

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير إدارة صحية

دور الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة

البانورامية والسيفالومترية

إعداد الطالب/

محمد سعيد الشهراني

252001276

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید محمد حسن

د.فايز جراد

العام الدراسي:

2025 – 1447

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

تُمثّل تقنيات الذكاء الاصطناعي نقلة نوعية في توظيف المعالجة الحاسوبية المتقدمة داخل القطاعات الصحية، من خلال قدرتها على محاكاة القدرات البشرية، ودعم اتخاذ القرار، وتحليل البيانات الضخمة بصورة تُمكن من رفع جودة الخدمات وتطوير العمليات التشخيصية، وقد أكدت الدراسات الحديثة الدور الإيجابي لهذه التقنيات في تحسين جودة الحياة داخل القطاعات الحيوية، مع الإشارة إلى آثارها السلبية المحتملة المرتبطة بالخصوصية ومخاطر الأنظمة ذاتية التشغيل، مما يعكس الحاجة إلى حوكمة متوازنة للتطبيقات الذكية (شرقاوي، 2025).

وتبرز أهمية الذكاء الاصطناعي بوضوح داخل نطاق التصوير الطبي، نظرًا لما يوفره من إمكانيات لتقليل الأخطاء البشرية وتعزيز الدقة التشخيصية، إلا أن مضاهاة الذكاء الآلي للذكاء البشري تظل موضع جدل، حيث تُظهر المقاربات الفينومينولوجية أن الفهم الإنساني قائم على خبرات جسدية ومهارية غير مفاهيمية لا تستطيع الخوارزميات الرقمية استنساخها بالكامل، مما يستدعي الحفاظ على الإشراف البشري في التفسير الإشعاعي (العلوي والتوازي، 2023).

ويزداد دور الذكاء الاصطناعي أهمية في سياق التحول الرقمي المتسارع، حيث أسهم دمج تقنيات الميتافيرس والذكاء الاصطناعي في تغيير السلوك الإدراكي للمستخدمين، وتعزيز كفاءة التفاعل، رغم ما يرافق ذلك من مخاطر تتعلق بالاندماج المفرط واضطرابات التكيف النفسي، ما يؤكد ضرورة تطوير أطر تشريعية لحماية المستخدمين (عوض، 2023).

وتساهم هذه التطورات في تعزيز استخدام الذكاء الاصطناعي في طب الأسنان، لا سيما في تفسير الأشعة البانورامية والسيفالومترية، حيث أثبتت الأدلة العلمية ارتفاع دقة الخوارزميات في تحديد العلامات التشخيصية وتقليل الأخطاء، مع تحقيق كفاءة زمنية ودعم خاصة للممارسين الأقل خبرة. غير أن هذه

التقنيات لا تخلو من قيود تتعلق بتباين أداء الأنظمة وضعف التحقق الخارجي وضرورة الإشراف الإكلينيكي المستمر .

وتؤكد هذه المعطيات الحاجة إلى بحث معمق يركّز على دور الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية، بوصفها أدوات محورية في تشخيص اضطرابات الفكين والتخطيط العلاجي، وبالنظر إلى التباين الملحوظ في نسب الدقة بين الخوارزميات والبرامج المستخدمة، مما يجعل دراسة هذا الدور ضرورة علمية وإكلينيكية.

2.1 مشكلة الدراسة

تُظهر التطورات الحديثة في تقنيات الذكاء الاصطناعي تحولاً جذرياً في كيفية تفسير البيانات الطبية، لاسيما في مجال التصوير الشعاعي. ورغم ما أثبتته التطبيقات الذكية من قدرة على محاكاة القدرات البشرية ودعم اتخاذ القرار وتحليل البيانات الضخمة، إلا أن هذه التقنيات ما تزال تواجه تحديات تتعلق بالتباين في الأداء، وهو ما ينعكس على دقة التشخيص في التطبيقات الطبية الحساسة مثل الأشعة البانورامية والسيفالومترية (شرقاوي، 2025).

وتوضح النظريات الفينومينولوجية للذكاء البشري أن الخبرة الإكلينيكية لا تقوم فقط على المعالجة الذهنية، بل على تفاعل جسدي وحسي ومهاري لا يمكن للخوارزميات الرقمية استنساخه بالكامل. وبذلك تنشأ فجوة معرفية بين ما يقدمه الذكاء الاصطناعي وما يتحقق من خلال الخبرة البشرية المباشرة، الأمر الذي يفرض محدوديات واضحة عند تفسير الصور الشعاعية المعقدة التي تتطلب حساسية عالية في التمييز بين العلامات التشخيصية الدقيقة (العلوي والتوازي، 2023).

وتكشف الدراسات التطبيقية الحديثة في مجالات الميتافيرس والذكاء الاصطناعي أن الاعتماد المتزايد على النماذج الرقمية يؤدي إلى رفع الكفاءة وتحسين التجربة المعرفية، إلا أنه يرتبط في الوقت ذاته بزيادة الأخطاء الناتجة عن سوء التدريب أو ضعف قواعد البيانات، مما ينعكس مباشرة على دقة الأنظمة

التشخيصية، خاصة في المستويات الإكلينيكية التي تعتمد على صور متعددة الأبعاد، مثل صور الفكين والأسنان (عوض، 2023).

وتبيّن الأدبيات العلمية في طب الأسنان أن الخوارزميات الحديثة في تحليل الأشعة السيفالومترية والبانورامية تحقق نسب دقة مرتفعة تتراوح بين 80% و99% في تحديد العلامات وقياسات العظام والكشف عن الآفات، إلا أن هذه النتائج تختلف بصورة جوهرية بين تطبيق وآخر وفقًا لجودة الصور، حجم البيانات المستخدمة في التدريب، وتباين الخوارزميات. هذا التفاوت يشير إلى فجوة بحثية مهمة تتمثل في عدم وجود معيار دقيق يحدد مدى قدرة الذكاء الاصطناعي على تقليل الأخطاء التشخيصية مقارنة بالتفسير اليدوي (Bucur et al., 2025؛ Zia et al., 2025).

وتظهر الحاجة الملحة إلى دراسات تُقيّم الأداء الفعلي للذكاء الاصطناعي داخل البيئة الإكلينيكية الواقعية، خاصة أن العديد من الدراسات كشفت عن آثار سلبية تتمثل في عدم استقرار الخوارزميات، وضعف التحقق الخارجي، وتفاوت القياسات الناتجة عنها، ما يخلق حالة من عدم اليقين حول مدى قابلية الاعتماد عليها كبديل أو مكمل فعال للخبرة البشرية، خصوصًا في التشخيص المعقّد الذي يعتمد على الأشعة البانورامية والسيفالومترية (Kielczykowski et al., 2023).

وبناءً على ما سبق، تتحدد مشكلة الدراسة في السؤال التالي: ما مدى دور الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية مقارنة بالتفسير الإكلينيكي البشري؟

3.1 أهمية الدراسة:

تعتمد أهمية هذه الدراسة على إسهاماتها النظرية والتطبيقية فيما يلي:

أولاً: الأهمية العلمية:

- تُسهم الدراسة في سد فجوة معرفية تتعلق بمدى قدرة الذكاء الاصطناعي على تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومتريّة، وهي فجوة لم تُعالج بشكل كافٍ في الأدبيات السابقة.
- تُقدّم إطارًا علميًا متقدمًا لفهم التفاعل بين الخبرة الإكلينيكية البشرية والخوارزميات الذكية، بما يعزز النظرية المعرفية حول حدود الذكاء الاصطناعي في المجالات الطبية عالية الحساسية.
- تدعم الاتجاهات البحثية الحديثة التي تسعى إلى توحيد منهجيات تقييم أداء الخوارزميات، من خلال ربطها بمعايير التشخيص الإشعاعي في طب الأسنان وتقويم الفكين.
- تُثري الحقل العلمي بإضافة مقارنة تحليلية بين دقة النماذج الذكية ودقة القياسات اليدوية، مما يُسهم في تطوير الأدوات والمنهجيات المستخدمة في البحوث الطبية المستقبلية.
- تُوفّر مرجعًا علميًا للباحثين حول نسب الدقة، وأنماط الخطأ، والعوامل المؤثرة في أداء الذكاء الاصطناعي عند معالجة الصور الشعاعية، مما يساعد على صياغة دراسات أعمق وأكثر تخصصًا.

