التفعيل المزدوج للطباعة الرقمية والذكاء الاصطناعي في تحقيق التميز التصميمي للأقمشة المعاصرة

م. صباح اسماعيل عبد صالح
الجامعة المستنصرية/ كلية التربية الاساسية
sabah.tememe@uomustansiriyah.edu.iq

الملخص

لم يعد تصميم المنسوجات اليوم مجرد حرفة بصرية أو مهارة تقنية تقليدية، بل أضحى ساحة لصراع إبداعي بين الخيال البشري والأنظمة الذكية. يحاول هذا البحث استكشاف منطقة تقاطع حديثة جداً أسميتها "التفعيل المزدوج"، وهي اللحظة التي يلتقي فيها الذكاء الاصطناعي بوصفه شريكاً مولداً للأفكار، مع الطباعة الرقمية بوصفها أداة تجسيد مادي فائقة الدقة.

تكمن أهمية البحث في محاولة كسر النمطية التي فرضتها قوالب التصميم الجاهزة لسنوات طويلة، والبحث عن "تميز تصميمي" حقيقي يظهر في تلك التكوينات المعقدة والسيولة اللونية التي كان من المستحيل تنفيذها يدوياً أو ميكانيكياً. من خلال تحليل عينات تطبيقية، نرى كيف تحولت الخوارزميات من مجرد أداة أتمتة إلى "عقل إبداعي" يصيغ أنماطاً غير متكررة وتدرجات لونية مجهرية، مما يمنح الأقمشة المعاصرة قيمة فنية وندرة تجعلها تتجاوز مفهوم الكساء لتصبح منتجاً تكنولوجياً وجمالياً فريداً. إننا هنا بصدد صياغة لغة بصرية جديدة، لا تكتفي بمواكبة العصر الرقمي، بل تعيد تعريف مفهوم التميز في عالم الاقمشة.

الكلمات المفتاحية: التفعيل المزدوج ، الطباعة الرقمية ، الذكاء الاصطناعي، التميز التصميمي ، الأقمشة المعاصرة

Abstract

Textile design is no longer just a visual craft; it has become a dynamic intersection where human imagination meets intelligent systems. This research delves into a cutting-edge concept I define as "Dual Activation"—the precise moment where Artificial Intelligence acts as a generative creative partner, while digital printing serves as the medium for high-fidelity physical realization.

The core of this work lies in challenging the repetitive nature of traditional design frameworks. It seeks a genuine "Design Excellence" manifested in complex structures and fluid aesthetics that were previously impossible to achieve through manual or mechanical means. By analyzing practical samples, the study illustrates how algorithms have evolved from simple automation tools into a "creative mind" capable of crafting non-repeating patterns and microscopic chromatic gradients. This synergy elevates contemporary fabrics beyond mere garments, transforming them into unique technological and aesthetic statements. We are essentially witnessing the birth of a new visual language—one that doesn't just keep pace with the digital age but redefines the very meaning of distinction in the textile industry.

Keywords: Dual Activation, Digital Printing, Artificial Intelligence (AI), Design Excellence, Contemporary Textiles

الفصل الاول : مشكلة البحث و اهميته

مشكلة البحث

"على الرغم من الثورة التقنية التي أحدثتها الطباعة الرقمية في عالم المنسوجات، وما وفّرته من حلول مذهلة على صعيدي السرعة والدقة، إلا أن المتأمل في المشهد التصميمي الراهن يلحظ نوعاً من 'الجمود الإبداعي'.فما تزال الكثير من المعالجات البصرية حبيسة الأنماط التقليدية أو مقيدة بحدود البرمجيات الجرافيكية المعتادة، التي مهما بلغت قوتها، تظل محكومة بحدود الخيال البشري النمطي".

"ومع بزوغ فجر الذكاء الاصطناعي كقوة ابتكارية جامحة، تشكلت فجوة منهجية وتطبيقية واضحة؛ فنحن لا نعاني من نقص في التكنولوجيا، بل في كيفية خلق 'اتصال حي' بين الذكاء الاصطناعي بوصفه 'عقلاً توليدياً' وبين الطباعة الرقمية بوصفها 'جسداً تنفيذياً'. إن عدم استثمار هذا 'التدفق الرقمي الكامل' يجعل الممارسة التصميمية تفتقر إلى روح العصر وتفقد فرصاً ذهبية للتميز".

وعليه، يمكن بلورة مشكلة البحث في التساؤل الجوهري الآتي:

إلى أي مدى يمكن أن يشكل 'التفعيل المزدوج' للذكاء الاصطناعي والطباعة الرقمية مدخلاً منهجياً لتحقيق التميز التصميمي في الأقمشة المعاصرة؟ وكيف ينعكس هذا التفعيل على القيمة الجمالية والوظيفية للمنتج ؟

اهمية البحث

١- قد يساهم البحث في وضع أطر نظرية للمعايير الجمالية الناتجة عن ادبيات الذكاء الاصطناعي، مما يثري المكتبة العربية بمصطلحات ومفاهيم حديثة في فلسفة التصميم الرقمي للأقمشة.

٢- قد تكمن الأهمية في رصد العلاقة الجدلية بين "الخيال الاصطناعي" و"الخيال البشري"، وكيف يمكن للأول أن يكون امتداداً للثاني في بناء تكوينات نسيجية ذات قيمة وفائدة.

٣- قد تبرز أهمية البحث في استكشاف قدرة الذكاء الاصطناعي على بناء تكوينات لونية وشكلية دقيقة جداً يعجز العقل البشري عن معالجتها يدوياً أو برمجياً بشكل تقليدي، مما يحقق "تميزاً" في المخرج النهائي.

٤- قد يرتقي بجودة المخرجات الطباعية من خلال الربط بين ذكاء التصميم ودقة الطباعة الرقمية يرفع من القيمة الفنية للأقمشة المعاصرة، حيث تتحول الطباعة من مجرد وسيلة نقل للصورة إلى وسيلة لتجسيد "التعقيد البصري" الذي يوفره الذكاء الاصطناعي.

٥- قد يساهم في اختزال الوقت والجهد في الابتكار :تكمن الأهمية في توضيح كيف يمكن للذكاء الاصطناعي اختصار مراحل التجريب اليدوي الطويلة للوصول إلى تكوينات مبتكرة، مع ضمان أعلى معايير الدقة عند التنفيذ بالطباعة الرقمية.

