دراسة حساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة في القماش عن طريق علاقة التدرج الرمادي (Grayscale) ومقارنتها مع طريقة مرجعية

د. زياد سفور – أستاذ مساعد في قسم هندسة الغزل والنسيج

الملخص:

يُعد المردود اللوني عند طباعة الأقمشة من العوامل الأساسية لإظهار جودة الطباعة والناحية الجمالية فيها. يتعلق المردود اللوني للطباعة بعوامل عديدة ومن أهمها نسبة تغلغل معجونة الطباعة ضمن القماش المطبوع. تتعلق نسبة تغلغل معجونة الطباعة بلزوجة المعجونة وطبيعة مكوناتها، وخصوصاً نوع المادة المثخنة ونسبتها في المعجونة. طُبقت طرائق عديدة لحساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة ضمن القماش، يرتكز أغلبها على القياسات الضوئية كقياس معامل الانعكاسية. تم في هذا البحث تطبيق طريقة ترتكز على القياسات اللونية، وذلك عن طريق إيجاد الاحداثيات اللونية (RGB)، ومن ثم حساب التدرج الرمادي (Grayscale). تم اقتراح علاقة رياضية لحساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة ضمن القماش المطبوع انطلاقاً من قيم التدرج الرمادي (Grayscale)، وتمت مقارنة النتائج مع طريقة أخرى مرجعية تعتمد قياس معامل الانعكاسية.

الكلمات المفتاحية:

معجونة الطباعة – المواد المثخنة – نسبة تغلغل المعجونة – القياس اللوني – معامل الانعكاسية – الاحداثيات اللونية ((RGB)) – التدرج الرمادي (Grayscale)

Studying the Calculation of Penetration Rate of Print Paste into Fabric Using the Grayscale Relationship and Compare it with a Reference Method

Dr. Ziad SAFFOUR - Assistant Professor in the Department of Spinning and Textile Engineering

Abstract:

Color yield in textile printing is a fundamental factor in showing print quality and aesthetic side. Color yield depends on several factors, most importantly the penetration rate of the printing paste into the printed fabric. This penetration rate is related to the paste's viscosity and composition, particularly the type and proportion of the thickening agent. Numerous methods have been applied to calculate the penetration rate of the printing paste into the fabric, most of which rely on optical measurements such as reflectance index. This research employs a method based on color measurements, specifically determining the (RGB) color coordinates and then calculating the Grayscale. A mathematical relationship is proposed to calculate the penetration rate of the printing paste into the printed fabric based on the Grayscale values, and the results are compared with a reference method that uses reflectance index measurement.

Keywords:

Print paste – Thickeners – Paste penetration rate – color measurement– Reflectance index – (RGB) color coordinates – Grayscale

1- المقدمة:

استخدمت طرائق عديدة لتزيين الأقمشة بزخارف ورسوم ونقوش ملونة، ولعل أبرزها إدخال خيوط ملونة في بنية القماش خلال عمليات النسج والحياكة والتطريز. إلا أن الطباعة بقيت من أبرز العمليات المستخدمة لتزيين الأقمشة نظراً لإمكانية تطبيقها في مراحل متأخرة من مراحل الإنتاج. تُعدّ الطباعة عملية شهيرة تُستخدم كمرحلة من مراحل صناعة النسيج لتعزيز المظهر الجمالي للقماش وإرضاء ذوق المشتري. تتكون معاجين الطباعة على مكونات عديدة، وتُعدّ المواد المثخنة المسؤولة عن إعطاء اللزوجة للمعاجين من أجل التحكم بتغلغل المعجونة ضمن القماش والحصول على حواف دقيقة للرسوم المطبوعة.

تؤثر لزوجة المادة المثخنة تأثيراً مهماً في تغلغل معجونة الطباعة بين الخيوط وفي بنية القماش، ويمكن أن يكون لذلك تأثيرٌ مسيطرٌ على المردود اللوني. يتم الحصول على مردود لوني مرتفع فقط عندما يكون تغلغل معجونة الطباعة بين الخيوط وداخلها أقل ما يمكن. يتعلق تغلغل المعجونة بلزوجة المادة المثخنة ، إلا أن بعض المواد المثخنة تعيق تغلغل المعجونة أكثر مما هو متوقع على أساس اللزوجة . تكون هذه حال النشاء، ويُعزى ذلك إلى البنية الناتجة في الماء والشبيهة بالهلام (Gel)، إذ يمكن للنشاء أن يحسن من المردود اللوني للطباعة فيشكل تكتلات نفوذها صعب ضمن القماش فتبقى على السطح، ولكن سيكون المردود اللوني جيد ظاهرياً، لأن ثباتية الصباغ ضد الاحتكاك ستكون منخفضة [2,1]. ويتأثر المردود اللوني وخواص الثباتية للعينات المطبوعة بطريقة استخلاص الصباغ في حال استخدمت أصبغة طبيعية في معاجين الطباعة [3].

كما تؤثر البنية المسامية والخاصية الشعرية المرتبطة بها في نسبة تغلغل مختلف المواد ضمن القماش والورق عند طباعتها، سواء أكانت معاجين أم أحبار طباعة أم مواد طلاء. تظهر هذه الحالة جليةً عند طباعة الأقمشة سواء أكان بمعاجين الطباعة التقليدية أم بأحبار

الطباعة الرقمية، وتلعب خصائص عديدة للقماش دوراً في هذه العملية، بما في ذلك طاقة سطح القماش، وقطبية الألياف في القماش، وخشونة سطح القماش والألياف [4].

