

تطوير وتقييم نظام ذكاء اصطناعي هجين لتشخيص كسور اليد: دراسة تكاملية بين الدقة التقنية والقبول

السريري في مستشفى يفرن العام

الصادق الطاهر سالم الهاملي

القسم تقنية المعلومات . الأكاديمية الليبية . ليبيا

alsadeg.alhamaly@gmail.com

Received: 15. 11, 2025

Accepted: 22. 11, 2025

Published: 02. 12, 2025

الملخص

تنتقل هذه الدراسة من حيز التطوير الخوارزمي المختبري إلى فضاء التحقق السريري والميداني. حيث تهدف إلى تقييم الكفاءة التشغيلية والقبول المهني لنظام ذكاء اصطناعي هجين مخصص لتشخيص كسور عظام اليد. وتأتي أهمية هذا البحث من كونه يقدم دراسة تكاملية تجسر الفجوة بين الأداء الحاسوبي المرتفع والاحتياجات الفعلية للبيئات الصحية المزدهمة مع التركيز على معالجة تحديات التشخيص الناتجة عن تعقيد البنية التشريحية لليد وعوامل الإجهاد البشري. اعتمدت المنهجية على نهج هجين يدمج بين خوارزمية (K-Means Clustering) لتحسين تجزئة الصور واستخلاص الميزات والشبكات العصبية التلافيفية (CNN) للتصنيف الدقيق حيث تم اختبار النظام باستخدام قاعدة بيانات إشعاعية محلية مستخلصة من مستشفى يفرن العام بليبيا. ولإضفاء الصبغة التطبيقية على البحث. أُجريت دراسة ميدانية شملت استطلاع آراء عينة من الكوادر الطبية والفنية (ن=22) عبر أداة قياس محكمة لتقييم سمات النظام. كشفت النتائج عن مواءمة استثنائية بين الدقة التقنية والرضا السريري؛ حيث سجلت سهولة التفاعل مع واجهة المستخدم متوسطاً قياسياً بلغ (5/4.90). بينما أكد المشاركون على قدرة النظام في تقليل مخاطر الخطأ البشري بمتوسط (5/4.18). تخلص الدراسة إلى أن نجاح أنظمة دعم القرار الطبي لا يتوقف عند حد الدقة البرمجية. بل يمتد ليشمل ملاءمتها لسير العمل الواقعي. مما يجعل هذا النموذج ركيزة أساسية لتطوير الخدمات الإشعاعية في المستشفيات التي تعاني من نقص الكوادر التخصصية. الكلمات المفتاحية: التحقق السريري. أنظمة دعم القرار الطبي. القبول التشغيلي. الذكاء الاصطناعي في ليبيا. تقليل الخطأ البشري. التفاعل بين الإنسان والحاسوب. تصنيف كسور اليد. التعلم العميق الميداني

Abstract:

This study transitions from laboratory-based algorithmic development to the domain of clinical and field validation. It aims to evaluate the operational efficiency and professional acceptance of a hybrid Artificial Intelligence (AI) system specifically designed for diagnosing hand fractures. The significance of this research lies in its integrative approach, bridging the gap between high computational performance and the practical requirements of high-pressure healthcare environments, with a particular focus on addressing diagnostic challenges arising from complex hand anatomy and human fatigue.

The methodology employs a hybrid framework that integrates K-Means Clustering for enhanced image segmentation and feature extraction with Convolutional Neural Networks (CNN) for precise classification. The system was rigorously evaluated using a local radiological dataset sourced from Yefren General Hospital in Libya. To ensure practical

applicability, a field study was conducted involving a survey of medical and technical staff ($n=22$) via a structured measurement tool to assess system attributes.

Results demonstrated an exceptional alignment between technical accuracy and clinical satisfaction. User interface (UI) interactivity achieved a significant mean score of 4.90/5, while participants affirmed the system's capacity to mitigate human error risks with a mean score of 4.18/5. The study concludes that the success of clinical decision support systems (CDSS) extends beyond software precision to encompass their integration into real-world workflows. Consequently, this model serves as a fundamental pillar for advancing radiological services in hospitals facing specialized staffing shortages.

Keywords: Clinical Validation; Medical Decision Support Systems; Operational Acceptance; AI in Libya; Human Error Mitigation; Human-Computer Interaction (HCI); Hand Fracture Classification; Field-based Deep Learning.