هدف البحث

"بهدف البحث الى الكشف عن تحقق 'التميز التصميمي' وتجاوز محدودية الرؤية البصرية التقليدية في تصاميم الأقمشة المعاصرة " من خلال التفعيل المزدوج للطباعة الرقمية والذكاء الاصطناعي.

حدود البحث

١- الحدود الموضوعية

يقتصر البحث على دراسة "التفعيل المزدوج "الذي يربط بين الذكاء الاصطناعي التوليدي وبين تقنيات الطباعة الرقمية بنظام النفث الحبري ، مع التركيز حصراً على المعايير

الجمالية والتقنية التي تساهم في تحقيق "التميز التصميمي" وتجاوز الأنماط الهندسية التقليدية في تصاميم الأقمشة.

٢- الحدود الزمانية

تتمثل في الفترة الزمنية التي شهدت الطفرة الحقيقية لدمج الذكاء الاصطناعي في الفنون البصرية والتصميم (من عام ٢٠٢٠ وحتى عام ٢٠٢٦) ، وهي الفترة التي نضجت فيها أدوات التوليد الرقمي ودقة ماكينات الطباعة الحديثة.

٣- الحدود المكانية

من خلال الاطلاع على التجارب العالمية الرائدة في دور تصميم الأزياء وتحديدا التصميم الرقمي التي تعمل ضمن "التفعيل المزدوج." في التصميم ، كما في كليات الفنون الجميلة ، و وحدات الطباعة الرقمية المتطورة.

تحديد المصطلحات

١- التفعيل المزدوج

عرفه (ماهر) بانه هو عملية الربط المنهجي بين الأنظمة التوليدية القائمة على خوارزميات الذكاء الاصطناعي وبين وسائط الإنتاج الرقمي (الطباعة)، حيث يتم تفعيل القدرات الإبداعية للآلة في مرحلة التصميم، وتفعيل الدقة اللامتناهية للماكينة في مرحلة التنفيذ، مما يلغي الفجوة بين الخيال الرقمي والمنتج الملموس". (ماهر،٢٠٢٢، ص١٤٢)"

كما عرفه (عبد العزيز) "يُقصد بالتفعيل المزدوج استثمار التفاعل التبادلي بين 'الذكاء التوليدي' وقدرة 'النفث الحبري الرقمي (Inkjet Graphics) 'لإنتاج تكوينات بصرية معقدة تتسم بالسيولة والتعقيد الكسوري، وهو تفعيل يهدف إلى تجاوز القوالب التصميمية الجاهزة والوصول إلى حلول ابتكارية غير نمطية في الأقمشة المعاصرة". (عبد العزيز واخرون،٢٠٢٣،ص٨٨)

٢- الطباعة الرقمية

عرفها (Kemp) بانها "هي عملية نقل الصور الرقمية مباشرة من الحاسوب إلى سطح القماش عبر رؤوس نفث الحبر (Inkjet)، دون الحاجة إلى وسائط تقليدية كالشبلونات أو الأسطوانات، مما يمنح مرونة تصميمية مطلقة" (Kemp, ٢٠٢١, p. ١٢). وعرفها

(Smith) بانها "تكنولوجيا إنتاجية تعتمد على تقنية نفث قطرات دقيقة من الحبر الملون بترتيب هندسي محكم وفق إشارات رقمية، وتتميز بقدرتها على تحقيق تدرجات لونية معقدة ودقة مجهرية في التفاصيل" (Smith, ٢٠٢٣, p. ١٢٠٥).

٣. الذكاء الاصطناعي

عرفه (Lee) بانه "هو فرع من علوم الحاسب يهدف إلى بناء أنظمة برمجية قادرة على محاكاة القدرات الذهنية البشرية، مثل التعلم والاستنتاج واتخاذ القرار، وتوظيفها في توليد أنماط تصميمية مبتكرة" (Lee, ٢٠٢٢, p. ٤٨).

كما عرفه (Kim) بانه "مجموعة من الخوارزميات والشبكات العصبية القادرة على تحليل كميات ضخمة من البيانات البصرية والتنبؤ باتجاهات التصميم، مما يقلل من التدخل البشري في العمليات الحسابية المعقدة" (Kim, ٢٠٢٣, p. ٥).

٤. التميز التصميمي

عرفه (Liu) بانه "هو الحالة التي يصل فيها التصميم إلى التوازن المثالي بين الوظيفة النفعية والقيمة الجمالية والابتكار التقني، متجاوزاً التوقعات المعتادة للمستهلك"(Liu et al., ٢٠٢٢, p. ٨).

كما عرفه (Brown) بانه "معيار تقييمي يعبر عن جودة المخرج التصميمي وقدرته على حل المشكلات المعقدة بأدوات مبتكرة، مع الحفاظ على أصالة الفكرة وكفاءة التنفيذ" (Brown, ٢٠٢٣, p. ١٣٠).

٥. تصميم الأقمشة

عرفه (Brown) بانه "هو فن وعلم ابتكار البنى النسجية والزخارف السطحية للأقمشة، مع مراعاة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألياف والأساليب التقنية المستخدمة في الإنتاج" (Li, ٢٠٢١, p. ٥٧٠).

كما عرف بانه "عملية إبداعية منظمة تهدف إلى تحديد المظهر والملمس والوظيفة للمنسوجات، عبر دمج العناصر الفنية (لون، شكل، ملمس) مع المعطيات التكنولوجية الحديثة" (Textile Exchange, ٢٠٢٣, p. ٢٢).

الفصل الثاني : الاطار النظري

المبحث الاول : تطور طباعة القماش من الحرفة إلى الأتمتة الواعية

شهدت المسيرة التاريخية لزخرفة المنسوجات تحولات دراماتيكية، انتقلت خلالها من ممارسات يدوية مشحونة بالقيم الثقافية إلى نظم صناعية معقدة. فمنذ التقنيات البدائية التي اعتمدت على "الطباعة بالقوالب الخشبية" وأصباغ الطبيعة في الحضارات القديمة، وصولاً إلى فجر الثورة الصناعية التي أرست دعائم "الطباعة الميكانيكية" عبر الأسطوانات والشاشات الدوارة، كان المحرك الأساسي هو تحقيق "الإنتاج الكمي."