اهتمت دراسات عديدة بحساب نسبة تغلغل معاجين أو أحبار الطباعة على الأقمشة أو الورق، وذلك من أجل تقييم المردود اللوني للطباعة وإعادة إنتاج اللون مرات عديدة. الأمر ذاته مطبق لحساب نسبة تغلغل مواد الطلاء المطبقة على الأقمشة خلال عملية الطلاء أو التغطية (Coating) ضمن المعالجات النهائية للأقمشة، وإن كان الهدف من حساب نسبة التغلغل في هذه العملية مختلف عن عملية الطباعة ويرتبط بالخواص الوظيفية للطلاء المطبق. فقد قام (AlAtrash) (2025) بحساب نسبة تغلغل الحبر الناقل للكهرباء في القماش، والمطبق عن طريق الطلاء بالسكين، وذلك بهدف حساب الناقلية الكهربائية عبر طبقة الحبر الناقل، إذ إن الناقلية الكهربائية تتعلق بسماكة طبقة الحبر المطبق أي بنسبة تغلغل الحبر الناقل [5].

ومع ازدياد شيوع الطباعة الرقمية النافثة للحبر في طباعة المنسوجات لما توفره من مرونة أفضل في الإنتاج، ازداد اهتمام فنيي الطباعة والمصممين بهذه التقنية. تُعدّ خاصية تغلغل الحبر في القماش عنصراً أساسياً في إنتاج ألوان عالية التشبع، لأن الطباعة النافثة للحبر طريقة لا تلامسية، إذ لا يلامس رأس المحبرة سطح القماش. وقد دُرست على نطاق واسع كيفية تأثير ظاهرة تغلغل الحبر عند الطباعة النافثة للحبر في تشتت الضوء في الركيزة المطبوعة، مما يؤثر بدوره في القيم اللونية للألوان المطبوعة. وقد وُجد أن زيادة تغلغل الحبر ضمن الركيزة تُقلل من نطاق الألوان ودقة إعادة إنتاج الدرجات اللونية [6].

اعتمدت أبحاث عديدة تقييم عمق تغلغل الحبر في الورق عن طريق قياس عمق طبقة الحبر بالتصوير المجهري، فقد وجد (Kappel) وزملاؤه (2009) أن طباعة الورق غير المطلي يؤدي إلى اختراق حبر الطباعة داخله نظراً للبنية المسامية والخاصية الشعرية في الورق، مما يؤدي إلى تناقص كثافة الطبعة وانخفاض في قوة اللون والكفاءة البصرية

للطباعة. وقد قاموا بتقديم طريقتين لقياس تغلغل حبر الطباعة في الورق. تعتمد كلتا الطريقتين على قطع عينة من الورق المطبوع، ثم تقييم عمق تغلغل حبر الطباعة في المقطع العرضي للورق باستخدام تحليل الصور الرقمية. تم في الطريقة الأولى غمر عينة الورق في الراتنج، وقد تم اختيار الراتنج المناسب لتجنب التفاعلات الضارة بين حبر الطباعة والراتنج. ثم قطعت الأوراق عرضياً باستخدام المشراح (Microtome) وهو أداة تستخدم لقطع المادة إلى شرائح رقيقة جداً ، ومن ثم صورت هذه الشرائح تحت مجهر ضوئي، وقيس عمق تغلغل حبر الطباعة وتوزعه لاحقاً عن طريق تحليل الصور. اعتمدت الطريقة الثانية تحليل تغلغل الحبر باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) عن طريق تحليل صور المقاطع العرضية للورق [7]. كما قام (Gaži) وزملاؤه (2025) بعمل مقطع عرضي للمواد المطبوعة لتحليل عمق تغلغل الحبر في المادة المطبوعة، وذلك باستخدام جهاز المشراح (Microtome). تم تحضير عينات المقطع العرضي بتقطيعها إلى شرائح بأبعاد محددة ومن ثم غمرها في راتنج الإيبوكسي الحاوي على مصلب. صُقلت العينات ولُمِّعت للحصول على صور مقطعية باستخدام مجهر ضوئي، ثم خضعت الصور الملتقطة لمزيد من التحليل باستخدام برنامج (ImageJ) لقياس عمق تغلغل الحبر [8].

استخدم (Yao) وزملاؤه (2022) طريقة التصوير المجهري لقياس عمق اختراق مسحوق البيغمنت المطبق على شرائح نفوذة باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بالمسحوق الجاف للبيغمنت. كان الهدف من ذلك تقييم المردود اللوني للطباعة والتحكم الدقيق بالناحية الجمالية والأداء. تم إحداث قص في جوانب هذه الشرائح المطبوعة، ومن ثم تم التقاط صور جانبية بالمجهر الضوئي للركائز المطبوعة. تم بعد ذلك إجراء تحليل نوعي للصور المجهرية من أجل تفسير التغيرات اللونية وإيجاد أساليب تحليلية أكثر فعالية للتنبؤ الدقيق بإعادة إنتاج الألوان في الطباعة الملونة ثلاثية الأبعاد [9].

تبدو طريقة التصـــوير المجهري للمقطع الجانبي طريقة مجدية في تقييم تغلغل الحبر في الورق المطبوع، إلا أنها قد تكون أقل كفاءة في مجال تقييم تغلغل الحبر في الأقمشـــة المطبوعة نظراً للبنية المسامية العالية والقابلة للانضغاط في الأقمشة مقارنة بالورق، مما يؤثر سلباً في نتيجة الاختبار.