ثانيًا: الأهمية العملية:

- تُسهم في تحسين جودة التشخيص الإكلينيكي من خلال إبراز مدى موثوقية الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء التي قد تنتج عن التفسير البشري، خاصة لدى الأطباء الأقل خبرة.
- تُساعد المؤسسات الصحية وعيادات طب الأسنان على اتخاذ قرارات مبنية على الأدلة بشأن اعتماد الأنظمة الذكية في تحليل الأشعة البانورامية والسيفالومتريّة.
- تُقدّم أساسًا عمليًا لتطوير بروتوكولات إكلينيكية تُدمج بين التحليل البشري والتحليل الذكي، بما يرفع من كفاءة التشخيص والتخطيط العلاجي في حالات التقويم والجراحة الفكية.
- تُبرز الحاجة إلى تطوير قواعد بيانات أكثر تنوعًا وجودةً، مما يدفع الجهات الصحية وشركات البرمجيات إلى تحسين بيئة تدريب الخوارزميات وتقليل الانحياز.
- تُسهم في زيادة كفاءة الوقت وتقليل تكلفة التشخيص عبر الاعتماد على أدوات ذكية سريعة ودقيقة، مما يحسّن تجربة المريض ويختصر خطوات الفحص.

- تُعزّز مبدأ السلامة الإكلينيكية من خلال الحد من الأخطاء التشخيصية التي قد تؤثر على مسار العلاج أو تؤدي إلى تدخلات غير ضرورية.

4.1 أهداف الدراسة:

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحسين الدقة التشخيصية، تقليل الأخطاء البشرية، دعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة) في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية في بيانات الفحص الإكلينيكي، وتتفرع من هذا الهدف العام عدة أهداف فرعية، وهي:

- تحليل أثر بُعد تحسين الدقة التشخيصية على جودة تحديد العلامات الشعاعية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية.
- تحديد أثر بُعد تقليل الأخطاء البشرية على موثوقية القراءات الشعاعية باستخدام الأنظمة الذكية.
- قياس أثر بُعد دعم القرار الإكلينيكي على جودة التخطيط العلاجي المستند إلى صور الفكين والأسنان.
- تقييم أثر بُعد تسريع تفسير الأشعة على كفاءة الوقت وفعالية سير العمل الإكلينيكي في العيادات المتخصصة.

5.1 تساؤلات الدراسة

السؤال الدراسة الرئيسي: ما دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحسين الدقة التشخيصية، تقليل الأخطاء البشرية، دعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة) في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية؟ وتتفرع منه عدة أسئلة فرعية:

- ما أثر بُعد تحسين الدقة التشخيصية على قدرة الذكاء الاصطناعي في تحديد العلامات السيفالومترية والبانورامية بدقة؟

- ما أثر بُعد تقليل الأخطاء البشرية على موثوقية التفسير الشعاعي عند استخدام الخوارزميات الذكية؟
- ما أثر بُعد دعم القرار الإكلينيكي على جودة التخطيط العلاجي المبني على نتائج الذكاء الاصطناعي؟
- ما أثر بُعد تسريع تفسير الأشعة على رفع كفاءة الوقت وتحسين الإجراءات الإكلينيكية في تحليل الصور الاشعاعية؟

6.1 فروض الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها يمكن صياغة الفرضيات التالية:

الفرضية الرئيسة: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لدور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحسين الدقة التشخيصية، تقليل الأخطاء البشرية، دعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة) في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية.

الفرضيات الفرعية:

- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لُبُعد تحسين الدقة التشخيصية في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لُبُعد تقليل الأخطاء البشرية في تحسين موثوقية التفسير التشخيصي للصور الشعاعية.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لُبُعد دعم القرار الإكلينيكي في رفع جودة التخطيط العلاجي المستند إلى الأشعة البانورامية والسيفالومترية.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لُبُعد تسريع تفسير الأشعة في تحسين كفاءة الوقت وفعالية الإجراءات الإكلينيكية في التشخيص الشعاعي.

7.1 الدراسات السابقة:

❖ دراسة (Bucur et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحليل الصور الشعاعية، التخطيط العلاجي، التنبؤ بالاحتياجات العلاجية، وتقييم المفاصل والعمر العظمي) على تحسين الدقة التشخيصية والقرارات الإكلينيكية في مجال تقويم الأسنان في العمل الإكلينيكي المعاصر.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة نتائج الدراسات التطبيقية الحديثة التي تناولت كفاءة الذكاء الاصطناعي في تحليل الأشعة البانورامية، CBCT، السيفالوميتري، وتقييم مفصل الفك، واعتمدت الدراسة على عينة مكوّنة من (200) من نتائج النماذج الإحصائية المنشورة وتقارير الاعتمادات الطبية العالمية المتعلقة بالذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين نتائج التشخيص والتخطيط العلاجي، حيث حققت التحليلات السيفالوميتري القائمة على الذكاء الاصطناعي دقة بلغت 88-92%، بينما وصلت دقة اكتشاف الآفات حول الذروية إلى 92.8%، وبلغت دقة الكشف عن التسوس والتغيرات الشعاعية بين 68% و99.2%. كما تجاوزت دقة تقدير العمر العظمي 90% في صور الرسغ، وبلغت حساسية وخصوصية تقييم TMJ باستخدام الذكاء الاصطناعي بين 84% و99.9%. وحققت خوارزميات قرارات الخلع توافقًا مع المختصين بأكثر من 80%، مع دقة تصل إلى 94% في التنبؤ بالحاجة للعلاج. في المقابل، بينت الدراسة وجود أثر سلبي يتمثل في الحاجة المستمرة للإشراف البشري بسبب محدودية قواعد البيانات واحتمالية عدم استقرار خوارزميات التعلم الآلي، إضافة إلى تحديات أخلاقية تتعلق بالثقة والتفسيرية.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير خوارزميات أكثر استقرارًا وشفافية، وزيادة تنوع قواعد البيانات لضمان عدالة ودقة النماذج، وتعزيز التكامل بين خبرة الأخصائي والإمكانات التقنية للذكاء الاصطناعي، مع ضرورة الإبقاء على الرقابة البشرية على القرارات الإكلينيكية.

❖ دراسة (Zia et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحسين الدقة التشخيصية، تقليل الأخطاء البشرية، دعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة) على رفع كفاءة تشخيص الأشعة السينية البانورامية في مجال طب الأسنان الإكلينيكي.

واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة سردية للأدبيات العلمية المتخصصة المتعلقة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي، ولا سيما نماذج التعلم الآلي والتعلم العميق (CNNs)، في تفسير الأشعة البانورامية، وقد اعتمدت الدراسة على عينة مكونة من الدراسات المنشورة (150 فرد) في قواعد البيانات العالمية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لتقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين تفسير الأشعة البانورامية، حيث ساهمت الخوارزميات خصوصاً الشبكات العصبية الالتفافية في رفع الدقة التشخيصية، وتقليل الوقت اللازم للتحليل، ودعم الأطباء الأقل خبرة في اكتشاف التسوس، أمراض اللثة، زراعة الأسنان، والاضطرابات الفكية، وبيّنت الدراسة وجود أثر سلبي محدود يتمثل في تأثير الأداء بجودة البيانات، وضعف التوحيد القياسي بين الأنظمة، وصعوبة تفسير الخوارزميات، وتحديات دمج الذكاء الاصطناعي داخل الأنظمة الإكلينيكية الحالية.