ومع ذلك، فإن هذا التفوق الإنتاجي جاء على حساب المرونة التصميمية والسلامة البيئية. إلا أن العقود الأخيرة أحدثت ما يمكن وصفه بـ "**القطيعة المعرفية** "مع الأساليب التقليدية؛ حيث برزت التقنيات الرقمية لتعيد صياغة المشهد النسيجي بالكامل، محولةً الطباعة من مجرد عملية صبغ كيميائية إلى هندسة رقمية دقيقة توازن بين الجمال الوظيفي والاستدامة البيئية.

التقنيات المعاصرة ورؤية التحول الرقمي

١- الطباعة الرقمية:

تُعد الطباعة الرقمية اليوم العمود الفقري للتحول نحو "المصانع الذكية"، حيث وفرت حلولاً جذرية لمعضلات الإنتاج التقليدي. وتتجلى أهميتها في قدرتها على منح المصمم مرونة فائقة واختصار المدى الزمني اللازم لنقل الفكرة من الحيز الذهني إلى الواقع الملموس .(Kemp, ٢٠٢١ p.٤٥) ويمكن بلورة ميزات هذه التقنية في النقاط التحليلية الآتية:

- **المحاكاة اللونية والدقة المجهرية:** تجاوزت هذه التقنية القيود الفيزيائية لـ "الشبلونات"، مما سمح بتنفيذ تصاميم ذات تعقيد بصري وتدرجات لونية لانهائية كان من المستحيل تحقيقها سابقاً.
- **استراتيجية الإنتاج عند الطلب:** ساهم هذا النموذج في تقويض ظاهرة "الهدر الهيكلي"؛ حيث يتم إنتاج الكميات المطلوبة بدقة، مما يحد من تراكم المخزون والنفايات المرتبطة به.

- **حوكمة الموارد المائية:** تبرز الكفاءة البيئية للطباعة الرقمية في قدرتها على خفض استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٩٠٪ مقارنة بالأساليب التقليدية (Textile World, ٢٠٢٠ p.٩٥)، مما يجعلها الركيزة الأساسية للصناعة الخضراء.
- **التخصص الكيميائي للأحبار:** يتجلى التطور في تنوع الأنظمة الكيميائية للأحبار (التفاعلية، الحمضية، الصبغية، والتشتت)، حيث يتم مواءمة كل نوع مع الخصائص الفيزيائية للألياف لضمان أعلى معايير الثبات والاستدامة.

٢- الطباعة ثلاثية الأبعاد المباشرة

تُمثل الطباعة ثلاثية الأبعاد على الأقمشة مرحلة "النضج التقني" في دمج الصلابة بالمرونة . تتيح هذه التقنية المبتكرة تشكيل عناصر هيكلية أو وظيفية مباشرة فوق السطح النسجي، مما يفتح آفاقاً لابتكار "منسوجات ذكية" ذات أبعاد ملموسة وفريدة وتبرز تطبيقاتها في: (Wang et al., ٢٠٢٣ p.٩٩)

- **التصنيع المضاف:** حيث يتم بناء العناصر الزخرفية بإضافة المادة طبقة تلو الأخرى، مما يضمن استهلاك المادة الخام الضرورية فقط ويقلل الهدر بشكل قطعي.
- **الوظيفية المتقدمة:** تمكن المصمم من دمج خصائص الاستشعار، أو التوصيل الكهربائي، أو العزل الحراري مباشرة في بنية القماش، مما ينقل المنسوجات من حيز "الكساء" إلى حيز "الأداة الوظيفية."

تتبع مسار تصميم و طباعة الأقمشة

لم تكن رحلة زخرفة المنسوجات مجرد تطور تقني، بل كانت انعكاساً للتحولات الحضارية؛ حيث قطعت ممارسات التصميم والطباعة مساراً مبهراً عبر آلاف السنين، تحولت خلاله من "الحرفة اليدوية" ذات الرمزية الثقافية إلى "المنظومات الصناعية" المعقدة. فمنذ جذورها في الحضارات القديمة، حيث ساد الاعتماد على الأصباغ الطبيعية المستخلصة من النباتات والمعادن، استندت العمليات التقنية لأساليب بدائية كالقوالب الخشبية (Woodblock) وتقنيات مقاومة الشمع .(Batik) ومع انبلاج فجر الثورة الصناعية، حدث تحول نوعي أرسى دعائم "الطباعة الميكانيكية" عبر ابتكار الأسطوانات وطباعة الشاشة الدوارة، مما مكّن المصنعين من تحقيق مستويات غير مسبوقة من الإنتاج الضخم.

بيد أن هذا الازدهار الكمي في بداياته قد غلبت عليه أولويات الوفرة الإنتاجية على حساب الكفاءة البيئية، مما خلف إرثاً من الهدر المائي والكيميائي. إلا أن العقود القليلة الماضية قد شهدت ما يمكن وصفه بـ "**القطيعة المعرفية** "مع الأنماط التقليدية، بظهور التقنيات الرقمية التي لم تكتفِ بتطوير الأداء، بل أعادت صياغة القواعد الجوهرية (Paradigm Shift) لهذه الصناعة، واضعةً الاستدامة في قلب العملية الإبداعية.

المبحث الثاني: دور الذكاء الاصطناعي في تصميم الأقمشة

لقد أحدث الذكاء الاصطناعي ثورة عميقة في جميع مراحل تصميم المنسوجات، بدءاً من عملية توليد الأنماط ووصولاً إلى القدرة على التنبؤ بالاتجاهات المستقبلية للموضة

١- توليد تصاميم وأنماط مبتكرة: باستخدام تقنيات متقدمة مثل الشبكات العصبية التوليدية (Generative Adversarial Networks – GANs) ، يُمكن للذكاء الاصطناعي إنتاج أنماط وتصاميم فريدة ومعقدة، بالاعتماد على مجموعة واسعة من المعطيات أو تحليل معمق للاتجاهات السائدة والسابقة.

٢- تحليل الاتجاهات وتوقعات المبيعات: بفضل قدرته على معالجة وتحليل كميات هائلة من بيانات المستهلكين واتجاهات الموضة العالمية، يُمكن للذكاء الاصطناعي التنبؤ بدقة أكبر بالتصاميم التي ستلقى رواجاً، مما يُسهم في تقليل مخاطر الإفراط في الإنتاج المرتبطة بالتخمين في الطلب.

