international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

تطوير وتقييم نظام ذكي لفحص عيوب الأقمشة في صناعة الملابس الجاهزة

Development and Evaluation of an AI-Based Fabric Defect Inspection System for the Ready-Made Garment Industry

أ.د./ ياسر محمد عيد
أستاذ القياسات ومراقبة الجودة، قسم الملابس الجاهزة، جامعة العاصمة، مصر، YasseEid@a-arts.helwan.edu.eg
أ.د./ محمد البدري عبدالكريم
أستاذ الآلات، قسم الملابس الجاهزة، جامعة العاصمة، مصر، mbadry771997@gmail.com
أروى محمد السيد المغني
باحثة ماجستير، قسم الملابس الجاهزة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة العاصمة، مصر، arwaalmughanny98@gmail.com

ملخص البحث

يستهدف البحث تصميم نظام قائم على الذكاء الاصطناعي لدعم فحص عيوب الأقمشة بعد الفرد وقبل القص في مصانع الملابس الجاهزة، مع تقييم أولي لطريقة استجابته لأنماط مختلفة من المدخلات. اتبع البحث منهجًا تطبيقيًا تطويريًا مدعومًا بالوصف والتحليل؛ فطُوّر نظام ويب/تطبيق ويب تقدمي يستقبل صورة القماش، ويتحقق من صلاحية المدخل، ثم يصنفه إلى قماش سليم أو معيب أو محتوى غير قماشي، ويولّد وصفًا نصيًا لنوع العيب وموضعه التقريبي. استند إعداد بيانات الاختبار إلى صور من قاعدة TILDA وصور حقيقية قريبة من سياق الاستخدام، بينما اقتصر التقييم الموثق على ثماني حالات: حالتين لقماش سليم، وأربع حالات لعيوب هيكلية ولونية وسطحية، وحالتين لمدخلات غير قماشية. لم يظهر في هذه الحالات خطأ واضح في قرار التصنيف الأساسي؛ فحافظ النظام على حكم السلامة للعينتين السليمتين، ووصف الثقب والتآكل والتمزق والتغير اللوني والتلطخ والبقع، ورفض صورتي الشعار والطائر. كما أضاف الوصف النصي قيمة تفسيرية، لكنه تفاوت في مستوى التفصيل، وظل تحديد الموقع لغويًا وتقريبيًا، ولم تتوافر مقاييس كمية للدقة أو الاستدعاء أو زمن الاستجابة. وتخلص الدراسة إلى أن النظام يقدم إثباتًا أوليًا ومحدود النطاق لإمكان دمج التحقق والتصنيف والوصف داخل أداة مساندة للفاحص قبل القص، دون أن تمثل النتائج دليلًا على الجاهزية الصناعية أو بديلًا عن المراجعة البشرية. ويوصى بتوسيع الاختبار، وإضافة تحديد بصري للعيب ونسبة ثقة، وإجراء تقييم ميداني كمي داخل خطوط الإنتاج.

كلمات دالة

الذكاء الاصطناعي، فحص الأقمشة، عيوب الأقمشة، مراقبة الجودة، مرحلة ما قبل القص

Artificial intelligence, fabric inspection, fabric defects, quality control, pre-cutting inspection

Paper received July 2, 2026, Accepted August 24, 2026, Published on line November 1, 2026

المقدمة: Introduction

تمثل جودة القماش المدخل نقطة حاكمة في سلسلة صناعة الملابس الجاهزة؛ فالعيب الذي لا يُكتشف قبل القص قد ينتقل إلى الخياطة والتشطيب، فتزداد كلفة التعامل معه ويضيق مجال الاستفادة من الجزء المعيب. وفي مرحلة الفرد تحديدًا يعتمد القرار في كثير من البيئات الإنتاجية على الفحص البصري البشري، وهو فحص تتأثر نتائجه بالخبرة والانتباه والإجهاد وتكرار المهمة. وقد أظهرت دراسة العوامل البشرية في فحص المنسوجات أن الأداء البصري لا ينفصل عن خصائص المفتش وظروف العمل، بما يفسر الحاجة إلى أدوات مساندة تقلل التفاوت ولا تلغي الخبرة المهنية. (Ramzan et al., 2022).

منذ بدايات الرؤية الحاسوبية الصناعية، طُورت طرق بنيوية وإحصائية وطيفية ثم طرائق قائمة على التعلم الآلي والتعلم العميق للكشف عن عيوب الأسطح النسيجية. وتبين المراجعات المتخصصة أن تنوع بنية القماش والألوان والأنماط والإضاءة والحركة يجعل الوصول إلى طريقة واحدة صالحة لجميع الخامات والعيوب أمرًا صعبًا، كما يظل الانتقال من البيانات المضبوطة إلى خط الإنتاج تحديًا قائمًا (Kumar, 2008; Ngan et al., 2011; Hanbay et al., 2016). وأكدت المراجعات الأحدث أن نجاح الشبكات العميقة لا يرتبط بالمعمارية فقط، بل بجودة البيانات وتنوعها وطريقة التقييم وإمكان تفسير المخرج. (Li et al., 2021; Kahraman & Durmuşoğlu, 2023).

تقدم الأدبيات السابقة نماذج متخصصة تحقق الكشف أو التصنيف أو تحديد موضع العيب، إلا أن الاستخدام الميداني يتطلب أيضًا التحقق من صلاحية المدخل، وعرض نتيجة مفهومة، وربط المخرج بسير عمل يمكن للفاحص مراجعته. ومن هنا يركز هذا البحث على مستوى النظام التطبيقي المتكامل، لا على ادعاء تطوير خوارزمية جديدة أو التفوق العددي على نماذج منشورة. وتتمثل الفكرة في دمج تحليل الصور متعدد الوسائط داخل نظام ويب موجه إلى فحص القماش بعد الفرد وقبل القص، بحيث يصدر حكمًا أوليًا مفسرًا ويظل القرار النهائي لمختص الجودة.