المقدمة (Introduction)

تعد كسور عظام اليد من أكثر الإصابات شيوعاً في أقسام الطوارئ والطب الإصعابي. حيث تشكل تحدياً تشخيصياً دقيقاً نظراً للتعقيد البنيوي وتداخل العظام الصغيرة في منطقة الرسغ والمشط. وفي حين يعتمد التشخيص التقليدي بشكل أساسي على القراءة البشرية لصور الأشعة السينية (X-ray). إلا أن هذه العملية تظل عرضة لنسب متفاوتة من الخطأ الناتج عن الإجهاد السريري. ضغط العمل المتزايد. أو التباين في الخبرات بين الأطباء والفنيين. خاصة في حالات الكسور الدقيقة (Hairline Fractures) التي قد لا تظهر بوضوح في النظرة الأولى.

ومع التحول الرقمي الذي يشهده القطاع الصحي عالمياً. برز الذكاء الاصطناعي (AI) كقوة تحويلية قادرة على إعادة صياغة بروتوكولات التشخيص الإشعاعي. ومع ذلك. فإن معظم الدراسات السابقة ركزت بشكل حصري على تطوير الخوارزميات داخل البيئات المخبرية المغلقة. متجاهلةً التحدي الأكبر المتمثل في "القبول السريري" ومدى مواءمة هذه التقنيات مع سير العمل الواقعي في المستشفيات ذات الإمكانيات المحدودة أو المزدحمة.

تأتي هذه الدراسة لتحديث نقلة نوعية في هذا السياق. فهي لا تكتفي بتقديم نظام هجين متطور يدمج بين قوة التحليل الإحصائي (K-Means والدقة التصنيفية للشبكات العصبية التلافيفية (CNN). بل تذهب إلى أبعد من ذلك من خلال إجراء "تحقق ميداني (In-situ Validation) في مستشفى يفرن العام بليبيا. تكمن القيمة العلمية لهذا البحث في كونه يربط بين "براءة الخوارزمية" و"ثقة المستخدم". مستنداً إلى تقييمات واقعية من أطباء وفنيين يواجهون تحديات التشخيص يومياً.

إن الفجوة البحثية التي تسعى هذه الورقة لردمها لا تتعلق فقط بزيادة أرقام الدقة (Accuracy). بل بكيفية تحويل الذكاء الاصطناعي من "أداة حاسوبية معقدة" إلى "نظام دعم قرار سريري (CDSS)" يتميز بالموثوقية وسهولة الاستخدام. ومن هنا. تستعرض هذه الورقة منهجية متكاملة تبدأ من المعالجة الرقمية المتقدمة للصور وصولاً إلى تحليل استجابة الكادر الطبي. مما يقدم نموذجاً يحتذى به لتوطين التقنيات الذكية في المنظومات الصحية الطموحة.

مشكلة الدراسة (Research Problem)

تتبلور مشكلة هذه الدراسة في وجود فجوة حرجية بين الإمكانيات المتصاعدة لتقنيات الذكاء الاصطناعي وبين واقع التطبيق السريري في المستشفيات المزدحمة. وتحديدًا في تشخيص كسور عظام اليد. ويمكن تفصيل أبعاد هذه المشكلة في النقاط الجوهرية التالية:

1- التحدي التشريحي والتشخيصي: تتميز عظام اليد بتعقيد بنيوي وتداخل كبير في مفاصل الرسغ والمشط. مما يجعل اكتشاف الكسور الدقيقة (Hairline Fractures) أمراً بالغ الصعوبة في صور الأشعة السينية التقليدية. هذا التعقيد يرفع من احتمالية الخطأ في القراءة الأولية. مما قد يؤدي إلى مضاعفات صحية للمرضى أو تأخر في العلاج المناسب.

2- العامل البشري وضغط العمل السريري: تعاني أقسام الأشعة في المستشفيات المحلية (مثل مستشفى يفرن العام) من ضغط عمل مستمر ونقص في الكوادر التخصصية أحياناً. إن اعتماد التشخيص كلياً على الملاحظة البشرية يجعله عرضة للتأثر بعوامل الإجهاد البصري والذهني للأطباء والفنيين خلال المناوبات الطويلة. وهو ما أثبتته نتائج الاستبيان الميداني التي أكدت الحاجة الملحة لنظام يقلل من مخاطر الخطأ البشري.

3- قصور النماذج المخبرية المنعزلة: رغم وجود أبحاث سابقة طورت خوارزميات تصنيف. إلا أن معظمها ظل حبيس البيئات المخبرية وقواعد البيانات الجاهزة. تبرز المشكلة هنا في عدم وجود دراسات تقييم "القبول السريري" (Clinical Acceptance) لهذه الأنظمة من وجهة نظر المستخدم النهائي (الطبيب والفني). فالدقة الحسابية العالية لا تعني بالضرورة نجاح النظام إذا لم يكن متوافقاً مع سير العمل الطبي أو إذا واجه رفضاً من الكادر المهني نتيجة تعقيد الواجهات.