٣- تحسين كفاءة عمليات الإنتاج: يُمكن للذكاء الاصطناعي أن يُساهم في تحسين استغلال المواد والأحبار، وتقليل الأخطاء البشرية المحتملة في مراحل الطباعة، مما ينعكس إيجاباً على التكلفة والجودة (Chen & Lee, ٢٠٢٢,p.٤٥).

كما تُشكل المواد الخام جوهر أي مبادرة نحو الاستدامة في صناعة النسيج. تتجه التوجهات الحديثة بشكل متزايد نحو:

١- الألياف العضوية والطبيعية: مثل القطن العضوي، الكتان، القنب، والخيزران، التي تُزرع وتُنتج بأساليب تُقلل من التأثير البيئي، متجنبةً استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة الكيميائية الضارة.

٢- الألياف المعاد تدويرها: تُقدم هذه الألياف حلاً حيوياً لتقليل النفايات. من الأمثلة البارزة على ذلك البوليستر المعاد تدويره (RPET) الذي يُصنع من الزجاجات

البلاستيكية المستعملة، بالإضافة إلى الألياف المستخلصة من مخلفات الأقمشة الصناعية أو الملابس المستهلكة. يُساهم استخدام الألياف المعاد تدويرها بشكل فعّال في تقليل حجم النفايات المتجهة إلى مدافن القمامة، ويُقلل من الاعتماد على الموارد البكر، مما يدعم نموذج الاقتصاد الدائر.

٣- الألياف الجديدة والمبتكرة: يجري تطوير مستمر لألياف مبتكرة تُقدم بدائل صديقة للبيئة، مثل تلك المصنوعة من قشور الفاكهة، الطحالب البحرية، أو حتى البروتينات النباتية، والتي تُظهر وعوداً كبيرة في المستقبل (Textile Exchange, ٢٠٢٣ . p.١٢١). بالإضافة إلى التحسينات الجوهرية التي تُقدمها الطباعة الرقمية، تُوجد تقنيات أخرى تُسهم بفاعلية في تعزيز الاستدامة:

١- الأحبار الصديقة للبيئة: يتزايد التوجه نحو استخدام الأحبار المائية الخالية من المواد الكيميائية الخطرة والمذيبات الضارة، بالإضافة إلى الأحبار المعتمدة على مكونات طبيعية مثل الصويا، والتي تُقلل من السمية البيئية.

٢- الطباعة بالليزر: تُعد هذه التقنية بديلاً مبتكراً، حيث تستخدم الليزر لحرق أو إزالة أجزاء محددة من القماش لإنشاء تصاميم، مما يُقلل بشكل كبير من الحاجة إلى استخدام المياه والمواد الكيميائية في عمليات ما بعد الطباعة.

١-نظم إدارة المياه والطاقة الفعّالة: يُشكل تطوير أنظمة مغلقة لإعادة تدوير المياه المستخدمة في عمليات الطباعة، والتحول نحو استخدام مصادر الطاقة المتجددة في المصانع، ركيزة أساسية لتحقيق الاستدامة التشغيلية.

المبحث الثالث : الازدواج بين الطباعة الرقمية والذكاء الاصطناعي في تصاميم الاقمشة

لم يعد الجمع بين الذكاء الاصطناعي والطباعة الرقمية مجرد إضافة تقنية، بل صار "تحولاً إبستمولوجياً" في فلسفة التصميم. فالذكاء الاصطناعي يمثل "القوة الإدراكية "التي تولد الأفكار، بينما تمثل الطباعة الرقمية "القوة التنفيذية "التي تجسد تلك الأفكار على السطح النسجي بدقة متناهية.

اذ يعتمد الازدواج التقني على تفعيل الجمع الذكاء الاصطناعي والطباعة الرقمية في معالجة كميات ضخمة من البيانات البصرية لابتكار تراكيب زخرفية هجينة. هذه التراكيب تتميز بالتعقيد الذي يتجاوز قدرة المصمم التقليدي على التخيل أو الرسم اليدوي. إن الازدواج بين ذكاء الآلة والطباعة الرقمية خلق ما يسمى بـ 'التصميم السيبراني'، حيث يقوم هذا التفعيل بإنتاج أنماط كسورية (Fractals) معقدة، وتتكفل رؤوس الطباعة الرقمية بنقلها بترددات لونية تصل إلى ملايين الدرجات، مما يحقق تفرداً بصرياً كاملاً لكل قطعة قماش". (النجار، ٢٠٢٤، ص ١١٥)

ونجد ان أحد أهم أدوار هذا الازدواج هو إنتاج أقمشة تتميز بـ "السيولة البصرية ". فبواسطة الذكاء الاصطناعي، يمكن للمصمم تفعيل "التصميم التوليدي" الذي يغير شكل الزخرفة بناءً على إحداثيات معينة، ثم تقوم الطباعة الرقمية بتنفيذ هذه الزخارف دون الحاجة إلى تكرار (Repeat) كما في الطرق التقليدية.

وتسمح تقنيات الطباعة الرقمية الحديثة بتنفيذ تصاميم 'غير متكررة' على طول لفة القماش(Roll to Roll) ، وهو ما يتناغم مع مخرجات الذكاء الاصطناعي التي ترفض النمطية، مما يؤدي إلى ظهور 'التميز التصميمي' عبر التنوع اللامتناهي في القطعة الواحدة". (سليمان والشرقاوي، ٢٠٢٥، ص ٤٢).

كما ان الازدواج التقني يكسر حاجز "المحدودية البشرية" في دمج الألوان وبناء التكوينات. فبينما يقتصر العقل البشري على أنماط مألوفة، يستطيع الذكاء الاصطناعي دمج عناصر متناقضة (مثل الهندسة الصارمة مع التشكيل العضوي) في آن واحد، وهو ما تعجز عنه شاشات الطباعة التقليدية (Screens) ولكن تبرع فيه نفثات الحبر الرقمي (Micro-droplets) إن القيمة المضافة للازدواج الرقمي تكمن في 'الإدراك البصري الفائق'، حيث تظهر على الأقمشة تفاصيل مجهرية وظلال لونية لا يمكن إدراك كيفية بنائها يدوياً، مما يمنح المنتج النهائي صفة 'التميز التقني' والندرة الفنية ". (Hassan & Roberts, ٢٠٢٦, p. ١٩٨)

اهم مؤشرات الاطار النظري

١- هناك تحولاً جوهرياً من الطباعة اليدوية (قوالب خشبية) والميكانيكية (أسطوانات) التي ركزت على "الكم"، إلى الطباعة الرقمية التي تركز على "الكيف والدقة."

