدقيقة وتقنيات الحاسب وتقنيات الاتصال وتقنيات حفظ المعلومات [٢١].

فضلًا عن كل ما تقدم؛ فإن تصميم الأزياء تستمد أهميتها من إمكانية الترابط بين الألياف النانوية "Kevlar" والتي تمكن المصمم الاستفادة من خواصها في حماية الفرد، وقد استندت تقنية الأقمشة النانويه الحديثة الخاصة بإخراج تصاميم الأقمشة على ثلاثة مبادئ أساسية وهي **السهولة، الدقة، السرعة** (٢٢)

ألياف الأقمشة المقاومة:-

مع التطور التجاري للبولي أوليفين المنتظم، دخل تاريخ النسيج في فصل جديد، من الحلقات المتتالية ذات درجة محدودة من ناحية الحرية في الحركة وذلك على خلفية البنية الأصلية والمتراكمة. مثل ألياف النايلون الأروماتية لا تذوب بسهولة، ولكن من السهل تذويبها في أنظمة مذيبة مغايرة وينجم عن ذلك محلول عالي الكثافة. وبالعمل ضمن أنظمة من هذا النوع، لاحظت كواليك، وهي تحاول تذويب بوليمرات أخرى عديدة، أنها وصلت إلى نقطة، حيث إن إضافة بوليمرات أخرى، ينتج عنها سائل أقل كثافة وليس محلول الفيسكوس عند هذا الحد، نجم عن المحلول بريق نتيجة تشكل طور سائل – كريستالي. وإن غزل الألياف من هذا النظام الكريستالي السائل قاد إلى زيادة ملحوظة في المتانة والصلابة، وهذا المنتوج المصنع بتلك الطريقة تم تسويقه باسم" Kevlar ".

والألياف المغزولة من محلول السائل – الكريستالي كانت تبدي عموما متانة عالية ومعامل صلابة عالية مع مطاطية مرتفعة(23).

العوازل بواسطة الألياف:

تعد ألياف "Kevlar" قوية ومقاومة للحرارة ومانعة للتسرب. وتطبيقات الألياف، دوبونت "Kevlar" تساعد على توفير أفضل سيطرة على اللزوجة، حيث يعمل "Kevlar" على رفع درجة اللزوجة من خلال التشابك من قبل الألياف فيما بينها والألياف الصغيرة تساعد هذه الآلية متغيرة الإنسيابية في توفير سيطرة اللزوجة العالية

التي لا تتأثر معالجتها. وهناك حاجة أقل إلى حد كبير في تحقيق خصائص متغيرة الإنسيابية مساوية لتلك التي يمكن الحصول عليها مع غيرها من المواد، مثل السيليكا، وبالتالي تقليل التكاليف .بالإضافة إلى ذلك قابلية "Kevlar" لتحمل اقصى درجات الحرارة والبروده، من التجميد إلى ٣٥٠ درجة مئوية (٦٦٢ درجة فهرنهايت)، إلا إن المركبات الكيميائية لا تتأثر في هذه الظروف. واشتهر استخدامه في الدروع المقاومة للطعن الدروع الواقية.(٢٤)

التطبيقات المعروفة "Kevlar"

إن من المعروف والأعم الأغلب من تطبيقات "Kevlar" هي ألياف واقية (ضد الرصاص)، وواقيات الجسم، لكن أيضًا لها استعمالات لا تحصى. حيث يستخدم في لوحات القيادة وأجنحة الطائرات المقاتلة، هياكل سيارات الفورمولا ١، في إطارات السيارات الخاصة، وأيضًا حاويات الوقود للسيارات العسكرية، تستخدم أيضًا في الملابس الواقية من النيران لرجال الإطفاء، في أجهزة الهاتف النقال غير القابله للكسر.(25)

M.E.R.C ISSN 2536-9504

النتائج:

١. حققت المعالجات التقنية أبعادًا وظيفية للمتكون التصميمي في الأقمشة النانوية من خلال الأساليب المستخدمة في بناء الزي.

٢. شكلت الألياف النانوية المستقبل في تصميم الأقمشة وبالمجالات كالفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء والهندسة وغيرها والتي ظهر تكاملها مع فن تصميم الأقمشة.

٣. أظهرت تقنية النانو الفاعلية للتقنيات الأكثر أهمية في كل مجالات العلم، لما لها أهمية في تحسين المنتجات وخدمة البشرية.

٤. استخلصت الأساليب الأكثر استفادة من الخواص المتميزة لألياف "Kevlar" النانوية في مجال تصميم زي رجال الأمن في إحداث ابتكارات واختراعات تخدم الفرد في مجالات السلم وحفظ الحياة.

الاستنتاجات:

في ضوء نتائج البحث استنتج الباحث ما يأتي:

١- أظهرت الألياف المبحوثة تصاميم متنوعة في الشكل واللون والحجم ومكنت المصمم من إخراج أعمال جديدة ومبتكرة على وفق افتراضات التقنية الرقمية.

٢- شكلت الآليات النانوية مجموعة من الأوامر متنوعة في الأزياء والتي حققت أبعادًا جمالية للقماش ووضيفته.

٣- إن لفاعلية قيم التماسك تأثيرًا في البناء التصميمي بفعل التباينات بين الذرات والجزيئات والأسلوب التقني.