في حين اعتمدت أبحاث عديدة طرائق أخرى ترتكز على القياسات الضوئية في تقييم عمق تغلغل معجونة الطباعة أو مواد الطلاء ضمن القماش، وذلك نظراً لدقتها وسهولتها عند توفر الأجهزة المناسبة. تقوم هذه الطرائق على تطبيق الحسابات الرقمية بواسطة معادلات رياضية تتضمن بعض المعاملات التي يتم الحصول عليها بالقياسات الضوئية. فقد تم تقييم تغلغل معجونة الطباعة ضمن القماش (أي بمعنى آخر تقييم المردود اللوني للطباعة) عن طريق قياس معامل الانعكاسية في مواضع محددة من القماش المطبوع بواسطة القياسات الضوئية كما هو موضح في الشكل (1)، ومن ثم حساب نسبة تغلغل المعجونة (P%) من العلاقة الآتية:

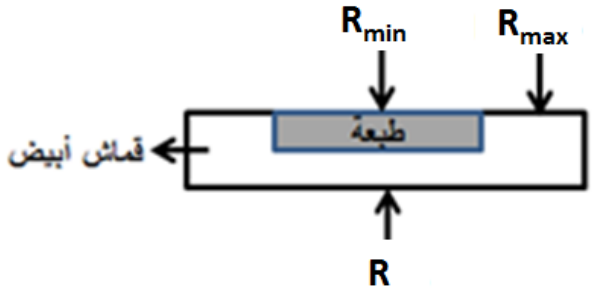
$$P = \frac{R_{\max} - R}{R_{\max} - R_{\min}} \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ إن:

R : معامل الانعكاس على الوجه الخلفي للقماش المطبوع

R_{min} : معامل الانعكاس على الوجه الملون للقماش

R_{max}: معامل الانعكاس للقماش الأبيض غير المطبوع



الشكل (1): أماكن قياس الانعكاسية في الأقمشة المطبوعة

عندما تكون ($R=R_{min}$) فإن كمية المعجونة على الوجه الخلفي تساوي كميتها على الوجه العلوي المطبوع، والتغلغل كامل (P=100%). أما عندما تكون ($R=R_{max}$) فذلك يعني أن المعجونة بقيت على السطح المطبوع، ولا يوجد تغلغل، ويبقى الوجه الخلفي أبيضاً (P=0). يتم الحصول على قيم معامل الانعكاس الثلاث (R_{max} ، R_{min} ، R) باستخدام مقياس الانعكاسية الضوئية (Spectrophotometer) المخصص للأقمشة. وقد طُبقت العلاقة (1) من قبل (Davard) (1999) في حساب نسبة تغلغل مواد الطلاء المطبقة على الأقمشة في عملية الطلاء بالسكين [10].

يُعد تطبيق علاقة (Kubelka–Munk) من الممارسات الشائعة لتقييم قوة اللون لمادة ملونة عموماً، والمواد النسيجية المصبوغة أو المطبوعة خصوصاً. ترتكز هذه العلاقة على قياس معامل الانعكاس على الركيزة الملونة باستخدام مقياس الطيف اللوني ومن ثم تطبيق علاقة (Kubelka–Munk) الآتية لحساب النسبة (K/S) [11]:

$$\frac{K}{S}=\frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{.....(2)}$$

إذ إن: R: معامل الانعكاس في الموضع المراد تقييم لونه

K: معامل محدد لنسبة التدفق الضوئي الممتص (معامل الامتصاص)

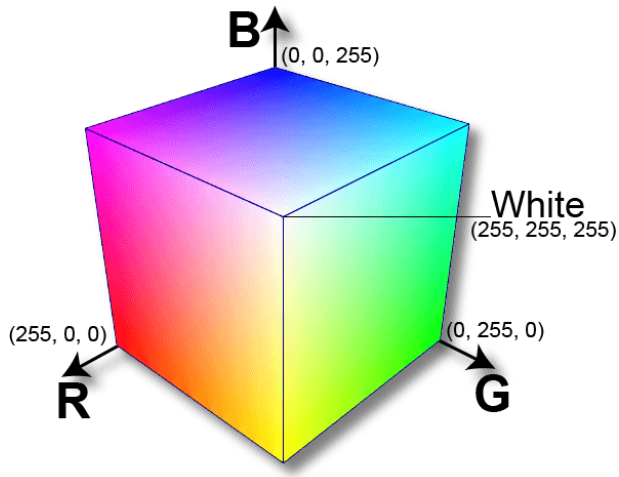
S: معامل محدد لنسبة التدفق الضوئي النافذ (معامل النفوذية)

K/S: نسبة متناسبة مع قوة لون المادة الملونة المدروسة.

في حين قامت بعض الدراسات بتقييم قوة اللون بالاعتماد على النموذج اللوني (RGB) والذي يرتكز على الألوان الثلاثة، الأحمر (Red) والأخضر (Green) والأزرق (Blue) وهي الألوان الأساسية للضوء، إذ يمثل هذا النموذج الألوان باستخدام قيم وحيدة للأحمر

والأخضـــر والأزرق. يعدُّ النظام اللوني (RGB) نظاماً جمعياً للألوان، إذ إن الألوان الأخرى كلها عبارة عن مزيج من هذه الألوان الأســاســية بنســب مختلفة. تَســتخدم هذه الصيغة اللونية الضوء المرسل لإظهار الألوان المستخدمة. يصلح هذا النظام للاستخدام فقط في الشــاشــات الرقمية لعرض الصــور (كشــاشــة الحاســوب، التلفاز، الهاتف، آلة التصــوير الرقمية ...). يتم تحديد كل لون باســتخدام ثلاث قيم تقع بين (0) و (255) لكل لون من الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، إذ إن القيمة (0) تعني أن اللون غامق، والقيمة (255) تعني أن اللون فاتح (كما في الشكل 2). يحدد اللون النهائي عندما تمزج الألوان الأســـاســـيـة الثلاثـة بنســـب متعلقـة بقيمهـا. عنـد مزج الألوان بنســـب (RGB)=255, 255, 255)) يتم الحصـــول على اللون الأبيض، وإذا تم مزج الألوان بنسب (RGB)=0, 0, 0)) يتم الحصول على اللون الأسود [12].