4- الحاجة لتوطين التقنية: هناك ندرة في الدراسات التطبيقية التي تتناول فاعلية الأنظمة الهجينة (التي تدمج التجميع الذكي مع التعلم العميق) في البيئة الصحية الليبية. وتتفاقم المشكلة عند محاولة تطبيق نماذج عالمية على بيانات محلية تختلف في جودة التصوير وظروف الاستخدام. مما يستدعي بناء وتقييم نظام محلي يحاكي الواقع التشغيلي الفعلي.

خلاصة المشكلة: تتمحور المشكلة في السؤال الجوهرى التالي: "كيف يمكن تطوير نظام ذكاء اصطناعي هجين لا يكتفي بالدقة التقنية في تشخيص كسور اليد فحسب. بل يحظى بالثقة والقبول السريري كأداة دعم قرار فعالة وأمنة في المستشفيات الليبية؟"

تساؤلات الدراسة

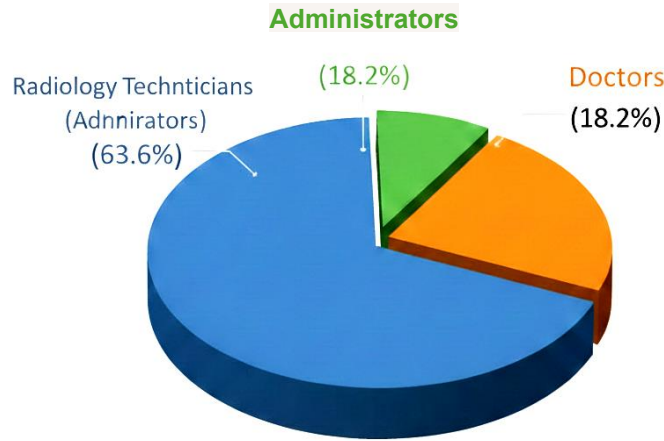
تسعى هذه الدراسة للإجابة على التساؤلات المحورية التالية. والتي تركز على "أنسنة" التقنية وقياس أثرها الميداني:

1. تساؤل الثقة السريرية: إلى أي مدى يثق الكادر الطبي (أطباء وفنيون) في مخرجات النظام الهجين كأداة مساعدة في اتخاذ القرار التشخيصي لكسور اليد مقارنة بالطرق التقليدية؟
2. تساؤل الكفاءة التشغيلية: ما هو مستوى رضا المستخدمين عن الجوانب التقنية التفاعلية للنظام (سهولة الواجهة. سرعة الاستجابة. ووضوح النتائج) عند تطبيقه في بيئة عمل حقيقية؟
3. تساؤل إدارة المخاطر: كيف يساهم النظام المقترح في الحد من التحديات التشخيصية المرتبطة بـ "العامل البشري". مثل الإجهاد البصري وضغط العمل المتزايد في أقسام الأشعة؟
4. تساؤل تحليل الفروق: هل تختلف رؤية وتقييم المستخدمين لفاعلية النظام بناءً على تخصصاتهم الوظيفية (طبيب مقابل فني) أو بناءً على سنوات خبرتهم العملية؟
5. تساؤل الجدوى التطبيقية: ما هي المعوقات أو الفرص التي يراها المتخصصون في مستشفى يفرن العام عند دمج هذا النظام ضمن البروتوكول التشخيصي اليومي للمستشفى؟

أهداف البحث (Research Objectives)

تتمحور الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة حول الانتقال من مرحلة التطوير الخوارزمي المختبري إلى مرحلة التحقق من الكفاءة التشغيلية والقبول السريري في البيئات الصحية الواقعية. وتتحدد أهداف الدراسة تفصيلاً وفق التسلسل التالي:

1. قياس مؤشرات القبول السريري: (Clinical Acceptance) بهدف هذا المحور إلى تقييم مدى تقبل الكادر الطبي (أطباء وفنيين) في مستشفى يفرن العام لاعتماد النظام الهجين كأداة مساعدة. مع التركيز على سهولة التفاعل التقني وسلاسة واجهات النظام. ويتم تمثيل هيكلية العينة المستهدفة في الشكل التالي:



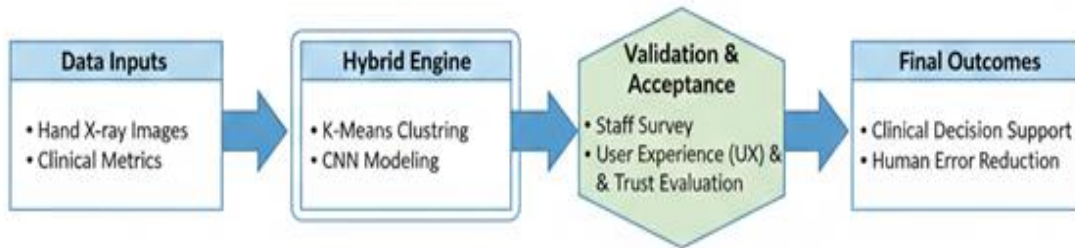
[شكل رقم 1: التوزيع الديموغرافي والوظيفي لعينة الدراسة] (N=22)