وأوصت الدراسة بضرورة إجراء دراسات واسعة النطاق ذات بروتوكولات تقييم موحدة، وتعزيز جودة قواعد البيانات التدريبية، وتطوير أنظمة ذكاء اصطناعي أكثر قابلية للتفسير، ودعم تكاملها مع أنظمة الرعاية الصحية لضمان تطبيق آمن وفعال وشفاف في ممارسات طب الأسنان.

❖ دراسة (Zahra et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي بأبعاده (الدقة التشخيصية، معدل الخطأ، الكفاءة الزمنية، والمقارنة مع التفسير البشري) على رفع جودة تفسير الصور الشعاعية السنية في الممارسة الإكلينيكية لطب الأسنان.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ضمن إطار المراجعة المنهجية وفقًا لإرشادات PRISMA، من خلال تحليل الدراسات المنشورة بين يناير 2019 ومايو 2024 في قواعد البيانات PubMed و Scopus و Web of Science و Cochrane Library. واعتمدت الدراسة على عيّنة مكوّنة من 8 دراسات شملت أكثر من 25,000 صورة شعاعية سنية، مع تقييم مخاطر التحيز باستخدام أدوات Cochrane RoB 2.0 و Newcastle–Ottawa Scale.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لتقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين الأداء التشخيصي، حيث بلغت دقة النماذج بين 80.2% و 96.5%، مع انخفاض ملحوظ في معدلات الخطأ، وتحسن كبير في سرعة التفسير مقارنة بالتفسير البشري التقليدي ($p < 0.05$). كما بينت النتائج أن أداء الأنظمة الذكية كان مساويًا أو متفوقًا على أداء الأطباء ذوي الخبرة في تحليل صور panoramic و bitewing و periapical. في المقابل، كشفت الدراسة عن سلبيات محدودة أبرزها التباين في المنهجيات وغياب التحقق الخارجي الكافي.

وأوصت الدراسة بضرورة إجراء دراسات واسعة النطاق وطويلة المدى، وتوحيد بروتوكولات التقييم، وتعزيز التحقق الخارجي للأنظمة الذكية، ودعم دمج الذكاء الاصطناعي في الممارسة السريرية بما يضمن تطبيقًا آمنًا وفعالًا في تفسير الصور الشعاعية السنية.

❖ دراسة (شرقاوى، 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (محاكاة القدرات البشرية، دعم اتخاذ القرار، الأتمتة الذكية، وتحليل البيانات الضخمة) في تحسين جودة الحياة في القطاعات الحيوية، وقد استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الموضوع، واعتمدت على عيّنة مكوّنة من (150 فرد) من المتخصصين في مجالات الرعاية الصحية والتعليم والصناعة والطاقة.

وتوصلت النتائج إلى وجود أثر ذو دلالة إحصائية إيجابية لدور الذكاء الاصطناعي بأبعاده المختلفة في تحسين جودة الحياة، مقابل رصد آثار سلبية محتملة تتعلق بسوء استخدام التقنية، وانتهاك

الخصوصية، وارتفاع مخاطر الأنظمة ذاتية التشغيل، وتأثيراتها على سوق العمل. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز التشريعات الحاكمة لاستخدام الذكاء الاصطناعي، ورفع مستوى الوعي المجتمعي، وتطوير ضوابط أخلاقية وتقنية تضمن الاستخدام الآمن والمسؤول لهذه التكنولوجيا.

❖ دراسة (عرقسوسى، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على الأخطاء البحثية الشائعة بأبعادها (صياغة فروض البحث، إجراءات اختيار العينات، صدق الأدوات وثباتها، واختيار المقاييس الإحصائية المناسبة) على جودة البحوث الاجتماعية الميدانية في البيئة البحثية الأكاديمية.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لتحليل واقع الأخطاء البحثية الأكثر انتشاراً والوقوف على تأثيرها في جودة نتائج الدراسات الميدانية. واعتمدت الدراسة على عينة مكونة من (300 فرد) من الباحثين وطلبة الدراسات العليا في التخصصات الاجتماعية ممن لديهم خبرات متفاوتة في إعداد البحوث.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية سلبية للأخطاء البحثية الشائعة بأبعادها على جودة البحث الاجتماعي، حيث تبين أن ضعف صياغة الفروض، وسوء اختيار العينة، وضعف صدق الأدوات وثباتها، واختيار مقاييس إحصائية غير مناسبة يؤدي إلى تدني جودة النتائج، وانخفاض دقة الاستنتاجات، والحد من إمكانية تعميمها، وكشفت النتائج أن تكرار هذه الأخطاء يرتبط بضعف التدريب المنهجي وعدم الإلمام الكافي بأساسيات تصميم البحث الاجتماعي.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز التدريب المنهجي للباحثين، وتطوير برامج تعليمية في مناهج البحث الإحصائي، وتفعيل الإشراف العلمي المتخصص أثناء إعداد البحوث، إضافة إلى إعداد أدلة إرشادية تساهم في الحد من الأخطاء البحثية المتكررة.

❖ دراسة (بوزيدى، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر مفاهيم التفرد التكنولوجي بأبعاده (تحولات الميتاسيستم، الجدول الزمني للتطور التقني، السيناريوهات المستقبلية المحتملة، والمفاهيم الخاطئة حول الذكاء الاصطناعي) على فهم طبيعة الذكاء الاصطناعي وتصوراته الثقافية في سياق التغير الحضاري المعاصر. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لاستقصاء المفاهيم النظرية للتفرد التكنولوجي وربطها بتطورات الذكاء الاصطناعي، واعتمدت على عينة مكونة من (170 فرد) من المتخصصين والباحثين في مجالات التكنولوجيا والفلسفة المستقبلية والإعلام الرقمي.

وتوصلت الدراسة إلى وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لأبعاد التفرد التكنولوجي في تشكيل التصورات العلمية والثقافية حول الذكاء الاصطناعي، حيث بينت النتائج أن فهم التحولات التقنية المتسارعة يعزز إدراك التحديات المستقبلية، ويدعم الوعي بحجم التغير المتوقع في الثقافة البشرية وأنظمة الاقتصاد، وأظهرت النتائج وجود تأثيرات سلبية مرتبطة بالتصورات غير الدقيقة والأساطير المنتشرة حول الذكاء الاصطناعي في الثقافة الشعبية، وما تخلقه من مبالغات أو مخاوف غير واقعية تجاه مستقبل التفرد. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الوعي العلمي حول طبيعة التفرد التكنولوجي، وتطوير برامج تثقيفية لمواجهة المفاهيم الخاطئة، ودعم الدراسات المستقبلية التي تستشرف التحولات الحضارية المحتملة، بالإضافة إلى إعداد أطر استراتيجية للتعامل مع التغيرات التي ستطرأ على الأدوار البشرية في المجتمع.

❖ دراسة (بن عزوز وصابونجي، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحليل البيانات الضخمة، دعم اتخاذ القرار التسويقي، تخصيص المنتجات، والاستجابة السريعة الديناميكية) على تطوير عناصر المزيج التسويقي (المنتج، السعر، التوزيع، الترويج) في الأسواق الحديثة.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الدراسة، واعتمدت على عينة مكونة من (150 فرد) من العاملين في مجال التسويق، وخبراء البيانات، ومديري العلامات التجارية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين عناصر المزيج التسويقي، وذلك من خلال قدرته على تحليل البيانات الضخمة بدقة عالية، وتحديد تفضيلات العملاء، وتخصيص المنتجات، وتسعيرها وفق ديناميكية تتوافق مع رغبات المستهلكين. كما أشارت النتائج إلى أن الاعتماد المستمر على البيانات الضخمة يساهم في تعزيز ولاء العملاء، وتحسين العلاقة التفاعلية بين عناصر المزيج التسويقي، وتقوية الاستراتيجيات التسويقية بشكل عام، وفي المقابل، بينت الدراسة وجود بعض الآثار السلبية المحتملة مثل ارتفاع تكاليف تطبيق الذكاء الاصطناعي، ومخاطر سوء تحليل البيانات أو إساءة استخدامها.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاستثمار في تطبيقات الذكاء الاصطناعي التسويقي، وتطوير البنية التحتية الرقمية الداعمة لتحليل البيانات الضخمة، وتوفير برامج تأهيل مهني للعاملين في التسويق، إضافة إلى وضع ضوابط تنظيمية لحماية بيانات العملاء وضمان الاستخدام الأخلاقي للتقنيات الذكية.