يمثل التحويل إلى التدرج الرمادي (Grayscale) مجموعة ظلال كبيرة تقع ضمن المجال من (0) للون الأسود إلى (255) للون الأبيض، فكلما كانت القيمة للون ما أقرب للقيمة (0) كلما كان اللون أغمق، وكلما كانت أقرب للقيمة (255) لنفس اللون كان أفتح.



الشكل (2): الإحداثيات اللونية وفق النموذج اللوني (RGB)

يتم تقييم قوة اللون وفق هذه المعطيات عن طريق نموذج التدرج الرمادي (Grayscale model) وهو من أبسط النماذج، إذ يتحدد اللون فيه باستخدام قيمة محددة من (0) للأسود و (255) للأبيض. يتم الحصول على الملف الرقمي المناسب لصورة المادة المراد تحليل لونها، ومن ثم يتم إيجاد الاحداثيات اللونية الثلاثة (R, G, B) العائدة للون الأحمر والأخضر والأزرق. يتم تقييم قوة اللون للمادة بتعويض الاحداثيات اللونية الثلاثة (RGB) في العلاقة (3) لحساب قيمة التدرج الرمادي للون (Grayscale)، والتي تعبر عن قوة اللون، إذ يمثل التحويل إلى التدرج الرمادي مجموعة ظلال كبيرة تقع ضمن المجال من (0) للون الأسود إلى (255) للون الأبيض، فكلما كانت قيمة لون ما أقرب للقيمة (0) كلما كان اللون أغمق، وكلما كانت أقرب للقيمة (255) لنفس اللون كان أفتح. تعطى العلاقة (3) بالشكل الآتي [14,13]:

$$Grayscale = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad \text{.....(3)}$$

2- هدف البحث

نظراً لأهمية خاصية تغلغل معجونة الطباعة ضمن القماش المطبوع ودورها في تحديد مقدار المردود اللوني وجودة الطباعة، كان لا بد من إيجاد طرائق لحساب نسبة تغلغل المعجونة. تعد طريقة القياس الضوئي الأكثر استخداماً، ومنها الطريقة التي ترتكز على تطبيق العلاقة (1) بعد قياس معاملات الانعكاسية في مواضع محددة من القماش المطبوع. إلا أن هذه الطريقة تتطلب استخدام أجهزة خاصة مثل جهاز قياس الانعكاسية الضوئية، والتي قد لا تكون متاحة على نطاق واسع. نظراً لذلك يمكن اقتراح طرائق أخرى ترتكز على القياسات اللونية باستخدام وسائل متاحة مثل الماسح الضوئي الموصول مع حاسوب مجهز ببرنامج (Image-J).

يهدف البحث إلى صياغة علاقة لحساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة في القماش. ترتكز هذه الطريقة على إيجاد الاحداثيات اللونية (RGB)، ومن ثم حساب التدرج الرمادي

(Grayscale) وفق العلاقة (3). تُقارن بعد ذلك العلاقة المقترحة مع العلاقة (1) كطريقة مرجعية في الدراسة.

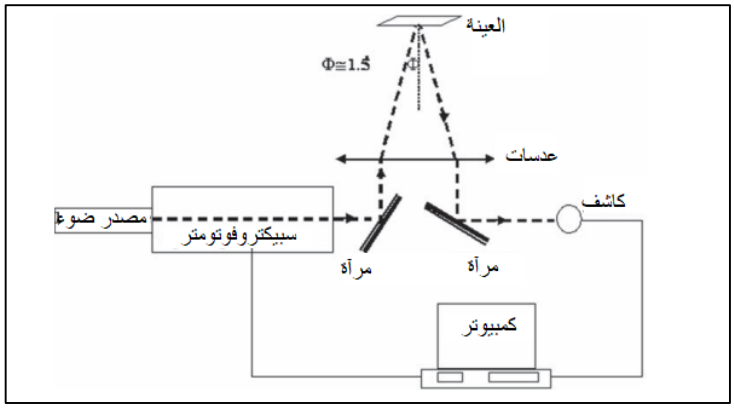
3- مواد وطرق البحث

3-1- المواد المستخدمة:

1. قماش قطني 100% مجهز (مبيض ومنزوع النشاء) تركيبه النسيجي سادة (1/1) ووزن المتر المربع ($150\ g/m^2$)
2. المواد اللازمة لتحضير معاجين الطباعة مذكورة لاحقاً.

3-2- الأدوات والأجهزة المستخدمة:

1. خلاط مغناطيسي لتحضير معاجين الطباعة
2. شبلون طباعة يدوي (شاشة حريرية)
3. مقشطة مطاطية مسطحة
4. فرن تجفيف كهربائي
5. حجرة تبخير
6. جهاز قياس الانعكاسية الضوئية (سبيكتروفوتومتر) وهو موضح في الشكل 3.



الشكل (3): جهاز قياس الانعكاسية الضوئية (سبيكتروفوتومتر)

يكون جهاز قياس الانعكاسية الضوئية مجهزاً بمصباح هالوجين تنغستين كمصدر للضوء، وكاشف سيليكون، وعدسات ومرايا.