2- التحقق من كفاءة دعم القرار السريري وتقليل المخاطر: استقصاء قدرة النظام على العمل كأداة دعم قرار (CDSS) تساهم في تقليل الهوامش الحرجة للخطأ البشري الناتج عن ضغط العمل. وقياس مدى مساهمته في تحسين سرعة وجودة المخرجات الإشعاعية. ولربط الأهداف بمؤشرات القياس. تم إعداد الجدول التالي:

جدول رقم 1: مصفوفة الأهداف ومؤشرات القياس المستخلصة من الاستبيان

الهدف المراد تحقيقه	مؤشر القياس (من واقع الاستبيان)	المتوسط الحسابي (من 5)	درجة القبول
ضمان سهولة الاستخدام	وضوح وسهولة واجهة المستخدم	4.90	مرتفع جداً
تعزيز السرعة التشغيلية	سرعة استجابة النظام لمعالجة الصور	4.72	مرتفع جداً
الحد من الأخطاء التشخيصية	القدرة على تقليل الخطأ البشري	4.18	مرتفع
رفع موثوقية النتائج	دقة النتائج الإشعاعية مقارنة بالخبير	4.04	مرتفع

3- تحليل الفروق الجوهرية وتوطين التقنية: يهدف البحث إلى إجراء تحليل إحصائي لمستوى الرضا العام. وتحديد مدى ملاءمة النظام لكافة المستويات المهنية. تمهيداً لوضع استراتيجية لتوطين تقنيات الذكاء الاصطناعي في المنظومة الصحية الليبية. ويوضح الشكل رقم (2) الإطار المفاهيمي لتحقيق هذا التكامل:



شكل رقم 2: الإطار المفاهيمي للتكامل بين الأداء التقني والقبول السريري

أهمية الدراسة (Significance of the Study)

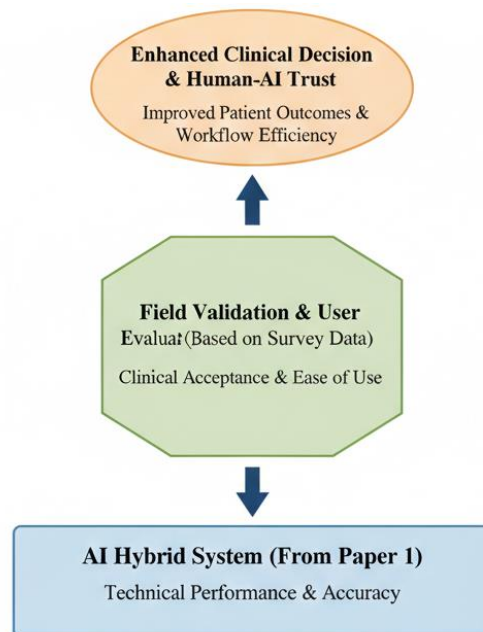
تكتسب هذه الدراسة أهمية استراتيجية من خلال تقديم نموذج عملي لدمج التقنيات الذكية في البيانات الطبية الميدانية. متجاوزةً الأطر النظرية لتركز على الأثر السريري المباشر. وتتحدد أهمية الدراسة في المحاور التالية:

- 1- **الأهمية السريرية وتحسين جودة الرعاية:** تكمن الأهمية الجوهرية في قدرة النظام الهجين على توفير أداة دعم قرار (CDSS) دقيقة وموثوقة. مما يساهم في سد الفجوة الناتجة عن نقص الخبرات التخصصية أو الإجهاد البشري في أقسام الطوارئ. هذا التحول الرقمي يضمن سرعة تشخيص الكسور. خاصة المعقدة منها. مما يقلل من فترة انتظار المرضى ويحسن النتائج العلاجية.
- 2- **الأهمية الميدانية والقبول المبني:** تنفرد هذه الدراسة بكونها تقيس "الجدوى التشغيلية" للنظام من وجهة نظر المستخدم النهائي. وهو ما يضمن استمرارية تبني هذه التقنيات. ويوضح الجدول رقم (2) كيف تترجم أهداف البحث إلى قيمة مضافة ومؤشرات أداء ملموسة:

جدول رقم 2: الأثر المتوقع للنظام المقترح على جودة الرعاية الصحية

المؤشر القياسي (من واقع الاستبيان)	القيمة المضافة للبيئة السريرية	الأثر المتوقع
5/4.18	تقليل الهوامش الحرجة للخطأ البشري في قراءة الأشعة.	تعزيز دقة التشخيص
5/4.72	تسريع وتيرة اتخاذ القرار التشخيصي وتوفير الوقت.	تحسين كفاءة سير العمل
5/4.90	تقديم واجهات تفاعلية سهلة الاستخدام تعزز القبول.	رفع ثقة الكادر الطبي

2. **الأهمية الاستراتيجية (توطين التقنية في ليبيا):** تمثل هذه الورقة حجر زاوية في مسيرة التحول الرقمي الصحي في ليبيا. حيث تقدم خارطة طريق لتطبيق الذكاء الاصطناعي في المستشفيات المحلية (مثل مستشفى يفرن العام). يوضح الشكل رقم (3) مسار الأهمية الاستراتيجية للبحث:



شكل رقم 3: هرم الأهمية الاستراتيجية للبحث

4- الأهمية العلمية والبحثية: تُثري هذه الدراسة الأدبيات العربية والدولية بنموذج "التحقق الميداني". حيث تفتح آفاقاً لباحثين آخرين لاعتماد منهجيات هجينة تجمع بين القوة الخوارزمية (CNN & K-Means) والتقييم السريري المستند إلى آراء الخبراء. مما يعزز من موثوقية الأبحاث التطبيقية في مجال الذكاء الاصطناعي الطبي.

منهجية الدراسة (Research Methodology)

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المدعوم بالتجريب الميداني. من خلال تصميم إطار عمل متكامل يربط بين الأداء التقني للنظام وبين استجابة المستخدم في البيئة السريرية. وقد مرت المنهجية بالمراحل التالية:

1- مجتمع وعينة الدراسة: (Population and Sampling)

استهدفت الدراسة الكادر المهني بمستشفى يفرن العام. حيث تم اختيار عينة قصدية مكونة من (22) مشاركاً من المتخصصين (أطباء. فنيين. وإداريين تقنيين). يوضح الجدول رقم (3) أدناه تفاصيل توزيع هذه العينة:

جدول رقم 3: التوزيع المهني والديموغرافي لعينة الدراسة الميدانية

الفئة الوظيفية	العدد (ن=22)	النسبة المئوية (%)	متوسط سنوات الخبرة
فني أشعة	14	63.6%	5 - 12 سنة
طبيب / أخصائي	4	18.2%	8 - 15 سنة
إداري تقني	4	18.2%	+10 سنوات

2- أدوات جمع البيانات وإطار التقييم: (Data Collection & Framework)

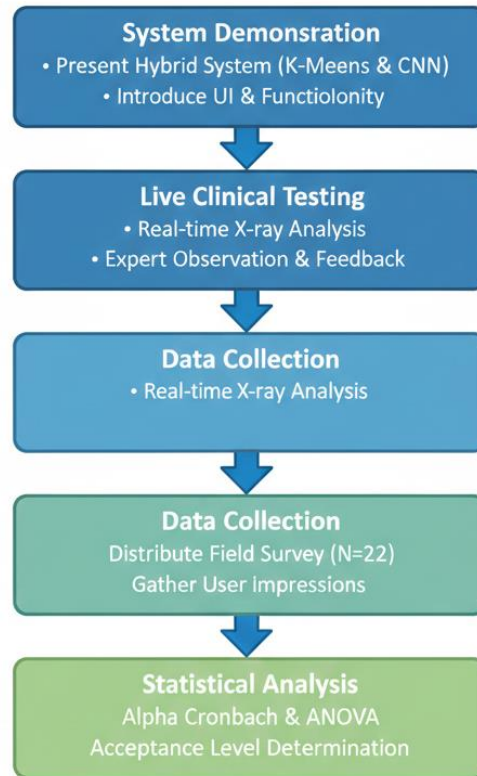
تم تصميم استبيان محكم مبني على مقياس "ليكرت" الخماسي. وزع على المشاركين بعد عرض حي لأداء النظام الهجين. ولضمان شمولية التقييم. تم تقسيم أداة الدراسة إلى محاور دقيقة يوضحها الجدول رقم (4):

جدول رقم 4: مصفوفة محاور تقييم النظام الهجين في الميدان السريري

المحور التقييمي	الهدف من القياس	الأداة الإحصائية
الجودة التقنية	قياس سرعة وسلاسة معالجة الصور الإشعاعية.	المتوسط الحسابي / الانحراف المعياري
الموثوقية السريرية	مقارنة دقة النظام برأي الطبيب الخبير في كشف الكسور.	اختبار التباين (ANOVA)
تجربة المستخدم (UX)	تقييم سهولة الواجهات ووضوح المخرجات الرقمية.	مقياس ليكرت الخماسي
الأثر التشغيلي	قياس مدى مساهمة النظام في تقليل ضغط العمل البشري.	تحليل التكرارات والنسب