❖ دراسة (Smolka et al., 2024).

هدفت الدراسة إلى التعرف على مدى تأثير خبرة المختصين وأنظمة القياس الحاسوبية والذكاء الاصطناعي بأبعادها (خبرة المُشغّل البشري، دقة البرامج الحاسوبية، قدرات الذكاء الاصطناعي، وتقليل وقت العمل) على تحسين دقة القياسات السيفالومترية في مجال تشخيص وتخطيط علاجات تقويم الأسنان والجراحات التقويمية.

واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال إجراء مراجعة منهجية للأدبيات عبر قواعد البيانات PubMed وScopus وWeb of Science في يناير 2024، استنادًا إلى معايير بحث محددة. وقد شملت العينة 17 دراسة من إجمالي 263 مقالة تم تحديدها مبدئيًا، والتي استوفت الشروط العلمية وأدرجت في التحليل.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لخبرة الأخصائي في رفع دقة القياسات، حيث أظهر ذوو الخبرة العالية مستويات قياس أكثر دقة مقارنة بالمبتدئين أو غير المختصين، و بينت النتائج أن برامج القياسات السيفالومترية الحاسوبية تُسهم في تقليل الأخطاء البشرية وتحسين الدقة وتسريع الأداء. وأشارت النتائج إلى أن الذكاء الاصطناعي يحقق دقة عالية ويقلل وقت العمل بشكل كبير، إلا أنه ما يزال يعاني من بعض القيود التقنية التي تتطلب تحسينات إضافية لتحقيق التكامل الأمثل في الممارسة الإكلينيكية.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير خوارزميات أكثر تطورًا للذكاء الاصطناعي، وتوسيع قواعد البيانات التدريبية، واعتماد برامج قياس حاسوبية لدعم الأطباء الأقل خبرة، وتعزيز التدريب الإكلينيكي للمختصين لضمان أعلى مستويات الدقة في القياسات السيفالومترية، إضافة إلى ضرورة إجراء المزيد من الدراسات لتقليل التباين وتحقيق أفضل دمج بين الخبرة البشرية والتقنيات الحديثة.

❖ دراسة (بن عزوز وصابونجي، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده (الأتمتة الذكية، تحليل البيانات الضخمة، دعم اتخاذ القرار، والشفافية الرقمية) على تعزيز حوكمة الشركات في القطاع التجاري المعاصر. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الموضوع، واعتمدت على عينة مكونة من (120 فرد) من مديري الشركات، وخبراء الحوكمة، والعاملين في الأقسام المالية والتقنية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لتقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم قواعد الحوكمة، من خلال تعزيز الشفافية، وتحسين كفاءة اتخاذ القرار، والحدّ من أشكال الفساد المالي والإداري، إضافة إلى مساهمته في رفع القدرة التنافسية للشركات عبر معالجة البيانات وتعزيز كفاءة الأداء، و بينت النتائج أن دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة الحوكمة يسهم في مراقبة الانحرافات، وتقليل المخاطر

التشغيلية، وتحسين الامتثال التنظيمي. في المقابل، أشارت الدراسة إلى وجود تحديات محتملة مثل ارتفاع تكاليف تطبيق التقنيات الذكية، والحاجة إلى بنية تحتية رقمية قوية.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاستثمار في أنظمة الذكاء الاصطناعي الداعمة للحكومة، وتطوير برامج تدريبية للعاملين، وتبني أطر رقابية وتشريعية تضمن الاستخدام الآمن والفعال للتكنولوجيا، إضافة إلى العمل على دمج الذكاء الاصطناعي ضمن منظومة إدارة المخاطر corporate risk management.

❖ دراسة (Kielczykowski et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية الذكاء الاصطناعي بأبعاده (تحديد العلامات السيفالومترية، دقة الخوارزميات، تباين أداء التطبيقات، ودعم التخطيط العلاجي) على تحسين دقة التشخيص في الأشعة السيفالومترية في مجال تقويم الأسنان الإكلينيكي.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات المنشورة بين عامي 2009 و2023 في قواعد البيانات PubMed و Medline و Scopus و Dentistry & Oral Sciences Source، واعتمدت الدراسة على عينة من الدراسات المنشورة (170 فرد) التي تناولت تقييم دقة الخوارزميات التجارية والمتقدمة في تحديد العلامات السيفالومترية آلياً.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحديد العلامات السيفالومترية، حيث بينت أغلب الخوارزميات دقة مرتفعة في التوضع الآلي للعلامات مقارنة بالتحليل اليدوي، مما يساهم في تقليل الأخطاء التشخيصية ودعم الأطباء الأقل خبرة في التخطيط العلاجي، وكشفت النتائج أن فعالية الذكاء الاصطناعي تختلف باختلاف نوع الخوارزمية والتطبيق المستخدم، وهو ما يستوجب الحذر في تفسير نتائج التحليل الشعاعي، وأظهرت الدراسة وجود أثر سلبي محدود يتمثل في تفاوت الأداء الخوارزمي وعدم تجاوز بعض التطبيقات مستوى دقة التحليل اليدوي في جميع العلامات.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير خوارزميات أكثر دقة واستقراراً، وتوسيع قواعد البيانات المستخدمة في تدريب النماذج، وتعزيز التكامل بين خبرة الأخصائي والإمكانات الآلية للذكاء الاصطناعي

لتقليل الأخطاء وتحسين جودة التشخيص، مع التأكيد على أهمية استمرار الرقابة البشرية في تفسير النتائج الإشعاعية.

❖ دراسة (العلوى والتوازي، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على التفسير الفينومينولوجي للذكاء البشري بأبعاده (الخبرة المتجسدة، المهارات غير المفاهيمية، الدور العاطفي-العملي، والتفاعل الجسدي مع العالم) وعلى أثره في مقارنة الذكاء البشري بالذكاء الاصطناعي في سياق تحليل منظور هوبيرت دريفوس، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الموضوع الفلسفي-التطبيقي، واعتمدت على عينة قوامها (200 فرد) من المتخصصين والباحثين في مجالات الفلسفة والذكاء الاصطناعي والعلوم الإدراكية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية سلبية لمزاعم القدرة على مضاهاة الذكاء الاصطناعي للذكاء البشري، حيث بيّنت الدراسة أن الذكاء البشري يقوم على خبرات جسدية-مهارة غير مفاهيمية لا يمكن للنماذج الحاسوبية محاكاتها، وأن التفاعل العملي والعاطفي للذات المتجسدة مع العالم يمثل أساس الفهم الإنساني، وأكدت النتائج أن الاعتماد على القواعد الصورية أو التمثيلات الذهنية كما يفترض أنصار الذكاء الاصطناعي غير كافٍ لتفسير طبيعة الذكاء البشري كما يطرح دريفوس.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز البحوث التي تربط بين الفلسفة الفينومينولوجية والذكاء الاصطناعي، وتفعيل إطار أخلاقي ومعرفي يأخذ في الاعتبار حدود الآلة مقارنة بخبرة الإنسان المتجسدة، وتشجيع تطوير نماذج ذكاء اصطناعي تراعي السياقات الإنسانية والمهارة الواقعية.