مشكلة البحث Research Problem

تتمثل المشكلة في اعتماد فحص الأقمشة قبل القص على الملاحظة البشرية وحدها في سياقات تشغيلية قد تتسم بالسرعة والتكرار وتغير ظروف التصوير، إلى جانب ضعف التوثيق المنظم للنتيجة. ويترتب على ذلك احتمال التفاوت بين الفاحصين أو مرور عيب دقيق إلى مرحلة لاحقة. وينطلق البحث من التساؤل الآتي: إلى أي مدى يمكن لنظام قائم على الذكاء الاصطناعي أن يدمج التحقق من المدخل، والتمييز الأولي بين القماش السليم والمعيب، ووصف نوع العيب وموضعه التقريبي، في أداة مساندة قابلة للاستخدام قبل القص؟

أهداف البحث Research Objectives

- تصميم نظام تطبيقي يستقبل صورة القماش ويصنفها إلى قماش سليم أو معيب أو محتوى غير قماشي.
- تقديم وصف نصي يشرح نوع العيب وموضعه التقريبي بدل الاكتفاء بحكم تصنيفي مجرد.

Citation: Yasser Eid, et al. (2026), Development and Evaluation of an AI-Based Fabric Defect Inspection System for the Ready-Made Garment Industry, International Design Journal, Vol. 16 No. 6, (November 2026) pp 99-105

- تقييم الاستجابة الأولية للنظام على حالات تمثل السلامة والعيوب الهيكلية واللونية والمدخلات غير القماشية.
- تحديد مستوى الدليل الذي توفره الحالات الموثقة، والفصل بين الوظائف المختبرة والوظائف المعلنة في التصميم.
- اقتراح مسارات تطوير وقياس تمهد لاختبار ميداني أوسع داخل مصانع الملابس الجاهزة.

أهمية البحث: Research Significance

- تنبع الأهمية التطبيقية من وضع الأداة في نقطة تسبق القص، حيث يظل من الممكن إعادة فحص الجزء المشتبه فيه أو استبعاده قبل إضافة تكاليف تشغيل لاحقة. أما الأهمية العلمية فتتمثل في اختبار صياغة نظامية تجمع وظائف عادة ما تُناقش منفصلة: التحقق من طبيعة المحتوى، والتصنيف، والوصف النصي، ثم تهيئة المخرج للتوثيق. ويساعد هذا الفصل بين الوظائف ومستويات الدليل على تقييم النظام بموضوعية، دون تحويل وجود واجهة أو خاصية مصممة إلى نتيجة تجريبية لم تُقَس.

منهج البحث: Research Methodology

- اتبع البحث منهجًا تطبيقيًا تطويريًا في بناء النظام، مع استخدام الوصف والتحليل في تقييم مخرجاته. ولم يُصمم التقييم بوصفه تجربة إحصائية تقارن خوارزميات متعددة، بل كتقييم أولي موثق لحالات استخدام متنوعة. لذلك تُعرض النتائج على مستوى ما حدث في الحالات الثماني، ولا تُحوّل إلى نسب دقة أو استدعاء أو معدلات خطأ في غياب عينة كمية موثقة تكفي لحسابها.

الإطار النظري: Theoretical Framework

الفحص البصري وموقعه في مراقبة جودة الأقمشة

يقوم فحص القماش قبل القص على البحث عن تغيرات لا تنتمي إلى البنية أو اللون أو المظهر المتوقع للخامة. وقد يكون العيب موضعيًا دقيقًا مثل الثقب، أو ممتدًا مثل التآكل والتمزق، أو لونيًا وسطحيًا مثل التلطخ والاصفرار. ويزداد تعقيد الفحص حين تكون الخامة مزخرفة أو مخططة أو ذات ملمس غير منتظم؛ لأن النظام أو الفاحص مطالب بالتمييز بين السمة الطبيعية للنسيج وبين الخلل الفعلي. لذلك لا يكفي الحكم الثنائي وحده في البيئة التطبيقية، بل يحتاج المستخدم إلى تفسير يوضح لماذا اعتُبرت الصورة سليمة أو معيبة وما الجزء الذي يستدعي المراجعة.

يتميز الفاحص البشري بالقدرة على ربط المظهر بسياق الخامة والإنتاج واتخاذ قرار مرن، لكنه يعمل داخل مهمة بصرية متكررة تتأثر بعوامل شخصية وذهنية وتنظيمية. وقد بين Ramzan et al. (2022) أن مهارة الفحص البصري ترتبط بمجموعة مترابطة من العوامل البشرية، بما يجعل توحيد الأداء تحديًا إداريًا وتقنيًا في الوقت نفسه. ومن ثم فإن الهدف الواقعي للأتمتة في هذه المرحلة ليس إلغاء دور الفاحص، وإنما تقديم رأي تحليلي ثانٍ يمكنه مراجعته قبل اتخاذ قرار القص أو الاستبعاد.

تطور الكشف الآلي عن عيوب الأقمشة

صنفت المراجعات المبكرة طرائق الكشف الآلي إلى مجموعات تعتمد على الخصائص البنيوية والإحصائية والطيفية ونماذج المحاكاة، ثم توسع المجال مع التعلم الآلي والتعلم العميق. وأوضحت مراجعة Kumar (2008) أن تنوع فئات العيوب وغموض حدودها يجعل توصيف سطح القماش مهمة معقدة، بينما فرّق Ngan et al. (2011) بين معالجة الأقمشة ذات الزخارف المتكررة والأقمشة غير المزخرفة، لأن النمط نفسه قد يحجب العيب أو يشبهه. وتؤكد هذه المراجعات أن اختيار أسلوب التحليل مرتبط ببنية القماش ونوع العيب وظروف التقاط الصورة.