7. ماسح ضوئي (Scanner).

3-3- التجارب والاختبارات:

3-3-1- تحضير معاجين الطباعة:

تم تحضير معاجين الطباعة بالأصبغة الفعالة وفقاً للوصفة المذكورة في الجدول (1) وهي موافقة إلى حد كبير لبعض الوصفات المطبقة في بعض المراجع [15]:

الجدول (1): الوصفة القياسية لتحضير معاجين الطباعة

المواد	الكمية (g)
ألجينات الصوديوم (مادة مثخنة)	60
صباغ فعال (Levafix scarlet E-2 G Agran)	80
يوريا	50
بيكربونات الصوديوم	20
فوسفات أحادية الصوديوم (مادة تحلية)	10
ماء	تتمة حتى 1000

قد يتطلب ضبط مواصفات معجونة الطباعة إجراء بعض التعديلات في نسب مكوناتها وبالأخص المادة المثخنة، وذلك للوصول إلى جودة وأداء جيدين للطباعة. انطلاقاً من هذه الوصفة تم تكوين أربعة معاجين طباعة تختلف عن بعضها بكمية المادة المثخنة (ألجينات الصوديوم)، على اعتبار أنها المادة المسؤولة عن ضبط لزوجة المعجونة، ومن ثم نسبة تغلغل المعجونة في القماش المطبوع. يبين الجدول (2) كمية ألجينات الصوديوم في

معاجين الطباعة الأربعة المحضرة. تم تحضير معاجين الطباعة عن طريق خلط المواد المذكورة بواسطة خلاط مغناطيسي لمدة (30 min).

الجدول (2): كمية ألجينات الصوديوم في معاجين الطباعة الأربعة المحضرة

رقم المعجونة	1	2	3	4
كمية ألجينات الصوديوم (g)	45	50	55	60

3-3-2- تطبيق عملية الطباعة:

تمت عملية الطباعة على القماش القطني بواسطة شبلون طباعة يدوي (شاشة حريرية)، إذ تم تطبيق معاجين الطباعة بواسطة مقشطة مطاطية مسطحة، ومن ثم تجفف العينات المطبوعة بفرن تجفيف كهربائي عند الدرجة (80°C) لمدة خمس دقائق. تم بعد ذلك تثبيت الأصبغة على العينات المطبوعة عن طريق التبخير ضمن حجرة تبخير عند درجة حرارة (100°C) ولمدة 12 دقيقة. تم إجراء الغسيل للأقمشة المطبوعة عن طريق شطفها بالماء البارد لمدة 5 دقائق عند الدرجة (20°C)، ثم تُغسل بالماء الفاتر لمدة 5 دقائق عند الدرجة (40°C)، ثم تُغسل بالماء الساخن لمدة 10 دقائق عند الدرجة (85°C)، وأخيراً تُجفف العينات المطبوعة [15].

3-3-3- القياسات اللونية:

تم حساب نسبة تغلغل معاجين الطباعة ضمن القماش بطريقتين كالآتي:

1) الطريقة الأولى: تعتمد طريقة مرجعية، إذ تم حساب نسبة تغلغل معاجين الطباعة ضمن القماش وفق العلاقة (1)، والتي تتطلب قياس معامل الانعكاس في ثلاثة مواضع مختلفة من القماش المطبوع كما هو موضح سابقاً. تمت هذه القياسات بواسطة جهاز قياس الانعكاسية الضوئية (سبيكتروفوتومتر)، إذ تم أخذ ثلاث قراءات في كل موضع واعتماد المتوسط الحسابي لها، ومن ثم تم حساب نسبة التغلغل وفق العلاقة (1).

2) الطريقة الثانية: وهي طريقة مقترحة، ترتكز على حساب التدرج الرمادي (Grayscale) في ثلاثة مواضع مختلفة من القماش المطبوع (الشكل 4) كما يلي:

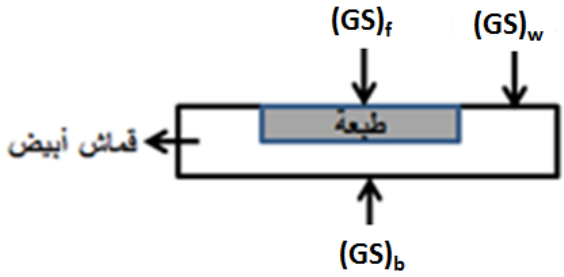
$(GS)_f$: قيمة التدرج اللوني على الوجه الملون للقماش

$(GS)_b$: قيمة التدرج اللوني على الوجه الخلفي للقماش المطبوع

$(GS)_w$: قيمة التدرج اللوني على القماش الأبيض غير المطبوع

ومن ثم تم اقتراح علاقة رياضية لحساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة بحيث يتم ترتيب المعاملات بطريقة مماثلة للعلاقة (1) وذلك كالآتي:

$$P = \frac{(GS)_w - (GS)_b}{(GS)_w - (GS)_f} \times 100 \qquad \text{.....(4)}$$



الشكل (4): أماكن حساب التدرج الرمادي (Grayscale) في الأقمشة المطبوعة

تتطلب هذه الطريقة الحصول على الاحداثيات اللونية الثلاثة (R, G, B) العائدة للون الأحمر والأخضر والأزرق. تم ذلك عن طريق المسح الضوئي لعينات القماش المطبوعة بالماسح الضوئي (Scanner) وذلك للحصول على صور للعينات المطبوعة على شكل ملفات رقمية في ثلاثة مواضع من القماش المطبوع كما هو مشار إليه سابقاً، ومن ثم تم تحليل اللون في هذه الصور باستخدام برنامج (Image–J) الذي يُعتمد لتحليل اللون، إذ تم اعتماد نوع الصور من نمط (RGB color)، وبعد ذلك وباستخدام التعليمة

(measure RGB) تم إيجاد الاحداثيات اللونية الثلاثة (R, G, B) العائدة للون الأحمر والأخضر والأزرق، إذ تم أخذ ثلاث قراءات في كل موضع واعتماد المتوسط الحسابي لها، ومن ثم تم حساب قيم التدرج الرمادي (Grayscale) من العلاقة (3) في المواضع الثلاثة المحددة، وبعدها تم تطبيق العلاقة (4) لحساب نسبة تغلغل المعجونة.