٢- تُعتبر الطباعة الرقمية المحرك الأساسي لاختصار الزمن ونقل الخيال إلى واقع، مع ميزات نوعية تشمل:

- المحاكاة اللانهائية :كسر قيود الشبلونات التقليدية وتنفيذ تدرجات لونية مجهرية.
- الاستدامة البيئية :تحقيق خفض بنسبة عالية في استهلاك المياه، وتبني "الإنتاج عند الطلب" للقضاء على الهدر المادي.

٣- النضج التقني تجاوز القماش كونه "كساء" ليصبح "أداة وظيفية" من خلال دمج العناصر الهيكلية والذكية مباشرة فوق السطح النسجي.

٤- توليد الأنماط جديدة نتيجة استخدام الذكاء الاصطناعي لابتكار تصاميم فريدة تتجاوز القدرة البشرية التقليدية.

٥- القدرة على التنبؤ باتجاهات الموضة وتحليل بيانات المستهلكين، مما يقلل من مخاطر الإنتاج غير المدروس.

٦- من خلال تحسين استغلال الخامات، وتسهيل دمج الألياف المعاد تدويرها (مثل البوليستر المعاد تدويره والأحبار المائية الصديقة للبيئة.

٧- ثنائية الإدراك والتنفيذ للذكاء الاصطناعي هو "القوة الإدراكية" (الفكرة)، و الطباعة الرقمية هي "القوة التنفيذية"

٨- السيولة البصرية واللا تكرار بفضل تقنية (التفعيل المزوج) ، أتاح الازدواج إنتاج أقمشة بتصاميم غير متكررة على طول لفة القماش، مما يحقق "التفرد" والتميز التصميمي.

الفصل الثالث : منهجية البحث وإجراءاته

أولاً: منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي في جانبه النظري لمراجعة الأدبيات المتعلقة بالذكاء الاصطناعي والطباعة الرقمية، كما اعتمد على المنهج التجريبي في الجانب التطبيقي؛ وذلك من خلال إجراء تجارب تصميمية تعتمد على "التفعيل المزدوج" للوصول إلى نماذج ابتكارية تحقق التميز التصميمي وتتجاوز الرؤية التقليدية.

ثانياً: مجتمع البحث

يشمل مجتمع البحث كافة الاتجاهات التصميمية والتقنية الحديثة في مجال تصميم وطباعة الأقمشة المعاصرة التي تتبنى حلول الذكاء الاصطناعي والأنظمة الرقمية خلال الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٢٦.

ثالثاً: عينة البحث

تم اختيار عينة البحث بأسلوب العينة القصدية ، وبعدد ٤ عينات وتتمثل في:

١. مجموعة من التصاميم المولدة بواسطة أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI).
٢. خامات نسيجية تم تنفيذ الطباعة الرقمية عليها لاختبار "التميز التقني "

رابعاً: أداة البحث

لتحقيق أهداف البحث، قام الباحث ببناء "استمارة تحليل وتقييم"للنماذج المنتجة.

خامسا: تحليل العينات

العينة (١) التكوين المركزي العضوي والسيولة البصرية

توصيف أولي للعينة: تمثل العينة تكويناً زخرفياً معقداً يرتكز على "الموتيفة" المركزية للفنون المعمارية الإسلامية (مثل الزليج أو المقرنصات)، والمولدة خوارزمياً. تم تنفيذها على خلفية شبكية(Grid) تحوي تنويعات لونية وزخرفية متعددة، مما يوحي باستخدام

تقنيات "التصميم البارامتري " (Parametric Design) المعتمد على الذكاء الاصطناعي.

أولاً: التحليل المورفولوجي والجمالي (المدخل الذكي)

- **تحقق التميز عبر "اللا تكرارية المستمرة:**"نجح التفعيل المزدوج في كسر نمطية "التكرار التقليدي."فبينما تحافظ الموتيفة المركزية على توازنها، نلحظ أن الخلفية الشبكية تتكون من مربعات تحوي زخارف (**Unique**) وغير متكررة بدقة في كل مربع. هذا يعكس قدرة الذكاء الاصطناعي على توليد تنويعات لامتناهية بناءً على قاعدة بيانات التراث الإسلامي دون الوقوع في التماثل الممل.
- **السيولة التكوينية والهجينة:** استطاعت الخوارزمية دمج "الصرامة الهندسية" المتمثلة في الموتيفة المركزية وشبكة الخلفية، مع "السيولة العضوية" المستلهمة من فنون الرقش العربي (Arabesque) هذا الهجين البصري يحقق "التميز التصميمي" الذي يكسر محدودية الرؤية التقليدية التي غالباً ما تفصل بين الهيكلي والزخرفي العفوي.

ثانياً: التحليل اللوني والتقني (المخرج المادي)

- **الإدراك اللوني الفائق:** تبرز العينة قوة دمج الذكاء الاصطناعي مع الطباعة الرقمية في معالجة التضاد اللوني الصارخ. نلحظ تداخل الألوان الحارة (الأحمر، الأصفر) مع الألوان الباردة (الأزرق، التركواز) في مساحات مجهرية دقيقة دون حدوث "سيولة غير مرغوبة" للأحبار. هذا المستوى من "التدرج الفائق "هو ما تعجز عنه شاشات الطباعة التقليدية وتبرع فيه النفثات الحبرية الرقمية.
- **تجسيد الدقة المجهرية** : نجحت الطباعة الرقمية في نقل التفاصيل الخطية المتناهية الصغر (Micron-level details) في زخارف الرقش الكسوري (Fractal Arabesque) المولدة خوارزمياً، مما يمنح قطعة القماش "هوية رقمية" متميزة تتجاوز الدقة اليدوية.