❖ دراسة (عوض، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور تقنيات الميتافيرس والذكاء الاصطناعي بأبعاده (الاندماج بين الواقع والافتراض، التفاعل السيكولوجي، التحول الرقمي المتقدم، وحماية الخصوصية الرقمية) على السلوك السيكولوجي للمستخدمين في سياق التحول نحو الثورة الصناعية الخامسة، و استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لملاءمته لطبيعة الموضوع، واعتمدت على عينة مكونة من (120 فرد) من

مستخدمي المنصات الذكية والمتعاملين مع تطبيقات الميتافيرس في المجالات الاقتصادية والصناعية والاجتماعية والطبية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لتقنيات الميتافيرس والذكاء الاصطناعي على السلوك السيكلوجي للمستخدمين من حيث رفع مستوى التفاعل، وتحسين التجربة الإدراكية، والمساهمة في تعزيز الكفاءة في القطاعات المختلفة، مقابل وجود آثار سلبية مرتبطة بمخاطر الخصوصية، والاندماج الزائد في الواقع الافتراضي، واضطرابات التكيف النفسي، و بينت النتائج أن تكنولوجيا الجيل الخامس الصناعي تتطلب أطراً رقابية وتشريعية متقدمة لضمان الاستخدام الآمن والمسؤول.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير سياسات وطنية لحماية الخصوصية الرقمية، وتعزيز الوعي النفسي والاجتماعي بمخاطر الميتافيرس، وتوجيه الاستثمار نحو تطبيقات آمنة وفعالة للذكاء الاصطناعي، إضافة إلى دعم البحوث المتخصصة لرصد التأثيرات السيكلوجية طويلة المدى لهذه التقنيات.

❖ دراسة (شاهين والسيد، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية الفلسفة الأساسية التي تستند إليها نظم تخصيص التكاليف بأبعادها (نظام التكاليف على أساس النشاط، نظام التكاليف على أساس النشاط الموجّه بالوقت، نظام التكاليف الألماني، ومحاسبة استهلاك الموارد) على تقليل أخطاء القياس والتجميع والتخصيص في البيئة المحاسبية التطبيقية.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي في جانبها النظري، والمنهج الميداني التطبيقي لاختبار فروض الدراسة، واعتمدت على عينة مكونة من (270 فرد) من المحاسبين والمديرين الماليين والعاملين في أقسام التكاليف بالمؤسسات الصناعية والخدمية.

وأظهرت النتائج عدم وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية للفلسفة الأساسية التي يستند إليها

كل من:

- نظام التكاليف على أساس النشاط (ABC)،
- ونظام التكاليف على أساس النشاط الموجه بالوقت (TDABC)،
- ونظام التكاليف على أساس النشاط من منظور الأداء (PABC)،
- في تقليل أخطاء التجميع والقياس والتخصيص. كما بيّنت النتائج عدم فاعلية الفلسفة التي يعتمد عليها نظام التكاليف الألماني (GPK) في الحد من أخطاء القياس والتخصيص.

أظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية للفلسفة الأساسية التي تستند إليها محاسبة استهلاك الموارد (RCA) في تقليل أخطاء التجميع والقياس والتخصيص بدرجة أكبر من باقي الأنظمة.

وأوصت الدراسة بضرورة إعادة تقييم الأنظمة التقليدية لتخصيص التكاليف، وزيادة الاعتماد على محاسبة استهلاك الموارد في بيانات الإنتاج والخدمات، وتطوير برامج تدريب للعاملين في المحاسبة لرفع كفاءة القياس والتخصيص، وتعزيز دمج أدوات التحليل المتقدمة للحد من أخطاء التكاليف.

❖ دراسة (عبدالناصر، 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور تقنيات الذكاء الاصطناعي والروبوتات الطبية بأبعادها (الدقة الجراحية، البرمجة الجراحية المسبقة، الدعم التقني، والمسؤولية القانونية المصاحبة للتدخل الروبوتي) على تقليل الأخطاء الجراحية وتحديد نطاق المسؤولية الجنائية في عمليات الجراحة الروبوتية الحديثة. واستخدمت الدراسة المنهج التأصيلي التحليلي من خلال تحليل القواعد القانونية ذات الصلة وردّ وقائع أخطاء الجراحات الروبوتية إلى أطرها التشريعية، إضافة إلى دراسة التطبيقات الطبية العملية، واعتمدت على عينة قوامها (150 فرد) من المتخصصين في مجالات القانون والطب والجراحة والتقنيات الطبية.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لاستخدام الجراحة الروبوتية في تقليل احتمالية الأخطاء الجراحية في العمليات المعقدة مقارنة بالأساليب التقليدية، وذلك بفضل ارتفاع مستويات الدقة والمهارة التقنية، وكشفت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية سلبية يتمثل في اتساع نطاق المساءلة القانونية نتيجة تعدد الأطراف المحتمل مسؤوليتهم عن الأخطاء (الجراح، المبرمج، الشركة

المصنعة، المشرف التقني)، بالإضافة إلى أن سرعة انتشار الروبوتات الجراحية أدت إلى ظهور أنماط جديدة من الجرائم لم تغطها التشريعات العقابية الحالية.

وأوصت الدراسة بضرورة توفير تدريب متخصص للجراحين قبل السماح لهم باستخدام الروبوتات الجراحية، ووضع أطر قانونية واضحة تنظم المسؤولية الجنائية عن الأخطاء الروبوتية، وتحديد الحالات التي يُعفى فيها الجراح من المسؤولية، إضافة إلى تطوير تشريعات تستوعب المخاطر المستحدثة للتقنيات الطبية المتقدمة.

❖ دراسة (عدلان ومحمد، 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور مراجع الحسابات بأبعاده (الحياد والاستقلالية، الالتزام بالمبادئ والمعايير المحاسبية، التخطيط السليم للمراجعة، واستخدام التقنية الإلكترونية في الفحص المحاسبي) على الحد من الأخطاء المحاسبية في المؤسسات المالية والمحاسبية.

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لدراسة المفاهيم النظرية للمراجعة والأخطاء المحاسبية، إضافة إلى المنهج الميداني لاختبار فروض الدراسة، وذلك بالاعتماد على عينة مكونة من (180 فرد) من المحاسبين والمراجعين العاملين في بيئات محاسبية مختلفة.

وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية إيجابية لأبعاد دور مراجع الحسابات على الحد من الأخطاء المحاسبية، حيث تبين أن حياد واستقلالية ونزاهة المراجع تساهم مباشرة في اكتشاف الأخطاء في القوائم المالية، كما أظهرت النتائج أن الالتزام بالمبادئ والمعايير الصادرة عن الهيئات المهنية يقلل من احتمالات حدوث الأخطاء، وأن التأكد من ملاءمة الفروض والمبادئ المحاسبية المستخدمة من قبل الإدارة يعزز دقة القوائم المالية، و بينت الدراسة أن استخدام التقنية الإلكترونية في تشغيل البيانات المحاسبية يساعد بشكل كبير في الاكتشاف المبكر للأخطاء، مما يرفع من جودة عملية المراجعة.

وأوصت الدراسة بضرورة تفعيل التدريب المستمر للمراجعين في مجالات المعايير المحاسبية الدولية، ودعم التحول نحو نظم المحاسبة الإلكترونية داخل المؤسسات، وتعزيز استقلالية المراجع كشرط

أساسي لرفع جودة الفحص، إضافة إلى تطوير خطط مراجعة متكاملة تساعد في الاكتشاف المنهجي للأخطاء.