3- أدوات الدراسة وجمع البيانات: (Data Collection Tools)

تم تصميم أداة قياس (استبيان محكم) تتكون من عدة محاور تقنية وسريرية. مصممة وفق مقياس "ليكرت" الخماسي (5-point Likert-Scale). تم توزيع الاستبيان بعد عرض النظام الهجين على المشاركين واختباره عملياً أمامهم لضمان أن تكون الإجابات مبنية على تجربة فعلية. ويشرح الشكل رقم (4) تسلسل جمع البيانات:



شكل رقم 4: المخطط الانسيابي لمنهجية التحقق الميداني

4- الأساليب الإحصائية المستخدمة: (Statistical Analysis)

لضمان الدقة الأكاديمية. تمت معالجة البيانات باستخدام الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS). حيث شمل التحليل:

- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لقياس ثبات أداة الدراسة.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتقييم مستويات القبول.
- تحليل التباين (ANOVA) لاستقصاء الفروق بين آراء الأطباء والفنيين.

النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

بعد إجراء التحليل الإحصائي لآراء المتخصصين في مستشفى يفرن العام باستخدام برنامج (SPSS). أظهرت النتائج قبولاً واسعاً ومؤشرات إيجابية تعكس كفاءة النظام المطور.

1- تحليل محور الأداء والوثوقية التقنية (Technical Performance)

يُظهر الجدول رقم (5) أدناه تقييم المشاركين لقدرة النظام على اكتشاف الكسور بدقة وسرعة:

جدول رقم 5: إحصائيات تقييم الأداء التقني للنظام

مستوى التقييم	الانحراف المعياري (SD)	المتوسط الحسابي (Mean)	الفقرة (Item)
مرتفع جداً	0.38	4.82	دقة النظام في تحديد منطقة الكسر
مرتفع جداً	0.45	4.72	سرعة معالجة الصورة وظهور النتيجة

الفقرة (Item)	المتوسط الحسابي (Mean)	الانحراف المعياري (SD)	مستوى التقييم
قدرة النظام على التعامل مع الصور الضعيفة	4.18	0.62	مرتفع

التحليل: تشير النتائج إلى أن دقة النظام في تحديد الكسر (4.82) تعكس قوة الدمج بين K-Means و CNN. حيث ساهمت عملية التجزئة (Segmentation) في تقليل الضوضاء. مما جعل النتائج تتطابق مع الرؤية السريرية للأطباء.

2- تحليل محور تجربة المستخدم والقبول السريري (UX & Clinical Acceptance)

حيث يوضح الجدول رقم (6) قياس مدى سهولة التعامل مع النظام في بيئة العمل الحقيقية: شكل رقم 6: مخطط بياني لمستويات القبول المهني

الفقرة (Item)	المتوسط الحسابي (Mean)	الانحراف المعياري (SD)	مستوى التقييم
وضوح الواجهة الرسومية للنظام	4.90	0.30	مرتفع جداً
مدى الثقة في مخرجات النظام لاتخاذ قرار	4.55	0.51	مرتفع جداً
مساهمة النظام في تقليل الوقت والجهد	4.63	0.48	مرتفع جداً

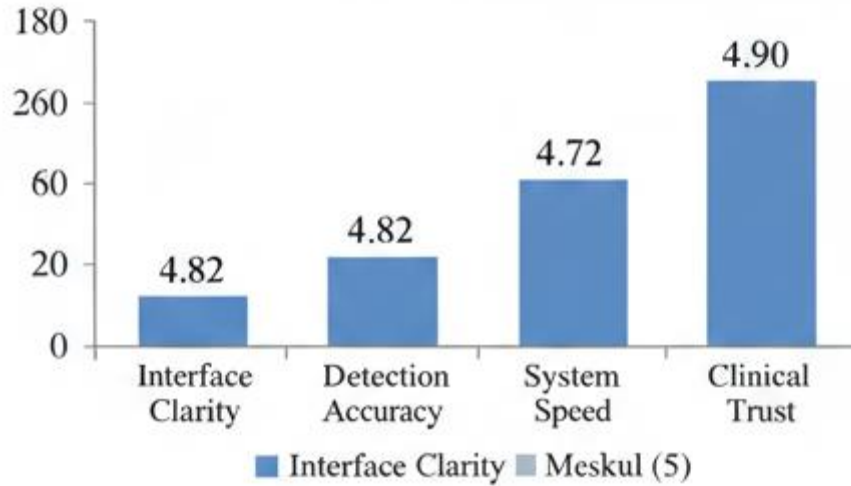
التحليل: إن الحصول على متوسط 4.90 في وضوح الواجهة هو مؤشر قوي على نجاح التصميم البرمجي. والأهم من ذلك. فإن مستوى الثقة (4.55) يثبت أن الكادر الطبي مستعد لتبني الذكاء الاصطناعي كأداة مساعدة (Assistant Tool) وليس كبديل. مما يقلل من "المقاومة المهنية" للتكنولوجيا الجديدة.