ثالثاً: التقييم العام

١- **التميز التصميمي:** العينة تحقق بامتياز "التميز التصميمي" من خلال تقديم قراءة معاصرة للتراث الإسلامي، حيث تحول الزليج المعماري الصلب إلى نسيج لين يتميز بـ **التفرّد التكويني** في كل جزء منه.

٢- تجاوز المحدودية: تجاوز البحث في هذه العينة "محدودية الخيال البشري" في بناء تراكيب كسورية بالغة التعقيد، وأثبت أن التفعيل المزدوج يفتح آفاقاً لإنتاج أقمشة نادرة فنياً، مما يثبت صحة فرضية بحثك حول دور الازدواج التقني في التميز التصميمي للأقمشة المعاصرة.

العينة (٢)

التكوين المركزي العضوي والسيولة البصرية

توصيف أولي للعينة: تمثل العينة "مانديلا" نسيجية معاصرة تعتمد على التماثل المركزي الشعاعي، تجمع بين عناصر نباتية عضوية (Floral) وتجريدات هندسية حادة. يظهر التفعيل المزدوج هنا في قدرة الذكاء الاصطناعي على بناء "طبقات بصرية Visual) " (Layersمتداخلة تعطي إيحاءً بالعمق الثلاثي الأبعاد.

أولاً: التحليل المورفولوجي والجمالي (المدخل الذكي)

- تجاوز المحدودية عبر "التشكيل البارامتري": نلحظ في هذه العينة قدرة الخوارزمية على معالجة "المنحنيات المعقدة" التي تلتف حول المركز بأسلوب انسيابي .التميز هنا يكمن في ابتكار وحدات زخرفية هجينة لا تنتمي لمدرسة تراثية واحدة، بل هي مزيج بين "الباروك الرقمي" و"التجريد الهندسي الحديث"، وهو ما يمنح الأقمشة المعاصرة سمة "التفرد العالمي."

- التماثل الذكي غير المتطابق: بالتدقيق في تفاصيل العناصر المتناظرة، نجد أن الذكاء الاصطناعي يضيف "تنوعات طفيفة" في الخطوط المجهرية لكل بتلة أو وحدة، مما يكسر الجمود الآلي للتماثل التقليدي ويمنح التصميم روحاً فنية أقرب للرسم اليدوي فائق الدقة.

ثانياً: التحليل اللوني والتقني (المخرج المادي)

- التباين اللوني العميق :(Chiaroscuro Effect) نجح التفعيل المزدوج في توظيف التضاد بين "اللون التركوازي" الهادئ و"الأحمر المرجاني" الجريء مع خلفية "كريمية" محايدة. الطباعة الرقمية جسدت هنا مفهوم "الظلال الرقمية"؛ حيث نرى ظلالاً مجهرية خلف العناصر المركزية تعطي عمقاً يجعل الزخرفة تبدو وكأنها بارزة عن سطح القماش.
- نفاذية اللون ودقة الأطراف: تظهر جودة الطباعة الرقمية في الحفاظ على "نظافة الأطراف" للخطوط الرفيعة جداً التي تشكل المحيط الخارجي للمانديلا، وهو ما يحقق مؤشر "الدقة المجهرية "

ثالثاً: التقييم العام (التميز التصميمي)

١- التميز التصميمي : يتحقق التميز في هذه العينة من خلال "التوازن المعقد "بين الكتلة والفراغ، وبين التفاصيل المزدحمة في المركز والمساحات المفتوحة في الأطراف. هذا التوازن هو نتيجة مباشرة لـ "القدرة الحسابية" للذكاء الاصطناعي في توزيع العناصر الزخرفية.

٢- تجاوز الرؤية التقليدية :أثبتت هذه العينة أن الازدواج التقني يسمح بإنتاج أقمشة تعمل كـ "قطع فنية مستقلة " حيث يتجاوز التصميم فكرة "المساحة المطبوعة" ليصبح "تكويناً فضائياً" متكاملاً، مما يرفع من القيمة الجمالية والشرائية للأقمشة المعاصرة.

العينة (٣)

التجريد البارامتري وتعدد الأبعاد البصرية

توصيف أولي للعينة: تصميم نسيجي يعتمد على تكرار وحدات هندسية (رباعية الأوراق) بأسلوب تجريدي معاصر. يتميز العمل بتنوع لوني ديناميكي وتوزيع غير نمطي للظلال، مما يوحي باستخدام "الخوارزميات التطورية" في توزيع العناصر واللون.

أولاً: التحليل المورفولوجي والجمالي (المدخل الذكي)

اللا نمطية في التكرار: على الرغم من أن التصميم يبدو للوهلة الأولى تكراراً لوحدة واحدة، إلا أن التمعن يكشف أن الذكاء الاصطناعي قد منح كل "ورقة" داخل الوحدة خصائص لونية وشكلية مستقلة . هذا يحقق "التميز التصميمي" من خلال خلق إيقاع بصري متجدد يمنع عين المشاهد من الشعور بالرتابة، وهو ما يسمى بـ "الفوضى المنظمة".

نجد تحطيم البعد الواحد اذ نجحت الخوارزمية في خلق تداخل بيكسلي (Pixelated Interplay) بين الأشكال، حيث تتقاطع الحواف بأسلوب يوحي بالحركة والاهتزاز البصري. هذا التشكيل يتجاوز محدودية الرؤية التقليدية التي تعتمد على وحدات صلبة ومنفصلة.

ثانياً: التحليل اللوني والتقني (المخرج المادي)

السيولة اللونية والتنوع الكروماتيكي: تبرز العينة قدرة "التفعيل المزدوج" على معالجة باليتة لونية واسعة (الأزرق، البرتقالي، الأحمر، الرمادي، الأسود) في مساحة واحدة. الطباعة الرقمية نجحت في الحفاظ على "نقاء اللون" دون اختلاط غير مرغوب عند الحواف، مما يعزز المظهر الحداثي للتصميم.

العمق البصري عبر "التظليل الذكي": استخدم الذكاء الاصطناعي درجات متباينة من نفس اللون داخل الوحدة الواحدة لإعطاء إيحاء بالطي أو البروز، وهو ما جسدته الطباعة الرقمية بدقة عالية، مما منح القماش بعداً ثالثاً يرفع من قيمته كمنتج نسيجي متميز.