ومع انتشار التعلم العميق، انتقل الاهتمام من تصميم الخصائص يدويًا إلى تعلمها من البيانات، وظهرت نماذج للتصنيف والكشف الموضعي والتجزئة. غير أن المراجعات المنهجية لم تعتبر ارتفاع نتائج بعض النماذج حلًا نهائيًا للمشكلة؛ إذ ظل اختلاف قواعد البيانات، وعدم توازن الفئات، وتنوع الإضاءة والخامات، والانتقال من الصور المختبرية إلى ظروف المصنع من أبرز القيود (Hanbay et al., 2016; Li et al., 2021; Kahraman & Durmuşoğlu, 2023). لذلك يجب تفسير أي نتيجة في حدود مجموعة الاختبار وطريقة القياس، لا بوصفها حكمًا مطلقًا على جميع الأقمشة.

تمثل قواعد البيانات المرجعية عنصرًا أساسيًا في المقارنة العلمية. فقاعدة TILDA تضم ثمانية أنواع تمثيلية من المنسوجات وسبع فئات للعيوب إلى جانب فئة مرجعية سليمة، وبواقع خمسين صورة لكل فئة ونوع نسيجي، أي 3200 صورة في القاعدة الكاملة (University of Freiburg, 1996). كما قدمت أعمال لاحقة قواعد عامة تستهدف توحيد الاختبار وإتاحة مقارنة أكثر عدلًا بين الطرائق (Silvestre-Blanes et al., 2019). ومع ذلك، لا تُغني البيانات المرجعية عن صور واقعية قريبة من بيئة الاستخدام؛ لأن زاوية الالتقاط والخلفية والشد والانثناء قد تختلف عما هو متاح في القواعد المضبوطة.

الفجوة البحثية وموقع الدراسة الحالية

يركز جزء كبير من الأدبيات على أداء خوارزمية محددة داخل تجربة مضبوطة، في حين يحتاج الاستخدام الفعلي إلى مسار أشمل يبدأ من قبول الصورة والتحقق من طبيعة محتواها، ثم تصنيف القماش ووصف العيب، وينتهي بعرض نتيجة مفهومة قابلة للمراجعة. كما أن الاقتصار على فئة «سليم/معيب» قد لا يكفي لتوجيه الفاحص إلى المظهر الذي استند إليه الحكم، بينما قد يؤدي غياب التحقق من المحتوى إلى إجبار النظام على تصنيف صورة لا تمثل قماشًا من الأساس.

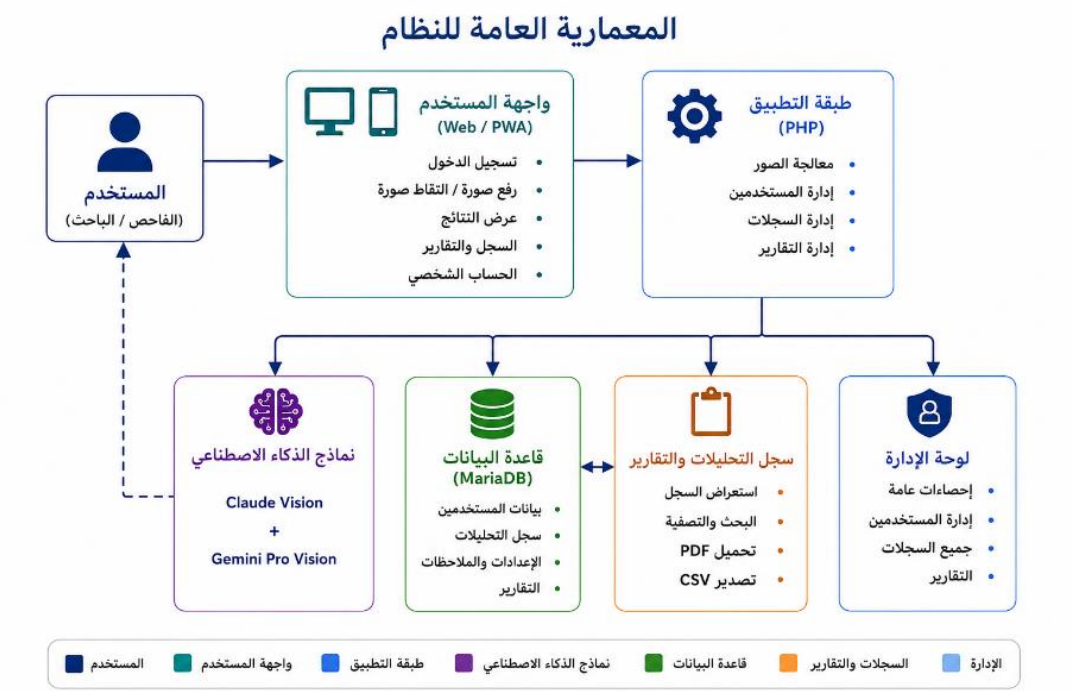
تتمثل مساهمة الدراسة الحالية في تصميم هذا المسار المتكامل واختبار استجابته الأولية عبر فروع إدخال متنوعة، مع استخدام وصف نصي يفسر المظهر المرصود وموضعه التقريبي. ولا تقدم الدراسة خوارزمية كشف جديدة ولا مقارنة معيارية مع النماذج المنشورة؛ بل تفحص إمكان تشغيل الفكرة داخل أداة ويب مساندة وتحدد بوضوح ما اختُبر بالفعل وما بقي وظيفة تصميمية أو أثرًا متوقعًا يحتاج إلى قياس لاحق.