4- النتائج ومناقشتها:

1) نتائج الطريقة الأولى: يوضح الجدول (3) قيم معاملات الانعكاس المقاسة ونتائج حساب نسبة تغلغل معاجين الطباعة وفق العلاقة (1).

	العينة المرجعية البيضاء	العينة 1		العينة 2		العينة 3		العينة 4	
معاملات الانعكاسية	R_{max}	R_{min}	R	R_{min}	R	R_{min}	R	R_{min}	R
قراءة 1	0.786	0.069	0.567	0.045	0.575	0.039	0.593	0.031	0.606
قراءة 2	0.793	0.063	0.576	0.042	0.584	0.036	0.576	0.031	0.584
قراءة 3	0.811	0.066	0.543	0.044	0.546	0.038	0.564	0.033	0.605
المتوسط الحسابي	0.796	0.066	0.562	0.043	0.568	0.037	0.577	0.031	0.598
الانحراف المعياري	0.012	0.003	0.017	0.001	0.019	0.001	0.014	0.001	0.012
معامل الاختلاف CV (%)	1.618	4.545	3.035	3.498	3.494	4.055	2.522	3.646	2.076

نسبة التغلغل P%		32.17	30.32	28.85	25.93

2) نتائج الطريقة الثانية: توضح الجداول (4، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11، 12) قيم الاحداثيات اللونية الثلاثة (R, G, B) المقاسة وقيمة التدرج الرمادي الموافقة.

الجدول (3): جدول قياسات معاملات الانعكاس وحساب نسبة التغلغل وفق الطريقة الأولى

الجدول (4): قيم (RGB) و (Grayscale) للقماش الأبيض غير المطبوع

	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	254.83	254.83	254.83	254.83
قراءة 2	249.06	248.91	248.99	248.96
قراءة 3	254.92	254.92	254.92	254.92
المتوسط الحسابي	252.94	252.88	252.91	252.90
الانحراف المعياري	3.35	3.44	3.39	3.41
معامل الاختلاف CV (%)	1.32	1.36	1.34	1.34

الجدول (5): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 1 المطبوعة (الوجه الأمامي)

	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	64.69	32.71	57.06	45.05
قراءة 2	61.84	32.75	55.39	44.03

قراءة 3	54.92	28.17	47.85	38.41
المتوسط الحسابي	67.15	41.21	60.10	51.12
الانحراف المعياري	5.02	2.63	4.90	3.57
معامل الاختلاف CV (%)	7.48	6.39	8.16	6.99

الجدول (6): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 1 المطبوعة (الوجه الخلفي)

	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	222.09	216.19	213.84	217.69
قراءة 2	209.56	201.22	201.38	203.73
قراءة 3	234.22	221.74	230.55	226.48
المتوسط الحسابي	221.96	213.05	215.26	215.95
الانحراف المعياري	12.33	10.61	14.63	11.47
معامل الاختلاف CV (%)	5.55	4.98	6.79	5.31

الجدول (7): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 2 المطبوعة (الوجه الأمامي)

	Red	Green	Blue	Grayscale

قراءة 1	65.18	28.39	60.40	43.04
قراءة 2	60.05	30.68	51.85	41.88
قراءة 3	54.92	25.75	49.83	37.22
المتوسط الحسابي	54.72	23.94	49.03	36.00
الانحراف المعياري	5.13	2.46	5.61	3.08
معامل الاختلاف CV (%)	9.37	10.30	11.44	8.55

الجدول (8): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 2 المطبوعة (الوجه الخلفي)

	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	229.69	223.71	229.10	226.11
قراءة 2	224.16	221.18	223.72	222.36
قراءة 3	216.16	210.45	214.59	212.63
المتوسط الحسابي	223.34	218.45	222.47	220.37
الانحراف المعياري	6.80	7.03	7.33	6.95
معامل الاختلاف CV (%)	3.04	3.22	3.29	3.15

الجدول (9): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 3 المطبوعة (الوجه الأمامي)

Grayscale	Blue	Green	Red	
33.85	49.88	20.49	53.96	قراءة 1
33.40	47.00	21.69	51.21	قراءة 2
29.87	44.15	18.33	47.06	قراءة 3
28.22	44.35	16.17	45.74	المتوسط الحسابي
2.18	2.86	1.69	3.47	الانحراف المعياري
7.72	6.45	10.50	7.59	معامل الاختلاف CV (%)

الجدول (10): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 3 المطبوعة (الوجه الخلفي)

Grayscale	Blue	Green	Red	
233.03	233.57	231.86	235.12	قراءة 1
220.29	214.29	222.60	218.04	قراءة 2
240.15	240.88	238.89	242.36	قراءة 3
225.87	226.25	224.45	228.51	المتوسط الحسابي
10.06	13.73	8.16	12.48	الانحراف المعياري
4.45	6.07	3.63	5.46	معامل الاختلاف CV (%)