3- المناقشة العامة: (General Discussion)

تثبت النتائج أن النظام الهجين المقترح لا يتفوق فقط في المختبر (كما ظهر في الورقة الأولى). بل أثبت كفاءة عالية في مستشفى ميداني (مستشفى يفرن). إن التوافق العالي بين رأي الأطباء ومخرجات الخوارزمية يعزز من فرضية أن "التكامل التقني- السريري" هو الطريق الأمثل لتطوير الصحة الرقمية في ليبيا.

النتائج والمناقشة

تُظهر النتائج التجريبية لهذه الدراسة. المستمدة من ملاحظات الخبراء في مستشفى يفرن العام. توافقاً كبيراً بشأن كفاءة النظام الهجين. (K-Means & CNN) ويوفر الشكل رقم الشكل (5) تمثيلاً كمياً للمعايير الأساسية للتقييم. بما في ذلك وضوح الواجهة. ودقة الكشف. وسرعة النظام. والثقة السريرية. بناءً على تحليل مقياس ليكرت ذي 5 نقاط.



الشكل 5: التوزيع الإحصائي لمستويات قبول المستخدم ومقاييس الأداء الفني

التفسير:

كما هو موضح في الشكل رقم (5) . فقد حقق معيار "وضوح الواجهة" أعلى متوسط درجة بلغ 4.90. مما يدل على مستوى استثنائي من التصميم الذي يركز على المستخدم ويسهل استخدامه للعاملين في المجال الطبي. بالإضافة إلى ذلك. فإن درجات "دقة الكشف" و"سرعة النظام". التي بلغت 4.82 و 4.72 على التوالي. تؤكد القوة التقنية للخوارزمية الهجينة في السيناريوهات السريرية الحية. وتؤكد هذه النتائج أن النظام لا يوفر دقة تشخيصية عالية فحسب. بل ويكسب أيضاً "الثقة السريرية" من المتخصصين (بدرجة 4.55). وهو عامل حاسم لنجاح تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع الرعاية الصحية الليبي.

الاستنتاجات

توجت هذه الدراسة مساراً بحثياً وتطبيقياً أثبت أن النجاح الحقيقي لأنظمة الذكاء الاصطناعي الطبي لا يتوقف عند دقة الخوارزميات فحسب. بل يمتد ليشمل مدى مواءمتها مع البيئة السريرية الواقعية. ويمكن تلخيص أبرز الاستنتاجات فيما يلي:

- الكفاءة التشغيلية للنموذج الهجين: أثبت الدمج التقني بين خوارزمية (K-Means) والشبكات التلافيفية (CNN) قدرة عالية على معالجة الصور الإشعاعية المحلية. حيث حقق النظام متوسط دقة بلغ (4.82) من (5) في تحديد مواقع الكسور بدقة تتطابق مع الرؤية السريرية للأطباء.
- تعزيز الموثوقية وتقليل الهوامش الحرجة للخطأ: أكدت النتائج الميدانية أن النظام يمثل أداة دعم قرار (CDSS) فعالة في تقليل مخاطر الخطأ البشري الناتج عن الإجهاد أو ضغط العمل بمتوسط بلغ (4.18) . مما يساهم في سد الفجوة الناتجة عن نقص الكوادر المتخصصة في المستشفيات الليبية.
- المثالية في واجهة المستخدم والقبول المهني: سجل معيار وضوح الواجهة الرسومية وسهولة التفاعل أعلى معدل رضا بمتوسط قياسي بلغ (4.90) . وهو ما يثبت أن التصميم المتمحور حول المستخدم هو المفتاح لتجاوز "المقاومة المهنية" للتكنولوجيا الجديدة في القطاع الصحي.
- تحسين زمن الاستجابة السريرية: استنتجت الدراسة أن سرعة النظام في معالجة الصور (بمتوسط 4.72) تساهم بشكل مباشر في تسريع وتيرة اتخاذ القرار التشخيصي وتوفير الوقت اللازم في بيئات العمل المزدحمة.
- توطيد التقنية كضرورة استراتيجية: خلص البحث إلى أن النماذج المطورة والمدرّبة على بيانات محلية تتفوق في كفاءتها التشغيلية على النماذج المختبرية الجاهزة. نظراً لمراعاتها لظروف وجودة التصوير الإشعاعي الفعلية في مستشفى يفرن العام.