بناء النظام المقترح ومعماريته:

طُورت طبقة التطبيق باستخدام PHP Native وJavaScript، واستخدمت MariaDB لحفظ بيانات الحسابات وسجلات التحليل. وتعمل الواجهة عبر المتصفح، مع إتاحة تثبيتها كتطبيق ويب تقدمي (PWA). ويستقبل مكون الذكاء الاصطناعي متعدد الوسائط صورة القماش ويعيد مخرجًا نصيًا يتضمن حالة المدخل، ونوع العيب عند وجوده، وموضعه التقريبي. ولا تعرض النسخة الحالية إطارًا بصريًا محيطًا بالعيب أو نسبة ثقة رقمية؛ ومن ثم يظل تحديد الموضع لغويًا ويحتاج إلى مراجعة المستخدم.

تتكون المعمارية المفاهيمية من واجهة مستخدم على الويب أو الهاتف، وطبقة تطبيق تدير التحقق الفني وتدفق البيانات، ومكون ذكاء اصطناعي متعدد الوسائط يحلل الصورة، وقاعدة بيانات تحفظ بيانات الحسابات وسجلات التحليل، ولوحة إدارة تتيح المتابعة العامة. ويحقق فصل هذه المكونات إمكان تطوير واجهة الاستخدام أو مكون التحليل لاحقًا دون إعادة بناء بقية الوظائف بالكامل. ويعرض شكل (1) العلاقات الأساسية بين هذه المكونات، بوصفها بنية تصميمية للنظام لا نتيجة لقياس أدائه.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.



شكل (1): المعمارية العامة للنظام المقترح ومكوناته الرئيسة

يبدأ المسار التشغيلي بتسجيل الدخول وإدخال صورة واحدة أو أكثر، ثم التحقق من صيغة الملف وحجمه قبل إرسال الصورة إلى مكون التحليل. ويأتي التحقق من كون المدخل قماشًا قبل التمييز بين القماش السليم والمعيب؛ وبذلك لا تُدفع الصور غير المرتبطة بالقماش إلى فرع تصنيف غير ملائم. وإذا كان القماش معيبًا يعرض النظام نوع العيب ووصفه وموقعه التقريبي، ثم يتيح للمستخدم تنزيل المخرج والرجوع إليه عبر السجل. ويوضح شكل (2) هذا التسلسل الوظيفي، بينما يبين جدول (1) مستوى الدليل المتاح لكل مرحلة.



شكل (2): التسلسل الوظيفي لتحليل صورة القماش داخل النظام

جدول (1): مراحل النظام ومستوى الدليل المتاح لكل مرحلة

المرحلة	الوظيفة	الوصف	مستوى الدليل
1	إدخال الصورة	رفع صورة من الجهاز أو التقاطها بالكاميرا.	وظيفة تشغيلية موثقة.
2	التحقق الفني	فحص صيغة الملف وحجمه قبل الإرسال.	جزء من المسار التشغيلي.
3	التحقق من المحتوى	تمييز القماش من المحتوى غير القماشي.	اختُبر في حالتي الشعار والطائر.
4	تصنيف القماش	سليم أو معيب.	اختُبر في ست حالات قماشية.
5	الوصف النصي	وصف نوع العيب وموقعه التقريبي ومظاهره.	اختُبر حتى مرحلة عرض النتيجة.
6	الحفظ والتقرير	ربط الصورة بالنتيجة والتاريخ وإتاحة تقرير.	موثق تصميميًا ولم يُختبر حالة بحالة.

بيانات التطوير والاختبار:

جُمعت مواد التطوير والتقييم من مصدرين: قاعدة TILDA المرجعية وصور حقيقية ملتقطة في ظروف أقرب إلى الاستخدام. وتضم TILDA ثمانية أنواع نسيجية وفئات مرجعية من العيوب والصور السليمة، وقد طُورت أصلًا لتقييم طرائق الفحص البصري الآلي (University of Freiburg, 1996). ويدعم الجمع بين البيانات المرجعية والصور الواقعية تقليل الارتباط بنمط تصوير واحد، وهو اعتبار تؤكده الأدبيات الخاصة بقواعد بيانات عيوب الأقمشة (Silvestre-Blanes et al., 2019). كما فُصلت الصور المستخدمة أثناء التطوير عن الصور المخصصة للتقييم. إلا أن الدراسة لا تقدم عددًا موثقًا لحجم كل مجموعة أو نسبة التقسيم؛ لذا يُقصر الحكم على الحالات الثماني المعروضة ولا يُدّعى تمثيلها الإحصائي لجميع ظروف المصنع.

اشتمل التقييم الموثق على حالتين لقماش سليم مختلفتي النمط واللون، وحالتين لعيوب هيكلية، وحالتين لعيوب لونية أو سطحية، وحالتين لمحتوى غير قماشي. وراعى اختيار الصور تنوعًا نسبيًا في النمط واللون والإضاءة وزاوية الالتقاط، دون اختبار خامات لامعة أو أقمشة مرنة تحت درجات شد مختلفة أو حركة رول مصنعية فعلية.

تصميم حالات التقييم:

نُظمت الحالات الثماني في أربع مجموعات وظيفية متوازنة من حيث غرض الاختبار: حالتان للتحقق من عدم إصدار إنذار كاذب على قماش سليم مختلف النمط واللون؛ حالتان لعيوب هيكلية متفاوتة الامتداد؛ حالتان لعيوب لونية أو سطحية، إحداهما ذات مظهر واحد واسع والأخرى مركبة؛ وحالتان لاختبار رفض المحتوى غير القماشي، إحداهما رسومية منظمة والأخرى فوتوغرافية طبيعية.

ويتيح هذا التنظيم قراءة سلوك فروع النظام الأساسية، لكنه لا يمثل تصميم عينة إحصائية ولا يغطي التدرجات الممكنة داخل كل فئة.