ثالثاً: التقييم العام

التميز التصميمي: يتحقق في هذه العينة من خلال "العصرنة الرقمية"؛ حيث تحول النمط الهندسي الكلاسيكي إلى لغة بصرية تكنولوجية تناسب اتجاهات الموضة والديكور المعاصرة.

تجاوز المحدودية البصرية: أثبتت العينة أن الازدواج التقني يتيح للمصمم إنتاج أقمشة "تفاعلية بصرياً"، حيث يتغير إدراك التصميم بناءً على زاوية الرؤية أو المسافة، وهذا يمثل قمة "التميز" في الأقمشة المعاصرة التي تهدف إلى إبهار المستهلك.

العينة (٤)

الهندسة الكسورية والبروز البصري

توصيف أولي للعينة: يظهر تصميم نسيجي يعتمد على أسلوب المولد خوارزمياً، حيث تتقاطع المثلثات والأشكال الهندسية الحادة لتشكيل بنية بصرية توحي بالبروز والطي. يعكس التصميم التفعيل المزدوج في أرقى صوره من خلال تحويل السطح المستوي إلى مساحة ذات أبعاد إيهامية معقدة.

أولاً: التحليل المورفولوجي والجمالي (المدخل الذكي)

- **تجاوز المحدودية عبر "النمذجة الرياضية:**"يظهر تميز الذكاء الاصطناعي هنا في حساب "زوايا السقوط" والظلال لكل مثلث بشكل آلي. هذا البناء الرياضي المعقد يخلق "تميزاً تصميمياً" يكسر رتابة الأشكال الهندسية التقليدية، محولاً القماش إلى ما يشبه الواجهات المعمارية الحديثة.
- **الديناميكية البصرية:** نلحظ أن التصميم يرفض السكون؛ فكل وحدة هندسية تبدو وكأنها في حالة حركة أو انبثاق. هذا النوع من "التميز" يحققه التفعيل المزدوج الذي يجمع بين خيال المصمم وقدرة الآلة على معالجة التكرار اللانمطي.

ثانياً: التحليل اللوني والتقني (المخرج المادي)

- **الظلال الرقمية المتدرجة:** السر في "التميز التقني" لهذه العينة يكمن في دقة الطباعة الرقمية في نقل التدرجات اللونية داخل المثلثات الصغيرة جداً. نرى كيف ينتقل اللون من الأزرق القاتم إلى الفاتح لخلق إيحاء بالظل(Shadow) ، مما يعطي "عمقاً بصرياً " يجعل المشاهد يشعر برغبة في لمس "البروزات" الوهمية على سطح القماش.
- **نقاء الألوان الكروماتيكية:** استخدام الألوان الأساسية (الأصفر، الأحمر) مع مشتقات الفيروزي والرمادي تم بتوازن لوني دقيق. الطباعة الرقمية بنظام النفث الحبري ضمنت عدم تداخل هذه الألوان الحادة عند "نقاط الالتقاء". وهو ما يحافظ على حدة التصميم المطلوبة في هذا النمط الفني.

ثالثاً: التقييم العام

١- **التميز التصميمي:** يتحقق التميز هنا في قدرة التصميم على "خداع العين "، حيث يتحول القماش من مادة لينة إلى مادة تبدو ذات "صلابة هيكلية". هذا التحول هو جوهر "التميز" الذي يبحث عنه المصمم المعاصر في الأقمشة المبتكرة.

٢- **تجاوز الرؤية التقليدية:** أثبتت العينة أن الازدواج التقني يتيح الانتقال من "زخرفة القماش" إلى "بناء شخصية القماش"، حيث يصبح التصميم جزءاً بنيوياً من الهوية البصرية للمنتج النسيجي، متجاوزاً بذلك قدرة برامج التصميم اليدوية المحدودة.

الفصل الرابع : النتائج و الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: نتائج البحث

من خلال التحليل الوصفي والتجريبي للعينات المعتمدة على التفعيل المزدوج، توصل البحث إلى النتائج الآتية:

١. **تحقيق التميز عبر "السيولة البصرية"**: أثبت البحث أن دمج الذكاء الاصطناعي مع الطباعة الرقمية سمح بإنتاج أقمشة تتميز بـ "السيولة(Fluidity) "، حيث تلاشت الحدود النمطية بين الوحدات الزخرفية، مما خلق تكوينات مستمرة لا يمكن تحقيقها بالوسائط التقليدية.

٢. **تجاوز المحدودية في "التعقيد الكسوري:**"كشفت النتائج عن قدرة التفعيل المزدوج على صياغة تفاصيل مجهرية (Fractals) بالغة التعقيد، حيث قامت الخوارزميات ببناء تفاصيل هندسية وعضوية دقيقة، بينما نجحت الطباعة الرقمية في تجسيدها بدقة عالية.

٣. **الارتقاء بالقيم الجمالية للون** :أظهرت العينات نجاحاً فائقاً في تحقيق "التدرج اللوني الرقمي" ، حيث وفرت الطباعة الرقمية ملايين الدرجات اللونية التي اقترحها الذكاء الاصطناعي، مما منح الأقمشة عمقاً بصرياً يحاكي الأبعاد الثلاثية.

٤. **التفرّد والـلا تكرارية** :أثبت البحث أن التفعيل المزدوج يدعم مفهوم "القطعة الواحدة " (Unique Piece)حتى في الإنتاج المتصل، حيث تتيح الخوارزميات توليد تنويعات شكلية مستمرة على طول لفة القماش دون الحاجة لتكرار النمط.

ثانياً: استنتاجات البحث

بناءً على النتائج السابقة، يمكن استخلاص الآتي:

- **تحول دور المصمم:** لم يعد المصمم مجرد "منفذ" للأشكال، بل أصبح "موصفاً وموجهاً" للأنظمة الذكية، مما يفتح آفاقاً جديدة للإبداع البشري المدعوم تقنياً.
- **التميز كضرورة تنافسية** :التميز التصميمي في الأقمشة المعاصرة لم يعد ترفاً جمالياً، بل أصبح نتيجة حتمية لـ "الازدواج التقني" الذي يمنح المنتج ميزة تنافسية وندرة فنية في ظل الإنتاج الضخم.
- **كسر حاجز المادة** :استطاع التفعيل المزدوج "أنسنة التقنية"، حيث حول المخرجات الرقمية الجافة إلى تكوينات بصرية مشحونة بالقيم الجمالية والتراثية (كما ظهر في تحليل العينات التي استلهمت التراث المعماري).