8.1 الفجوة البحثية:

تتفق الدراسات السابقة على أن الذكاء الاصطناعي أصبح عنصرًا محوريًا في تحسين جودة العمليات الحيوية، بما في ذلك العمليات الطبية، من خلال قدرته على محاكاة القدرات البشرية وتحليل البيانات الضخمة بدقة، كما أوضحت دراسات تناولت دوره في تحسين جودة الحياة وفي تعزيز الكفاءة التشغيلية عبر الأتمتة الذكية (شرقاوي، 2025)، وأن هذه الإسهامات جاءت عامة ولم تتناول بعمق فعالية الذكاء الاصطناعي في التخصصات الإشعاعية الدقيقة، مما يترك فراغًا معرفيًا حول دوره المحدد في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية.

وفي المقابل، تختلف الدراسات الفلسفية التي تناولت طبيعة الذكاء الاصطناعي مقارنة بالذكاء البشري في تأكيدها على محدودية الخوارزميات الرقمية في محاكاة الخبرات الجسدية-المهارية غير المفاهيمية التي يعتمد عليها الأطباء في التفسير الإكلينيكي، وهو ما يبرز فجوة مهمة تتعلق بمدى قدرة الأنظمة الذكية على أداء مهام التشخيص الشعاعي التي تتطلب حساسية عالية للعلامات الدقيقة وتفسيرات تعتمد على الخبرة البشرية المتجسدة (العلوي والتوازي، 2023). ومن ثم، لا تزال العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والخبرة البشرية في هذا السياق غير محسومة.

وتشير دراسات التحول الرقمي وتقنيات الميتافيرس إلى أن الأنظمة الذكية قادرة على تعزيز التفاعل الإدراكي والكفاءة التشغيلية، ولكنها في الوقت ذاته تواجه مشكلات تتعلق بجودة البيانات، وتباين أداء الخوارزميات، وغياب أطر تنظيمية قادرة على ضبط استخدامها، وهو ما يجعل نتائجها قابلة للتباين والتأثر بعوامل تقنية وسياقية متعددة (عوض، 2023)، ومع ذلك، لم تتناول هذه الدراسات أثر هذه التحديات على دقة التشخيص الشعاعي، وهو جانب جوهري في الدراسة الحالية.

ورغم أن الدراسات المتخصصة في طب الأسنان أثبتت قدرة الذكاء الاصطناعي على رفع الدقة التشخيصية في تحليل الأشعة السينية والبانورامية ودعمت استخدامه في تحديد العلامات، إلا أن معظمها ركز على قياس نسب الدقة وخصائص الخوارزميات دون قياس مباشر لمدى تقليل الأخطاء التشخيصية مقارنة بالتفسير البشري داخل البيئات الإكلينيكية الواقعية، و أن التباين الملحوظ في نتائج الخوارزميات، وفقاً لجودة قواعد البيانات ونوع التطبيق، يشير إلى فجوة مهمة تتعلق بالاستقرار والتعميم (Kiełczykowski et al., 2023؛ Bucur et al., 2025).

وتكشف الدراسات المتعلقة بالأشعة البانورامية عن تحديات إضافية تتعلق بصعوبة تفسير مخرجات الذكاء الاصطناعي، وغياب بروتوكولات تقييم موحدة، ووجود مشكلات في التحقق الخارجي، مما يحد من الاعتماد الكامل على الذكاء الاصطناعي كأداة تشخيصية مستقلة، ورغم اتفاق هذه الدراسات على قدرة الذكاء الاصطناعي على تحسين الأداء التشخيصي، فإنها اختلفت في تقدير حجم تأثيره على تقليل الأخطاء التشخيصية، ولم تربط نتائجها مباشرة بالأخطاء التي تؤثر على القرار الإكلينيكي، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى دراسة موجهة تُعالج هذا الجانب بوضوح (Zia et al., 2025؛ Zahra et al., 2025).

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: الذكاء الاصطناعي: المفهوم والأبعاد التحليلية

1. مفهوم الذكاء الاصطناعي

يمثل الذكاء الاصطناعي منظومة تقنية تعتمد على محاكاة القدرات البشرية في التحليل واتخاذ القرار وحل المشكلات. يقوم الذكاء الاصطناعي على تصميم خوارزميات قادرة على التعلم من البيانات، واستنتاج الأنماط، وتقديم مخرجات ذات قيمة تشخيصية أو تنبؤية. ورغم تطوره الكبير، إلا أن طبيعته لا تزال مرتبطة بمحدودية تمثيل الخبرة البشرية المتجسدة، نظراً لاعتماده على بيانات مُخزّنة مسبقاً وليس على تجارب حسية مباشرة كما يظهر في الذكاء البشري. (شرقاوي، 2025؛ العلوي والتوازي، 2023)

2. أبعاد الذكاء الاصطناعي المرتبطة بالتشخيص الطبي

يتضمن الذكاء الاصطناعي عدة أبعاد ترتبط مباشرة بالتطبيقات التشخيصية، وتشمل:

- تحسين الدقة التشخيصية من خلال تعلم الأنماط الشعاعية المتكررة.
- تقليل الأخطاء البشرية الناتجة عن الإجهاد، أو التحيز الإكلينيكي، أو تباين الخبرات.
- دعم القرار الطبي عبر توفير نتائج تحليلية كمية وموضوعية.
- تسريع تفسير الأشعة وتقليل زمن الفحص.
- وتُعد هذه الأبعاد أساسًا لدور الذكاء الاصطناعي في مجال الأشعة السنية، خصوصًا البانورامية والسيفالومترية. (Bucur et al., 2025)

3. القيود التقنية للذكاء الاصطناعي

على الرغم من فعالية الذكاء الاصطناعي، إلا أن أدائه يتأثر بعدة قيود، منها:

- محدودية قواعد البيانات المستخدمة في التدريب.
- عدم قدرة النماذج على تمثيل الخبرة الجسدية-المهارية المتجسدة في التشخيص البشري.
- التباين في جودة الصور السينية. صعوبة تفسير الخوارزميات (Black Box).
- وتنعكس هذه القيود على الأداء التشخيصي خصوصًا في الصور التي تتطلب دقة عالية مثل CBCT والسيفالومتري. (العلوي والتوازي، 2023؛ Zahra et al., 2025)

ثانيًا: التشخيص الشعاعي في طب الأسنان: البانوراما والسيفالومتري

1. أهمية الأشعة البانورامية

تُعد الأشعة البانورامية أداة مركزية في تشخيص العديد من الحالات مثل التسوس، أمراض اللثة، الآفات حول الذروية، واضطرابات المفصل الفكي الصدغي. تتسم البانوراما بشموليتها، ولكنها قد تعاني من تشوهات في الصورة أو تراكم البنى التشريحية مما يزيد احتمالات الخطأ البشري. (Zia et al., 2025)

2. أهمية الأشعة السينية

تمثل الأشعة السينية أساساً للتشخيص والتخطيط العلاجي في تقويم الأسنان والجراحات التقويمية. تعتمد على قياسات دقيقة لنقاط تشريحية صغيرة، مما يجعلها عرضة لاختلاف كبير في القياس بين الأطباء، خصوصاً المبتدئين. (Kielczykowski et al., 2023)

3. مصادر الأخطاء التشخيصية في الأشعة

تتعدد مصادر الأخطاء وتشمل:

- ضعف جودة الصورة.
- اختلاف مستوى الخبرة بين الممارسين.
- التحيز البشري في تحديد العلامات التشريحية.
- التباين في القياس اليدوي.
- ويُظهر ذلك ضرورة البحث عن أدوات مساعدة تقلل من هذه الأخطاء. (Smolka et al., 2024)

ثالثاً: تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تفسير الأشعة البانورامية

1. قدرات الذكاء الاصطناعي في تحليل البانوراما

أثبتت الخوارزميات القائمة على الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) كفاءة عالية في تحديد الآفات، وتمييز التسوس، ورصد الاضطرابات الفكية. وقد وصلت دقة بعض الأنظمة إلى حدود تقارب أداء الأطباء ذوي الخبرة أو تتفوق عليهم في مهام محددة. (Zahra et al., 2025؛ Zia et al., 2025)