تم اختيار صور السليم بحيث يظهر في إحداها نقش تطريزي واضح وفي الأخرى نمط مخطط مع انثناءات طبيعية، لأن هذه الخصائص قد تُلتبس على نظام غير قادر على الفصل بين بنية القماش والعيب. وتمثلت العيوب الهيكلية في ثقب صغير وتهتك ممتد، بينما مثلت العيوب غير الهيكلية تغيرًا لونيًا وحالة ضمت التلطخ والاصفرار والبقع الصبغية وتشقق الطباعة. ولا يثبت هذا التنوع تغطية فئات العيوب جميعها، لكنه يتيح وصفًا أوليًا لاستجابة النظام أمام مظاهر متباينة.

إجراء التقييم ومعايير القراءة:

أُدخلت كل صورة إلى النظام، ثم قورنت الاستجابة بالفئة المعروفة للحالة. وشملت معايير القراءة: سلامة القرار الأساسي، وملاءمة وصف نوع العيب، وقدرة النظام على رفض المحتوى غير القماشي، ومدى وضوح المخرج النصي واتساقه. كما فُصل بين الرصد البصري المباشر—كوجود ثقب أو بقعة—وبين تفسير سبب محتمل، مثل نسبة تغير اللون إلى مادة مبيضة، لأن السبب الكيميائي لا يثبت من الصورة وحدها. ولم تُقَس السرعة أو سهولة الاستخدام أو أثر النظام في الهدر والكلفة.

اقتصر الحكم على المخرج الظاهر لكل حالة: فئة القرار، وملاءمة المصطلحات المستخدمة لوصف العيب، ووضوح الموضع التقريبي، وقدرة فرع التحقق على رفض المدخلات غير القماشية. ولم تُعامل الوظائف التصميمية الأخرى مثل الحفظ والتقرير باعتبارها نتائج تجريبية إلا في حدود ظهورها في الواجهة؛ إذ لم يُنفذ لها بروتوكول تحقق مستقل يتتبع اكتمال البيانات بعد الحفظ والاسترجاع.

النتائج: Results

جدول (2): ملخص استجابات النظام في حالات التقييم الثماني

الحالة	نوع المدخل	مخرج النظام	القرار
1	قماش سليم مزخرف	سليم تمامًا، دون وصف تفصيلي.	قبول
2	قماش سليم مخطط	سليم، مع تمييز الانثناء الطبيعي عن العيب.	قبول
3	عيب هيكلي موضعي	ثقب صغير مع وصف لموضعه التقريبي.	معيب
4	عيب هيكلي ممتد	تآكل وتهتك وتمزق وخيوط منسلة.	معيب
5	تغير لوني	تغير لوني واسع مع سبب كيميائي محتمل.	معيب
6	عيوب سطحية متعددة	تلطخ واصفرار وبقع صبغية وتشقق طباعة.	معيب
7	شعار رسومي	رفض الإدخال لأنه لا يمثل قماشًا.	رفض الإدخال
8	صورة طائر	رفض الإدخال لأنه لا يمثل قماشًا.	رفض الإدخال

التحقق من طبيعة المدخل:

رفض النظام صورتي الشعار والطائر، ولم يحاول إخضاعهما لمنطق القماش السليم أو المعيب. وتدل هاتان الحالتان على عمل فرع التحقق من المحتوى مع نمطين متباينين: محتوى رسومي منظم ومحتوى فوتوغرافي طبيعي. غير أن حالتين لا تكفيان للحكم على جميع الصور غير القماشية، وخصوصًا الصور المختلطة التي يظهر فيها القماش إلى جوار عناصر أخرى أو الصور منخفضة الجودة.

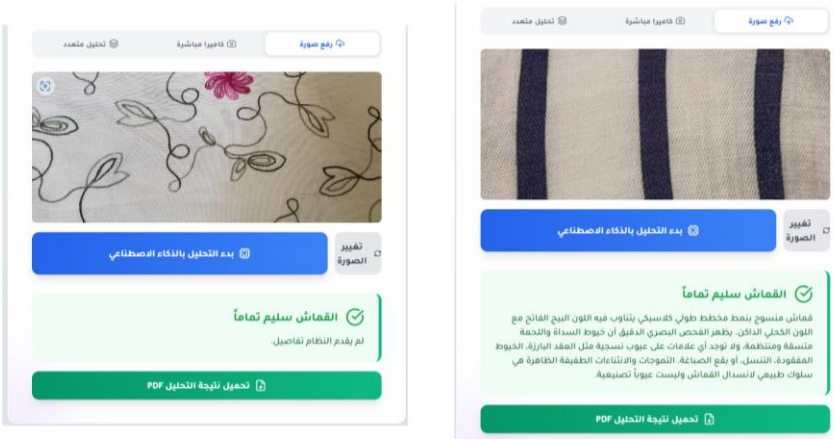
تكتسب هذه الخطوة أهمية لأنها تحمي بقية المسار من نتيجة مضللة؛ فلو انتقلت صورة غير قماشية مباشرة إلى فرع السليم/المعيب، لكان النظام مضطرًا إلى إسناد فئة غير مناسبة إليها. وقد اختلف المدخلان المختبران في طبيعتهما البصرية، ومع ذلك انتهيا إلى قرار الرفض نفسه مع تفسير سبب عدم صلاحية الفحص. ويظل هذا الاستنتاج محدودًا بنمطي الشعار والصورة الطبيعية، ولا يمتد إلى جميع أشكال المحتوى المختلط.

حالتا القماش السليم:

حافظت العينتان السليمتان على حكم السلامة رغم اختلاف اللون والنمط السطحي. وفي الحالة الثانية ميّز الوصف بين تموجات الانسدال الطبيعية وبين العقد أو الخيوط المفقودة والتنسل، بما يشير إلى أن وجود تفاوت بصري لم يؤد تلقائيًا إلى حكم سلبي. وفي المقابل، صُنفت الحالات الأربع المعيبة بوصفها معيبة. ولم يظهر في الحالات الثماني خطأ واضح في القرار الأساسي، لكن هذه العبارة وصف للحالات المعروضة وليست نسبة دقة قابلة للتعميم.