الجدول (11): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 4 المطبوعة (الوجه الأمامي)

	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	53.76	25.29	49.44	36.56
قراءة 2	47.17	23.05	41.28	32.34
قراءة 3	44.95	20.42	42.65	30.28
المتوسط الحسابي	50.96	23.92	46.79	34.61
الانحراف المعياري	4.58	2.44	4.36	3.19
معامل الاختلاف CV (%)	8.99	10.20	9.33	9.23

الجدول (12): قيم (RGB) و (Grayscale) للعينة 4 المطبوعة (الوجه الخلفي)

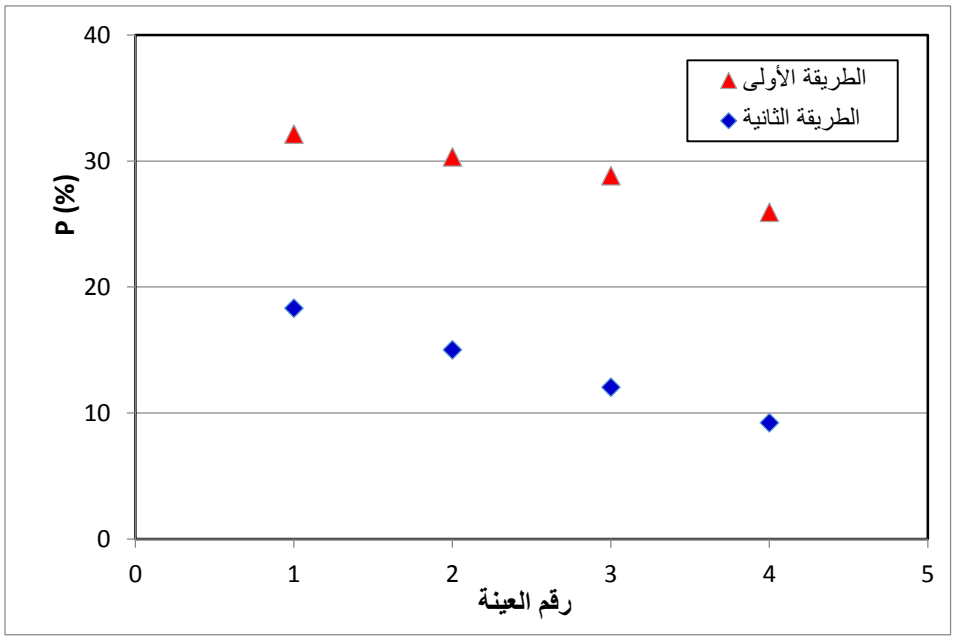
	Red	Green	Blue	Grayscale
قراءة 1	246.68	244.19	246.40	245.19
قراءة 2	221.32	214.49	222.61	217.46
قراءة 3	237.89	234.46	236.76	235.75
المتوسط الحسابي	235.29	231.05	235.26	232.80
الانحراف المعياري	12.87	15.14	11.96	14.09
معامل الاختلاف CV (%)	5.47	6.55	5.08	6.05

تم تطبيق العلاقة (5) لحساب نسبة تغلغل معاجين الطباعة، والنتائج موضحة في الجدول (13).

الجدول (13): قيم المتوسط الحسابي لـ (Grayscale) للعينات الأربعة وحساب نسبة التغلغل وفق الطريقة الثانية

	العينة المرجعية البيضاء	العينة 1	العينة 2	العينة 3	العينة 4
$(GS)_w$	252.90				
$(GS)_f$		51.12	36.00	28.22	34.61
$(GS)_b$		215.95	220.37	225.87	232.80
نسبة التغلغل %P		18.31	15.00	12.03	9.21

بالنظر إلى الجدولين (3) و (13) يمكن تمثيل قيم نسبة تغلغل المعجونة في القماش والمحسوبة وفق الطريقتين الأولى والثانية بيانياً كما في الشكل (5).



الشكل (5): التمثيل البياني لقيم نسبة تغلغل المعجونة في القماش والمحسوبة وفق الطريقتين الأولى والثانية

بالنظر إلى الشكل (5) يمكن ملاحظة الآتي:

– كانت نسبة تغلغل معجونة الطباعة أقل في المعاجين الحاوية على كمية أكبر من المادة المثخنة، وتزداد هذه النسبة مع انخفاض كمية المادة المثخنة فيها. يعزى ذلك إلى أن ازدياد كمية المادة المثخنة في المعجونة يزيد من لزوجتها، مما يؤدي إلى انخفاض انتشارها وتغلغلها ضمن القماش المطبوع.

– كان معامل الاختلاف (CV%) منخفضاً ولا يتعدى (5%) من أجل قراءات الانعكاسية بالطريقة الأولى، ولا يتعدى (12%) من أجل القراءات للإحداثيات اللونية الثلاثة المأخوذة بالطريقة الثانية. يشير ذلك إلى أن العينات المطبوعة كانت متجانسة اللون إلى حد كبير. يمكن أن تُعزى قيم معامل الاختلاف في كلتا الطريقتين إلى بعض التفاوت في تجانس

الطباعة لأسباب عديدة أهمها عدم استواء سطح طاولة الطباعة جيداً. كما لا بد من الإشارة إلى قيم معامل الاختلاف (CV%) عند إنجاز القراءات على الموضع الأبيض غير المطبوع من القماش، وكان لا يتعدى (2%)، وهذا يعود إلى درجة البياض المتجانسة للقماش المجهز مسبقاً جيداً.