التوصيات:

يوصي الباحث بما يأتي:

١- التأكيد على دور البرامج الرقمية في مجال تصميم الأقمشة والأزياء، ومواكبة أحدث التطورات وتوظيفها في التصميم بشكل عام وتصميم الأقمشة بشكل خاص.

٢- إنشاء ورشات عمل ودورات للمختصين في مجال تصميم الأقمشة والأزياء بهدف البحث والتقصي لزيادة الخبرة التقنية في التعامل مع الألياف للنهوض بالواقع التصميمي.

٣- التأكيد على دور المصمم من خلال الإفادة من الكوادر المتخصصة الأكاديمية لإعداد تصاميم تنهض بواقع الأقمشة وتلبي متطلبات العصر، ولتحقق الأبعاد الوظيفية.

middle-east2017@hotmail.com
M.E.R.C
ISSN 2536-9504

الهوامش والمراجع

(١) عبد الفتاح محمود طاهر (٢٠٠٠)، أساسيات علم وتقنية البلمرات، دار المريخ للنشر، الرياض، المملكة العربية السعودية،ص٢٣.

(٢) عطية البردي(٢٠١٦)، دروس من الطبيعة في النانو تكنولوجي، مجلة الفيزياء العصرية العدد السادس، ص٢٤.

(٣) نهى علوي(٢٠١١)، ما هي تقنية النانو(مقدمة مختصرة) وزارة الثقافة والإعلام في المملكة العربية السعودية. ص٤٦

(4)Bruno, zevi, Architecture as a space, New York Dacapares, 1993 p306

(٥) أمل علي رجب (١٩٩٥)، دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة ومواد مركبة هجينة، رسالة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات، الجامعة التكنلوجية، ص٢٦

(٦) ستيفاني كووليك (١٩٢٣ – ٢٠١٤ م) هي كيميائية من الولايات المتحدة الأمريكية . ولدت في نيو كنسينغتون . وكانت عضوة في الأكاديمية الوطنية للهندسة . توفيت في ويلمنغتون (ديلاوير)، عن عمر يناهز ٩١ عامًا.

(٧) عادل محمد سويلم (١٩٩٤)، اللدائن ماهيتها – أنواعها – طرق تصنيعها – تشغيلها، دار الكتب العلمية للنشر، ص٤٢

(٨) علي هوبي(٢٠١٣)، تحسين خواص المواد اللدائنية، رسالة ماجستير، جامعة بابل، ص١٩

(٩) عدي فاضل (٢٠١٦): جمالية التجنيس الرقمي، دار الكتب العلمية، ص١٣٤

(10) N.G.McCrum, (1997)C.P.Buckley and C.B.Bucknal "Principal of Polymer Engineering" , Second Edition , Oxford University .p72

(11) George Lubin (1975)" Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics composite ", First Edition .p31

(١٢) محمد شريف الإسكندراني(٢٠١١)، تكنولوجيا النانو من أجل غد أفضل، ص ٢١

(١٣) طارق إسماعيل محمد(٢٠٠٠)، التطور في تصميم المنتجات في ضوء تفاعل العلم والتكنولوجيا –بحوث في الفنون – المجلد الثاني عشر – العدد الثالث ص٢٧

(١٤) إيهاب فاضل (٢٠٠٥)، تصميم ألازياء - دار الحسين للطباعة–ص٢٥

(١٥) أنصاف نصر وكوثر الزغبي(١٩٩٣)، دراسات النسيج، ط٤، دار الفكر العربي، القاهرة،.ص٣٤٠ .

(16) Jeremy Aynsley (2004) Pioneers of Modern Graphic Design, Britain, Publishing Group .LTd, P195.

(١٧) نصيف جاسم محمد (١٩٩٩)، الابتكار في التقنيات التصميمية، أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد، كلية الفنون الجميلة، ص٨٧.

(١٨) جارلس، موريس (١٩٨٤)، العلم والفن والتقنية، تر: سمير عبد الرحيم الجبلي، الثقافة الأجنبية، العدد٣، السنة ٤، بغداد، ص٨٩.

(١٩) العامري، فاتن علي (٢٠٠٥)، التكامل بين تصاميم الأقمشة والأزياء والعلاقات الناتجة من المنجز الكلي، أطروحة دكتوراة، جامعة بغداد، كلية الفنون الجميلة، ص٨٧.

(٢٠) جبران مسعود (١٩٦٧)، طرائق فن التصميم، دار العلم للملايين، بيروت،ص٩

(٢١) اياد الحسيني (٢٠٠٨)،فن التصميم (الفلسفة– النظرية–التطبيق)، ج٣، إصدارات دائرة الثقافة والاعلام، حكومة الشارقة، دبي،.ص٢٤٧

(٢٢)العاني، صنادر عباس ومنى العوادي (١٩٩٠): المدخل في تصميم الأقمشة وطباعتها، مطابع دار الحكمة، الموصل،ص٣٥

(23) R. L. jones. (2004) Soft Machines: Nanotechnology and Life. Oxford, UK: Oxford University Press b23.

(24) Mittelman and I. Roman "Tensile Properties of Real Unidirectional Kevlar/Epoxy Composite " , Composites , Vol.21 , No.1 , 1990 , pp.63-69

(25) M. Sherif El-Eskandarany, Journal of Nanoparticles, Vol.2 (2009) pp14-22.