في الحالة الأولى ظهر قماش فاتح مزخرف بخيوط وزهرة ملونة، وأصدر النظام حكم «سليم تمامًا» دون تبرير إضافي. أما الحالة الثانية فكانت لقماش مخطط بالبيج والكحلي مع تموجات ناتجة عن الانسدال؛ وقد أضاف النظام شرحًا يذكر عدم ظهور عقد أو خيوط مفقودة أو تنسل، وفسر الانثناءات بوصفها سلوكًا طبيعيًا للقماش. ويثبت الاختلاف بين المخرجين سلامة القرار في الحالتين، لكنه يكشف أيضًا عدم ثبات مقدار الشرح المقدم للحالات السليمة.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

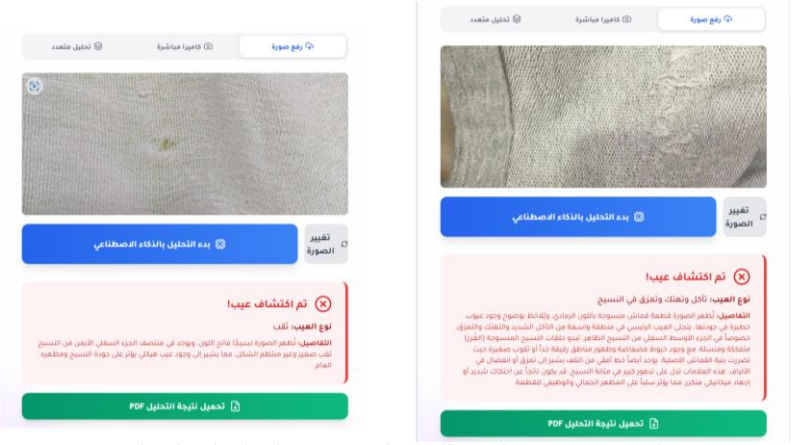


شكل (3): استجابة النظام لحالتي القماش السليم المزخرف والمخطط

حالتا العيوب الهيكلية:

مثلت الحالة الثالثة عيبًا موضعيًا دقيقًا في قماش فاتح، وصنف النظام الصورة معيبة وحدد نوع العيب بوصفه ثقبًا صغيرًا غير منتظم، مع وصف لموضعه التقريبي في الجزء السفلي الأيمن. ويبين هذا المخرج أن النظام لم يكتف برصد اختلاف بصري، بل ربطه بفئة عيب هيكلي وقدم للمستخدم إشارة لغوية إلى مكانه. إلا أن الموقع لم يظهر بإطار محيط أو نقطة محددة، فلا يمكن قياس تطابقه المكاني على مستوى البكسل.

أما الحالة الرابعة فكانت لتلف أكثر امتدادًا في قماش رمادي محبوك، وضم الوصف التآكل والتهتك والتمزق والحلقات المفكوكة والخيوط المنسلة، إلى جانب انفصال ظاهر في البنية. ويعكس المخرج تعدد المظاهر الموجودة داخل الصورة الواحدة بدل اختزالها في كلمة «تمزق» فقط. ومع ذلك، فإن هذه القدرة الوصفية موثقة في حالة واحدة مركبة، ولا تكفي للحكم على اتساق استخدام المصطلحات عبر درجات مختلفة من التلف.

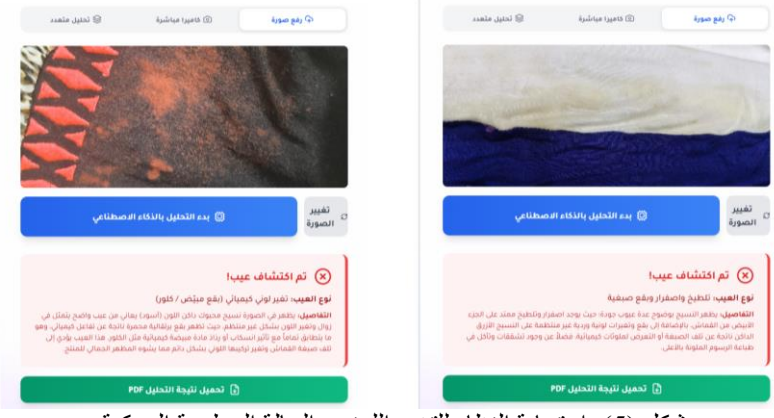


شكل (4): استجابة النظام للثقب الموضعي والتهتك الهيكلي الممتد

حالتا العيوب اللونية والسطحية:

في الحالة الخامسة ظهر تغير واسع في لون قماش داكن مزخرف، فصنفه النظام معيبًا ووصف المظهر بوصفه تغيرًا لونيًا كيميائيًا مرتبطًا ببقع مبيّض أو كلور. ويتفق جزء الوصف الخاص بزوال اللون وعدم انتظامه مع ما يظهر في الصورة، أما إسناد السبب إلى مادة محددة فيبقى فرضية بصرية تحتاج إلى تاريخ تشغيلي أو تحليل مخبري لتأكيدها. ومن ثم ينبغي ألا يعرض النظام السبب المحتمل بنفس درجة يقين المظهر المرصود.

أما الحالة السادسة فجمعت جزءًا أبيض وآخر كحليًا مع تلطخ واصفرار وتغيرات وردية وتشقق في الطباعة. وقد جمع المخرج هذه الملاحظات في وصف واحد، ما يوضح فائدة النص عندما لا يمكن تمثيل الصورة بفئة فرعية واحدة. وفي الوقت نفسه، يحتاج هذا النوع من المخرجات إلى بنية ثابتة تفرق بين نوع العيب الرئيس والمظاهر التابعة له ودرجة انتشار كل منها حتى يسهل مقارنته بين الحالات أو تحويله إلى سجل قابل للتحليل.