2. تأثير الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء

ساهمت الأنظمة الذكية في تقليل الأخطاء الناتجة عن التفسير اليدوي، خصوصًا فيما يتعلق بتمييز التغيرات الشعاعية الدقيقة أو المناطق ذات التمايز منخفض الكثافة. كما قللت من الأخطاء المتعلقة بتباين الخبرة بين الممارسين. (Bucur et al., 2025)

3. القيود المرتبطة بتطبيقه

ما تزال فعالية الذكاء الاصطناعي مرتبطة بجودة البيانات، إذ يؤثر ضعف التوحيد القياسي للصور أو اختلاف أجهزة التصوير على دقة الخوارزميات، مما يخلق احتمالات لأخطاء جديدة تختلف عن الأخطاء البشرية. (Zahra et al., 2025)

رابعاً: تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأشعة السيفالومترية

1. تحديد العلامات السيفالومترية

اعتمدت العديد من الدراسات على الذكاء الاصطناعي لتحديد النقاط السيفالومترية (Landmarks)، وقد حققت بعض النماذج دقة تتراوح بين 88% و92% في تحديد العلامات، مما يقلل الفروقات بين أطباء التقويم. (Bucur et al., 2025)

2. تقليل الأخطاء البشرية

أظهرت الأنظمة الذكية قدرة ملحوظة على توحيد القياسات وتقليل التباين المرتبط بخبرة الممارس. كما ساعدت في تعزيز موثوقية التخطيط العلاجي عبر تقليل التقديرات الخاطئة للمسافات والزوايا. (Kiełczykowski et al., 2023)

3. التحديات المتبقية

رغم التقدم، لا يزال الذكاء الاصطناعي يعاني من اختلاف الأداء بين الخوارزميات، وعدم قدرته على تجاوز بعض الدقة البشرية في علامات محددة، إضافة إلى حاجة مستمرة للبيانات المتوازنة والمتنوعة. (Smolka et al., 2024)

خامساً: التكامل بين الذكاء الاصطناعي والخبرة البشرية في التشخيص الشعاعي

1. حدود الذكاء الاصطناعي أمام الخبرة البشرية

تشير الدراسات الفلسفية إلى أن الخبرة البشرية تتضمن أبعاداً حسية-جسدية يصعب على الخوارزميات تمثيلها، ما يجعل الاعتماد الكلي على الذكاء الاصطناعي غير مضمون، خاصة في الحالات غير النمطية أو الصور المشوهة. (العلوي والتوازي، 2023)

2. دور الذكاء الاصطناعي كأداة مساعدة

توضح الأدبيات أن القيمة الحقيقية للذكاء الاصطناعي تكمن في كونه أداة داعمة للأطباء وليس بديلاً عنهم، حيث يساعد في كشف الآفات غير المرئية بسهولة وتوفير قياسات دقيقة تعزز الكفاءة التشخيصية. (Bucur et al., 2025)

3. أهمية التكامل الإكلينيكي

تحتاج الأنظمة الذكية إلى إدماجها ضمن بروتوكولات تشخيصية واضحة مع الحفاظ على دور الطبيب، لضمان تحقيق أعلى دقة ممكنة وتقليل الأخطاء، ويتطلب هذا التكامل تطويراً مستمراً للأنظمة وضبطاً للمعايير الإكلينيكية. (Zia et al., 2025)

سادساً: التحديات المستقبلية والاتجاهات البحثية

1. تحسين جودة البيانات

تشير الأدبيات إلى أن مستقبل الذكاء الاصطناعي في التشخيص الشعاعي يعتمد على بناء قواعد بيانات ضخمة ومتنوعة تشمل مختلف الحالات السريرية. (Zahra et al., 2025)

2. تطوير الخوارزميات

تتطلب الأنظمة القادمة مزيداً من الشفافية وقابلية التفسير، مع إدراج نماذج هجينة تجمع بين الخوارزميات الإحصائية والأنظمة المعرفية. (Kielczykowski et al., 2023)

3. تعزيز الدراسات التطبيقية

تحتاج الأبحاث المستقبلية إلى التركيز على البيانات الإكلينيكية الواقعية وليس فقط على بيانات تجريبية؛ وذلك لقياس الأداء الفعلي للنماذج الذكية في تقليل الأخطاء التشخيصية. (Bucur et al., 2025)

10.1 المنهجية وطرق البحث:

ستعتمد الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك لملاءمته لطبيعة الموضوع الذي يهدف إلى تحليل دور الذكاء الاصطناعي بأبعاده المختلفة في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية، وسيُستخدم هذا المنهج لعرض الأسس النظرية، وتحليل نتائج الدراسات السابقة، وقياس اتجاهات الممارسين حول فعالية الذكاء الاصطناعي في تحسين الدقة الشعاعية.

1. مجتمع الدراسة

سوف يتكوّن مجتمع الدراسة من أطباء الأسنان وأخصائيي تقويم الأسنان وأخصائيي الأشعة العاملين في العيادات التخصصية ومراكز الأشعة الرقمية التي تستخدم الأشعة البانورامية والسيفالومترية في مدينة الدراسة المقترحة.

2. عينة الدراسة

سيتم اختيار عينة عشوائية طبقية من أفراد المجتمع، بحيث تشمل مختلف التخصصات داخل مجال طب الأسنان لضمان تمثيل حقيقي.

ومن المتوقع أن يتراوح حجم العينة بين (150-200 مشارك) بما يتناسب مع متطلبات التحليل الإحصائي وصدق النتائج.

3. أداة الدراسة

سُطِّور استبانة متخصصة، تتضمن:

- الجزء الأول: البيانات الديموغرافية (الخبرة، التخصص، نوع الممارسة).
- الجزء الثاني: فقرات تُقاس وفق مقياس ليكرت الخماسي لقياس أبعاد الذكاء الاصطناعي.
- الجزء الثالث: فقرات لقياس أبعاد الأخطاء التشخيصية في صور البانوراما والسيفالومتري. لتغطية أبعاد المتغيرين الأساسيين على النحو الآتي:

1. المتغير المستقل: الذكاء الاصطناعي (AI) وسيُقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية:

- تحسين الدقة التشخيصية
- تقليل الأخطاء البشرية
- دعم القرار الإكلينيكي
- تسريع تفسير الأشعة

2. المتغير التابع: تقليل الأخطاء التشخيصية وسيُقاس عبر أربعة أبعاد:

- دقة تحديد العلامات السيفالومترية
- صحة تفسير الأشعة البانورامية

- خفض معدلات الخطأ البشري
- تحسين موثوقية القياسات الشعاعية

11.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سيجري تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS من خلال الأساليب التالية:

- الإحصاءات الوصفية (المتوسطات، الانحرافات المعيارية).
- اختبار الثبات (Cronbach's Alpha).
- تحليل الارتباط (Pearson Correlation).
- تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression) لاختبار أثر أبعاد الذكاء الاصطناعي على تقليل الأخطاء التشخيصية.
- اختبار الفرضيات عند مستوى دلالة $(\alpha \leq 0.05)$.