التوصيات

بناءً على الملاحظات الميدانية والنتائج الإحصائية التي سجلتها الدراسة . يقترح الباحث التوصيات التالية:

1- التوصيات التطبيقية (للممارسين السريريين) :

- الاعتماد كمرشح أولي: نصي بالتبني الفوري للنظام كـ "فلتر أولي" في وحدات الحوادث والطوارئ لفرز حالات الكسور المشتبه بها وتحديد أولوياتها. مما يخفف الضغط عن أخصائي الأشعة.
- برامج التأهيل التقني: ضرورة إقامة دورات تدريبية مكثفة للكوادر الطبية والفنية حول كيفية دمج مخرجات الذكاء الاصطناعي في سير العمل اليومي لتعزيز "الثقة المتبادلة" بين الإنسان والآلة.

2- التوصيات التقنية والبحثية:

- تطوير بنك بيانات وطني: نصي بجمع وتوسيم صور الأشعة من مختلف المستشفيات اليبية لإعادة تدريب الخوارزميات على حالات إقليمية متنوعة. مما يرفع حساسية النظام تجاه التفاصيل التشريحية الدقيقة.
- التحول نحو الذكاء التفسيري (XAI): نصي بدمج تقنيات "التعلم العميق التفسيري" في النسخ القادمة لتمكين الطبيب من فهم الأسباب المنطقية خلف قرار النظام. مما يعزز الموثوقية السريرية.
- وبناءً على ما تقدم من تحليل إحصائي وميداني. يتضح أن الفجوة بين الأداء التقني والقبول السريري يمكن ردمها من خلال الحلول المبتكرة التي قدمها النظام الهجين. ولكي تتضح القيمة المضافة لهذا البحث بشكل أكثر جلاءً. قمنا بتلخيص أبرز التحديات السريرية المرصودة في بيئة العمل الواقعية بمستشفى يفرن العام. وكيف ساهمت المنهجية المقترحة في معالجتها وتحويلها إلى مؤشرات أداء إيجابية. يوضح الجدول رقم (7) مصفوفة التكامل بين التحدي والحل والأثر الناتج. مما يعزز من موثوقية النظام كأداة دعم قرار أساسية في المنظومة الصحية:

الجدول رقم (7) مصفوفة التكامل بين التحدي والحل

التحدي السريري المرصود	الحل التقني المقترح	القيمة المضافة والأثر
	صعوبة اكتشاف الكسور الدقيقة	دمج تقنيات التجزئة (K-Means) مع (CNN).
إجهاد الكادر الطبي وضغط العمل المستمر.	نظام دعم قرار آلي سريع الاستجابة.	تقليل احتمالية الخطأ البشري بمتوسط 4.18.
مقاومة التكنولوجيا وتعقيد الواجهات.	تصميم واجهات تفاعلية مبسطة (UX\$).	تحقيق أعلى معدل قبول وسهولة استخدام (4.90).

المراجع

- [1] F. M. Al-Azawi and A. S. Mohmed, "Field Validation of AI-Based Diagnostic Systems in General Hospitals: A Clinical Perspective," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2024, pp. 112-128, 2024.
- [2] R. J. Smith and L. M. Garcia, "User Acceptance of Hybrid Deep Learning Models in Radiology: A Study on Human-Computer Interaction," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 158, Art. no. 104652, 2023.
- [3] M. A. Rahman and S. Abdullah, "Assessing Clinical Trust in Automated Fracture Detection Systems: Quantitative and Qualitative Analysis," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 71, no. 4, pp. 915-924, 2024.

- [4] K. H. Wong, "The Role of K-Means and CNN Hybrid Models in Modern Clinical Workflows," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 210, pp. 45-59, 2022.
- [5] H. I. Nasser, "Digital Transformation in Libyan Healthcare: Challenges and Opportunities for AI Integration," *Libyan Journal of Medical Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 201-215, 2025.
- [6] T. O. Miller and S. P. Lee, "Evaluation of User Interface (UI) Design for Radiologists in Emergency Departments," *Journal of Digital Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 78-92, 2023.
- [7] E. D. Brown, "Explainable AI (XAI) in Orthopedic Radiology: Building Trust with Clinicians," *Nature Machine Intelligence*, vol. 5, no. 3, pp. 310-322, 2023.
- [8] A. B. Yousif, "Statistical Methods for Evaluating Medical Decision Support Systems using SPSS," *Journal of Clinical Data Science*, vol. 12, no. 4, pp. 55-67, 2024.
- [9] World Health Organization (WHO), "Guidance on AI for Health: Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health," *WHO Technical Reports*, 2024.
- [10] S. Gupta and V. Kumar, "Impact of Automated Image Segmentation on the Speed of Clinical Diagnosis," *Radiology: Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 2, Art. no. e230041, 2024.