شكل (5): استجابة النظام للتغير اللوني والحالة السطحية المركبة

اتساق المخرج النصي وحدوده:
أضاف الوصف النصي أساسًا يمكن للمستخدم مراجعته، ونجح في جمع أكثر من ملاحظة داخل الصورة الواحدة. إلا أن مستوى التفصيل لم يكن متسقًا تمامًا؛ فقد اكتفت الحالة السليمة الأولى بحكم مختصر، بينما تلقت الحالة السليمة الثانية تفسيرًا موسعًا. ولم يتوافر تفسير تقني قاطع لهذا التفاوت. كذلك ظل موضع العيب موصوفًا لغويًا بصورة تقريبية، دون إطار بصري أو خريطة تجزئة أو نسبة ثقة.
وتظهر مقارنة الحالات أن المخرج النصي يؤدي وظيفتين مختلفتين: تفسير سبب الحكم، وتجميع مظاهر العيب داخل وصف قابل للقراءة. وقد كان أكثر فائدة في الحالات المعيبة والمركبة، بينما تفاوت في السليم بين حكم مختصر وتفسير موسع. ويشير ذلك إلى الحاجة إلى قالب إخراج موحد يضمن حدًا أدنى من المعلومات في جميع الفئات، ويمنع الخلط بين الرصد المباشر والسبب المحتمل.
وظائف الحفظ والتقرير:
تتضمن بنية النظام سجلًا خاصًا بالمستخدم وعناصر لعرض الصورة المصغرة ونوع النتيجة وتاريخها ووقتها، إلى جانب خيار تحميل تقرير. وتثبت واجهات النظام وجود هذه الوظائف في التصميم. إلا أن الحالات الثماني لم توثق مطابقة كل نتيجة بسجلها أو اختبار الاسترجاع واكتمال الحقول وسلامة التقرير؛ لذلك لا تُعامل القيمة التوثيقية بوصفها أثرًا تجريبيًا متحققًا.

مناقشة النتائج: Discussion of Results

تتفق النتيجة العامة، على المستوى الوظيفي، مع اتجاه الأدبيات الذي يرى أن الرؤية الحاسوبية قادرة على دعم التفتيش المتكرر وتقليل الاعتماد الكامل على الحكم البشري المتأثر بالتعب والتباين، مع بقاء جودة المدخل وتنوع الخامة عوامل حاسمة (Kumar, 2008; Ramzan et al., 2022). كما يتسق تنوع المظاهر التي وصفها النظام مع ما تعرضه المراجعات من تعدد شديد لفئات العيوب واختلافها بين الاضطراب البنيوي والتغير السطحي واللوني (Ngan et al., 2011; Hanbay et al., 2016).
لكن نوع الدليل في الدراسة الحالية يختلف عن الدراسات التي تقيّم نموذجًا على مجموعة كبيرة وتحسب الدقة والاستدعاء وF1؛ فهنا جرى تقييم مسار تطبيقي متكامل من خلال حالات وصفية. ولذلك لا تسمح النتائج بمقارنة عددية مع نماذج التعلم العميق أو الادعاء بتفوق خوارزمي. وتكمن المساهمة في دمج التحقق من المحتوى والتصنيف والوصف داخل أداة موجهة إلى مرحلة ما قبل القص، وهو مستوى يكمل البحوث الخوارزمية ولا يستبدلها (Li et al., 2021; Kahraman & Durmuşoğlu, 2023).
تؤكد حالتا القماش السليم أن وجود زخرفة أو خطوط أو تموجات لا ينبغي أن يقود آليًا إلى حكم بوجود عيب. وهذه نقطة تطبيقية مهمة لأن جزءًا من صعوبة فحص الأقمشة يعود إلى تشابه بعض الخصائص الطبيعية مع الخلل. غير أن إثبات انخفاض الإنذارات الكاذبة يتطلب عددًا كبيرًا من عينات السليم، موزعًا على خامات وأنماط ومستويات إضاءة مختلفة، وحساب النوعية ومعدل الإيجابيات الكاذبة؛ وهي قياسات لم تتوافر في التقييم الحالي.
ويحمل الوصف النصي قيمة تفسيرية واضحة؛ إذ يستطيع الفاحص مقارنة الحكم بما يراه بدل التعامل مع فئة مجردة. غير أن اللغة قد تنقل أيضًا تفسيرًا يتجاوز ما تثبته الصورة، كما في السبب الكيميائي المحتمل. ولهذا ينبغي تصميم المخرج بحيث يفصل صراحة بين «المظهر المرصود» و«السبب المحتمل»، وأن يظل مختص الجودة صاحب القرار النهائي. ويزداد هذا الاحتياط أهمية في غياب نسبة ثقة وتحديد بصري مباشر.
كما تكشف النتائج أن وجود وظيفة في واجهة النظام لا يساوي اختبار أثرها. فالسجل والتقرير قد يهيئان التوثيق، لكن إثبات سلامة دورة الحفظ والاسترجاع يتطلب تتبعًا لكل حالة ومطابقة الحقول واختبارًا ممتدًا. وبالمثل، فإن ملاءمة موضع الاستخدام قبل القص لا تثبت خفض الهدر أو زمن الفحص من دون مقارنة ميدانية. ويحمي هذا الفصل بين التصميم والنتيجة البحث من تحويل الآثار المتوقعة إلى ادعاءات غير مقاسة.
وبناءً على ذلك، يمكن وصف الدراسة بأنها تقييم أولي على مستوى إثبات تشغيل المسار، لا تقييم صلاحية صناعية. فنجاح الفروع الأساسية في الحالات المعروضة يبرر الانتقال إلى تجربة أوسع، لكنه لا يحدد معدل الأخطاء ولا قدرة النظام على الثبات أمام تكرار الصورة أو تغير جهاز الالتقاط. وتظل قيمة الدراسة في أنها تكشف مبكرًا عناصر القياس المطلوبة للمرحلة التالية: مجموعة اختبار مستقلة، ومقاييس كمية، وتحديد بصري، ونسبة ثقة، واختبار قابلية استخدام وحفظ وتقارير.