– لدى مقارنة قيم نسبة تغلغل معجونة الطباعة المحسوبة بالطريقتين ظهر فرق واضح بين القيم، إذ كانت قيم نسبة التغلغل المحسوبة بالطريقة المرجعية التي تعتمد العلاقة (1) أعلى مقارنة بالطريقة المقترحة التي تعتمد العلاقة (4)، إلا أن الطريقة المقترحة أظهرت السلوك نفسه الذي أظهرته الطريقة المرجعية فيما يخص انخفاض نسبة التغلغل مع ازدياد كمية المادة المثخنة في المعجونة.

– يمكن أن يعزى هذا الفرق في قيم نسبة تغلغل معجونة الطباعة المحسوبة بالطريقتين إلى اختلاف نوعية المنبع الضوئي المستخدم في كلتا الطريقتين ومبدأ عمله، فالمنبع الضوئي المستخدم في جهاز قياس الانعكاسية الضوئية (سبيكتروفوتومتر) يختلف عن المنبع الضوئي المستخدم في الماسح الضوئي من ناحية مجال أطوال موجات الأشعة الصادرة عنهما واستطاعة المنبع الضوئي وشدة الاشعاع الضوئي.

5– الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت معاجين الطباعة المحضرة سلوكاً نمطياً للسلوك المعتاد لنسبة تغلغلها في القماش المطبوع، إذ تزداد هذه النسبة مع انخفاض كمية المادة المثخنة فيها. تم ملاحظة هذه الظاهرة عند تطبيق كلتا الطريقتين (المرجعية والمقترحة) المطبقتين في حساب نسبة تغلغل معجونة الطباعة. لم تتطابق النتائج المحسوبة وفق الطريقة المقترحة، والتي تعتمد إيجاد الاحداثيات اللونية (RGB) ومن ثم حساب قيم التدرج الرمادي (Grayscale)، مع النتائج المحسوبة وفق الطريقة المرجعية التي تعتمد قياس معامل الانعكاسية. يُقترح إيجاد معامل تصحيح تُضرب بها قيم نسبة تغلغل المعجونة المحسوبة وفق الطريقة المقترحة، إلا أن

ذلك يتطلب اعتماد علامة تجارية وصنف محدد للماسح الضوئي المستخدم في الاختبارات، إذ من الممكن أن تختلف القراءات من ماسح ضوئي لآخر تبعاً لنوع المنبع الضوئي المستخدم فيه.

6- المراجع

[1] Choudhury A K R, (2023) - Principles of Textile Printing. published by CRC Press, first edition

[2] Miles L W C, (2003) - Textile printing, Published by Society of Dyers and Colourists, England, 3rd edition

[3] Al-Zoubi S, Saffour Z, (2023) - A Study of some Fastness Properties of Cotton Fabric Printed with Natural Plant Dyes, Journal of Homs University, Vol. 45, No. 2 (In Arabic)

[4] Zhao Z, Liu W, Liu H, (2025) - Flexible and Durable Direct Ink Writing 3D-Printed Conductive Fabrics for Smart Wearables, ACS Omega, 10, 14138−14149

[5] AlAtrash N, Tuhmaz G, Saffour Z, (2025) - Coating Technology Treatment to Obtain a Technical Electrically Conductive Fabric, Journal of Homs University, Vol. 47, No. 1 (In Arabic)

[6] Othman H, Abd El-Rahman R, Mokhtar A, El-Desoky S, El-Bahrawy G, Ezat H, Moawaed S, Hassabo A, (2023) - Various Printing Techniques of Intelligent Lyocell Fabric to Enhancing its

Performance Properties, Egypt. J. Chem. Vol. 66, No. 12, pp. 413 - 419

[7] Kappel Ch, Hirn U, Donoser M, Bauer W, (2009) - MEASUREMENT OF PRINTING INK PENETRATION IN UNCOATED PAPERS AND ITS INFLUENCE ON PRINT QUALITY, 94th Annual Meeting, Pulp and Paper Technical Association of Canada

[8] Gaži J P, Bates I, (2025) - ANALYSIS OF INK PENETRATION DEPTH INSIDE SUBSTRATES FOR SECONDARY PACKAGING, MOKSLO TAIKOMIEJI TYRIMAI, 21 (2), p. 64-70

[9] Yao D, Yuan J, Tian J, Wang L, Chen G, (2022) - Pigment Penetration Characterization of Colored Boundaries in Powder-Based Color 3D Printing, Materials, 15, 3245

[10] Davard F, (1999) - Rheological effects in a knife coating process: experimental study and application to textiles, Doctoral thesis, University of Haute Alsace

[11] Rouette H, (2000) - Encyclopedia of Textile Finishing, Springer

[12] Jyothi G, Sushma CH, Veeresh D S S, (2015) - Luminance Based Conversion of Gray Scale Image to (RGB) Image, International Journal of Computer Science and Information Technology Research, Vol. 3, Issue 3, pp: 279-283

[13] Zhang L, Yang J, Xu Y, (2026) - Color-to-Grayscale Image Conversion Based on the Entropy and the Local Contrast, Electronics, 15, 114

[14] Fan C L, Chung Y J, Yen S M, (2025) - Comparative Analysis of Deep Learning Models for Banana Plant Detection in UAV (RGB) and Grayscale Imagery, Computers, Materials and Continua, Volume 84, Issue 3, Pages 4627-4653

[15] Xie K, Gao A, Li M, Wang X, (2014) - Printing properties of the red reactive dyes with different number sulfonate groups on cotton fabric, Carbohydrate Polymers, 101, 666–