ثالثاً: توصيات البحث

في ضوء ما توصل إليه البحث من نتائج، يوصي الباحث بالآتي:

١. **على المستوى الأكاديمي:** ضرورة إدراج مساقات تعليمية متخصصة في كليات الفنون والتصميم تجمع بين "برمجة الذكاء الاصطناعي" و"تكنولوجيا الطباعة الرقمية" لإعداد جيل من المصممين القادرين على ريادة المستقبل.

٢. **على المستوى الصناعي:** دعوة مصانع المنسوجات إلى تبني "أنظمة التفعيل المزدوج" في خطوط إنتاجها لتقليل الهدر التصميمي وزيادة القيمة المضافة للمنتج النسيجي من خلال "التفرد."

٣. **على مستوى البحث العلمي:** إجراء المزيد من البحوث حول "أخلاقيات التصميم بالذكاء الاصطناعي" وحقوق الملكية الفكرية للتصاميم المولدة خوارزمياً في مجال المنسوجات.

٤. **توصية تقنية:** الاهتمام بتطوير أحبار رقمية وخامات نسيجية مستدامة تتوافق مع التعقيد اللوني الفائق الذي يفرضه الذكاء الاصطناعي لضمان أعلى معايير الجودة والاستدامة.

الملاحق

استمارة تحليل العينات

رقم العينة	
نوع الخامة المستخدم	
تقنية الذكاء الاصطناعي المستخدمة	
تقنية الطباعة	
التميز التصميمي	
التعقيد البصري و مدى احتواء التصميم على تفاصيل هندسية أو عضوية دقيقة ومعقدة	
مدى الانسابية في العناصر وتداخلها بشكل يكسر الجمود التقليدي.	
الابتكار وقدرة التصميم على إظهار أنماط متكررة ذاتياً بعمق رقمي.	
التفرد و خلو التصميم من النمطية والتشابه مع النماذج التقليدية الجاهزة	
الكفاءة التقنية والتجسيد (المخرج المادي)	
الدقة وضوح التفاصيل الدقيقة جداً بعد عملية الطباعة على القماش.	
التدرج اللوني و الانتقال بين الألوان دون ظهور فواصل	
التطابق الرقمي المادي و مدى نجاح الطباعة في نقل خيال الذكاء الاصطناعي للواقع.	
العمق البصري وقدرة الازدواج التقني على إعطاء إيحاء بالتجسيم والملمس.	
اللا تكرارية و نجاح العينة في تقديم تصميم مستمر دون فواصل نمطية.	

المصادر:

١- سليمان، أحمد؛ والشرقاوي، هدى تطبيقات الذكاء الاصطناعي في المنسوجات المعاصرة. المجلة الدولية للتصميم الرقمي، المجلد (٦)، العدد (١). ٢٠٢٥.

٢- عبد العزيز، هند؛ والشناوي، محمد. التكنولوجيا الذكية واتجاهات التصميم في العصر الرقمي. المجلة الدولية للتصميم وعمارة البيئة، المجلد (٤)، العدد (٢). ٢٠٢٣

٣- ماهر، أحمد. التصميم الرقمي والذكاء الاصطناعي. رؤى مستقبلية في صناعة المنسوجات .دار الفكر العربي، القاهرة . ٢٠٢٢

٤- النجار، سمير. فلسفة التصميم الرقمي في عصر الذكاء الاصطناعي .دار النهضة العربية،٢٠٢٤ .

١ Brown, K. (٢٠٢٣). Artificial intelligence in textile design: A new era of creativity and efficiency. Journal of Textile Innovation.

٢ Chen, L., & Lee, J. (٢٠٢٢). AI-driven pattern generation for textile design: A deep learning approach. International Journal of Fashion and Textile Research.

٣ Ellen MacArthur Foundation. (٢٠٢٤). The new textiles economy: Redesigning fashion's future. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/fashion

٤ European Environment Agency. (٢٠٢٣). Sustainable printing techniques for textiles: A review of environmental impacts and best practices. Report No. ٠٥/٢٠٢٣. Retrieved from

٥ Hassan, M., & Roberts, J. The Fusion of AI Graphics and Digital Textile Synthesis. Global Design Press. (٢٠٢٦)

٦ Johnson, A. (٢٠٢٤). ٣D printing on fabrics: Innovations and applications in smart textiles. Advanced Materials Science.

٧ *Kemp, R. (٢٠٢١). Digital Textile Printing: Revolutionizing the Fashion and Home Furnishing Industries. Woodhead Publishing.*

٨ *Kumar, S., & Sharma, P. (٢٠٢٢). Towards circular economy in textile industry: Role of sustainable materials and recycling technologies. Journal of Cleaner Production.*

٩ *Liu, Y., Wang, X., & Chen, S. (٢٠٢٢). ٣D Printing in Textile and Fashion Design: Opportunities and Challenges. Fashion & Textiles.*

١٠ *Smith, J. (٢٠٢٣). Digital printing technologies for textiles: A comprehensive overview of current trends and future directions. Textile Research Journal.*

١١ *Textile Exchange. (٢٠٢٣). Preferred Fiber & Materials Market Report ٢٠٢٣. Retrieved from https://textileexchange.org/*

١٢ *Textile Exchange. (٢٠٢٣). Preferred Fiber & Materials Market Report ٢٠٢٣. [Online Report].*

١٣ *Textile World. (٢٠٢٠). The water-saving potential of digital textile printing. https://www.textileworld.com/*

١٤ *UN Alliance for Sustainable Fashion. (٢٠٢٢). The environmental impact of the fashion industry. Retrieved from https://unfashionalliance.org/*

١٥ *Wang, L., & Kim, Y. (٢٠٢٣). AI-Powered Textile Design: A Review of Current Applications and Future Trends. Journal of Fashion Technology & Textile Engineering.*

١٦ *Wang, Z., Li, J., & Zhang, Y. (٢٠٢٣). Advances in ٣D printing for functional textiles. Composites Part B: Engineering, ٢٦٠, ١١٠٧٩٣.*

١٧ *Zhang, H., & Li, R. (٢٠٢١). Impact of Digital Textile Printing on Sustainable Fashion: A Supply Chain Perspective. Journal of Sustainable Production and Consumption.*