حدود الدراسة: Limitations of the study

- اقتصار التقييم الموثق على ثماني حالات وصفية، بما لا يسمح بتحليل إحصائي أو تعميم النتائج.
- عدم توثيق العدد الكلي لصور التطوير والتقييم أو نسب التقسيم بينهما.
- غياب مقاييس الدقة والاستدعاء والنوعية وF1 ومعدلات الخطأ وزمن الاستجابة.
- عدم تنفيذ اختبار ميداني موسع داخل مصنع أو تحت حركة رول وإضاءة وشد متغيرين.
- عدم اختبار خامات لامعة أو نطاق كافٍ من الأقمشة المرنة والأنماط المركبة.
- اعتماد موضع العيب على وصف نصي تقريبي، وعدم إظهار إطار محيط أو نسبة ثقة.
- عدم قياس قابلية الاستخدام أو أثر النظام في قرار الفاحص أو الهدر والكلفة.
- عدم التحقق المستقل من دورة الحفظ والاسترجاع والتقارير لكل حالة من الحالات الثماني.

الخلاصة: Conclusion

قدمت الدراسة نظامًا تطبيقيًا يدمج استقبال صورة القماش والتحقق من المحتوى والتصنيف والوصف النصي داخل أداة ويب موجهة إلى الفحص بعد الفرد وقبل القص. وفي الحالات الثماني الموثقة حافظ النظام على حكم السلامة للعينتين السليمتين، ووصف أربع حالات لعيوب هيكلية ولونية وسطحية، ورفض مدخلين غير قماشيين. وأظهر الوصف قدرة على تفسير المخرج وجمع ملاحظات متعددة، لكنه تفاوت في مستوى التفصيل وظل تقريبيًا في تحديد الموضع. وبذلك تمثل النتائج إثباتًا أوليًا ومحدد النطاق لإمكان تشغيل الفكرة، لا دليلًا على الجاهزية الصناعية أو الدقة المطلقة. ويظل النظام أداة مساندة للرأي المهني، لا بديلًا عن فاحص الجودة.

توصيات البحث: Research Recommendation

- إنشاء مجموعة اختبار كبيرة وموثقة العدد والتوزيع، مستقلة عن التطوير، وتغطي خامات وألوانًا وأنماطًا وإضاءات وزوايا متعددة.
- اعتماد مصفوفة ارتباك ومقاييس الدقة والاستدعاء والنوعية وF1، مع قياس زمن الاستجابة والاستقرار تحت التشغيل المتكرر.
- إضافة تحديد بصري للعيب بواسطة إطار محيط أو تجزئة، وإظهار نسبة ثقة قابلة للمعايرة بجوار الحكم.
- توحيد بنية الوصف النصي إلى حقول ثابتة: المظهر المرصود، نوع العيب، الموقع، درجة الانتشار، والسبب المحتمل بصيغة احتمالية منفصلة.
- اختبار الحفظ والاسترجاع والتقارير حالةً بحالة، والتحقق من مطابقة الصورة والقرار والوصف والبيانات الزمنية بعد الاسترجاع.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

- إجراء دراسة قابلية استخدام مع عمال فرد ومفتشي جودة، وقياس أثر المخرج في الفهم والقرار ونسبة الاتفاق بين المستخدمين.
- تنفيذ تجربة ميدانية مقارنة داخل مصنع تقيس أداء الفحص اليدوي وحده مقابل الفحص المدعوم بالنظام، بما يشمل الزمن والعيوب المتسربة والهدر.

Research References :المراجع

1- Hanbay, K., Talu, M. F., & Özgüven, Ö. F. (2016). Fabric defect detection systems and methods—A systematic literature review. Optik, 127(24), 11960–11973. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.09.110
2- Kahraman, Y., & Durmuşoğlu, A. (2023). Deep learning-based fabric defect detection: A review. Textile Research Journal, 93(5–6), 1485–1503. https://doi.org/10.1177/00405175221130773
3- Kumar, A. (2008). Computer-vision-based fabric defect detection: A survey. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55(1), 348–363. https://doi.org/10.1109/TIE.1930.896476
4- Li, C., Li, J., Li, Y., He, L., Fu, X., & Chen, J. (2021). Fabric defect detection in textile manufacturing: A survey of the state of the art. Security and Communication Networks, 2021, Article 9948808. https://doi.org/10.1155/2021/9948808
5- Ngan, H. Y. T., Pang, G. K. H., & Yung, N. H. C. (2011). Automated fabric defect detection—A review. Image and Vision Computing, 29(7), 442–458. https://doi.org/10.1016/j.imavis.2011.02.002
6- Ramzan, M. B., Qureshi, S. M., Habib, M. S., Naveed, T., Awais, M., & Jamshaid, H. (2022). Evaluation of human factors on visual inspection skills in textiles and clothing: A statistical approach. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 17, 1–12. https://doi.org/10.1177/15589250221128115
7- Silvestre-Blanes, J., Albero-Albero, T., Miralles, I., Pérez-Llorens, R., & Moreno, J. (2019). A public fabric database for defect detection methods and results. AUTEX Research Journal, 19(4), 363–374. https://doi.org/10.2478/aut-2019-0035
8- University of Freiburg, Computer Vision Group. (1996). TILDA Textile Texture Database (Version 1.0). https://lmb.informatik.uni-freiburg.de/resources/datasets/tilda.en.html.