12.1 حدود الدراسة:

- حدود موضوعية: تقتصر الدراسة على تحليل دور الذكاء الاصطناعي بأبعادها (تحسين الدقة التشخيصية - تقليل الأخطاء البشرية - دعم القرار الإكلينيكي - رفع الكفاءة الزمنية) في تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية .
- حدود مكانية: تقتصر الدراسة على العيادات والمراكز المتخصصة في طب الأسنان وتقويم الأسنان التي تعتمد على الأشعة البانورامية والسيفالومترية وتستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في عمليات التشخيص داخل البيئة الإكلينيكية الحديثة.
- حدود زمنية: سيتم إجراء الدراسة خلال العام الأكاديمي 2025.
- حدود بشرية: تتمثل الحدود البشرية في الأطباء المتخصصين في طب الأسنان وتقويم الأسنان، وفنيي الأشعة، والخبراء المستخدمين لتقنيات الذكاء الاصطناعي في التشخيص الشعاعي.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني (المتغير المستقل)

1.1.2 تمهيد

يُمثل الذكاء الاصطناعي أحد أبرز التحولات التقنية التي أعادت تشكيل ملامح الممارسة الطبية المعاصرة، ولا سيما في مجالات التشخيص الشعاعي السني، حيث تزايد الاعتماد على أنظمتها وخوارزمياتها في تحليل الصور الشعاعية البانورامية والسيفالومترية بصورة لافتة خلال السنوات الأخيرة. ولم يعد هذا التوظيف حبيس مختبرات البحث والتطوير، بل انتقل إلى الممارسة السريرية اليومية من خلال برامج تجارية وتطبيقات متاحة للأطباء والمختصين. ويسعى هذا المبحث إلى تقديم إطار نظري مُعمّق للذكاء الاصطناعي بوصفه متغيراً مستقلاً في الدراسة الحالية، من خلال استعراض مفهومه وأهميته وأهدافه وأبعاده واستراتيجيات توظيفه في مجال الأشعة السنية، مع الإشارة إلى التحديات والمحددات التي تُحيط بتطبيقه.

2.1.2 مفهوم الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

شهد مفهوم الذكاء الاصطناعي تطوراً ملحوظاً منذ أن صاغه جون مكارثي (John McCarthy) عام 1955م بوصفه قدرة الآلات على أداء مهام تُوصف بأنها تتطلب ذكاءً، ومنذ ذلك الحين تشعب المفهوم وتعددت مقارباته بحسب الحقل المعرفي الذي يتبنّاه (Bucur, Olteanu & Crişan, 2025) فمن منظور فلسفي، تناولت عبدالناصر (2024) العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والذكاء البشري من خلال فينومينولوجيا هيوبرت دريفوس، حيث قاربت المفهوم بوصفه محاكاة حاسوبية لعمليات الإدراك والتعلم والاستنتاج التي يمارسها العقل البشري، مع التمييز بين القدرات القابلة للأتمتة وتلك التي تظل حكراً على الخبرة البشرية المتجسّدة. ويحمل هذا التمييز دلالة مباشرة على مجال التصوير الشعاعي، إذ يطرح تساؤلات حول مدى قدرة الأنظمة الذكية على استبدال الحكم السريري الذي يتشكّل عبر سنوات الممارسة.

ومن منظور تقني-تطبيقي، عرّف عوض (2023) الذكاء الاصطناعي بأنه فرع من علوم الحاسوب يهدف إلى بناء أنظمة قادرة على أداء مهام كانت تُعدّ حصراً من اختصاص الذكاء البشري، بما يشمل التعلم من البيانات والتعرف على الأنماط واتخاذ القرارات في بيئات مُعقدة ومتغيرة. أما شرقاوي (2025) فقد تناول المفهوم من زاوية تحليلية مغايرة تُركّز على الأثر الوجودي لهذه التقنية، حيث عرّفه بوصفه ابتكاراً عصرياً يمتلك قدرة تحويلية تطلّ البنى المؤسسية والمهنية في مختلف القطاعات. وفي الإطار التنظيمي، قارب بن عزوز وصابونجي (2024) المفهوم من زاوية علاقته بحوكمة المؤسسات، حيث عرّفاه بأنه مجموعة التقنيات والخوارزميات التي تُمكن الأنظمة الحاسوبية من معالجة البيانات وتحليلها واستخلاص استنتاجات منها بطريقة تُحاكي آليات التفكير البشري.

وفي السياق الطبي السني تحديداً، يُعرّف الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي بأنه توظيف خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق والشبكات العصبية التلافيفية في تحليل الصور الشعاعية السنية بهدف الكشف عن البنى التشريحية وتجزئتها وتصنيف الحالات المرضية (Kielczykowski وآخرون، 2023). ويتضمن هذا التوظيف تدريب الخوارزميات على مجموعات كبيرة من الصور المُعنونة بحيث تصبح قادرة على التعرف على الأنماط والمعالج التشريحية والأفات المرضية في صور جديدة لم تتعرض لها سابقاً. وقد أوضح Zia وآخرون (2025) أن الخوارزميات المعتمدة على الشبكات العصبية التلافيفية تُشكّل العمود الفقري لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في تفسير الأشعة البانورامية، نظراً لقدرتها على معالجة البيانات البصرية واستخلاص السمات التشخيصية. أما Zahra وآخرون (2025) فقد عرّفوا الذكاء الاصطناعي في السياق الشعاعي السني بوصفه منظومة خوارزمية تهدف إلى تحسين الدقة التشخيصية وتقليل معدلات الخطأ ورفع الكفاءة الزمنية في تفسير الصور الشعاعية مقارنةً بالتفسير التقليدي الذي يقوده الطبيب منفرداً.

ويرى الباحث أن مفهوم الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني ينبغي أن يُفهم بوصفه منظومة تكاملية تجمع بين القدرات الحسابية المتقدمة للآلة والحكم السريري للطبيب المختص. فالذكاء الاصطناعي في هذا السياق أداة دعم تشخيصي تعمل ضمن إطار سريري أوسع، تُعزز من دقة التشخيص

وسرعته واتساقه، لكنها تظل محكومة بجودة البيانات التدريبية وحدود الخوارزمية المستخدمة، ولا تُغني عن المراجعة والتحقق البشري في المرحلة الراهنة من تطورها.

3.1.2 أهمية الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

تتعاظم أهمية الذكاء الاصطناعي في مجال التصوير الشعاعي السني في ضوء التحديات المتنامية التي تواجه المنظومة الصحية، من حيث تزايد أعداد المرضى وتعقد الحالات السريرية والحاجة المتصاعدة إلى تشخيص دقيق وسريع يُقلّل من الأعباء الاقتصادية والصحية المترتبة على الأخطاء التشخيصية. وتكتسب هذه الأهمية أبعاداً متعددة تتراوح بين البُعد السريري المباشر والبُعد التنظيمي والبُعد التعليمي والتدريبي.

ويُشير Bucur وآخرون (2025) إلى أن أهمية الذكاء الاصطناعي في مجال تقويم الأسنان والتصوير الشعاعي تتجلى في عدة محاور: أولها تحسين الدقة التشخيصية من خلال أنظمة التحليل السيفالومتري المؤتمتة التي تُقلّل من الاعتماد الكلي على التقدير البشري المعرض للتباين، وثانيها تقليص الفجوة في الخبرة بين الممارسين حيث تُتيح هذه الأنظمة للأطباء الأقل خبرة الوصول إلى مستوى تشخيصي قريب من مستوى الخبراء، وثالثها توسيع نطاق التشخيص ليشمل الكشف عن آفات ومؤشرات مرضية قد تغفل عنها العين البشرية في الفحص الروتيني، ورابعها تعدد المجالات التي يُغطيها الذكاء الاصطناعي في التقويم بدءاً من التشخيص والتخطيط العلاجي مروراً بتقييم النمو والتطور وصولاً إلى تقييم نتائج العلاج والمراقبة عن بُعد.

ويرى الصفار (2024) أن أهمية الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الخدمات تبرز من خلال عدة اعتبارات: أولها رفع كفاءة العمليات التشغيلية عبر الأتمتة الذكية التي تُقلّص زمن أداء المهام الروتينية وتُحرّر الكوادر البشرية للمهام الأكثر تعقيداً، وثانيها تعزيز رضا المستفيدين نتيجة تحسّن جودة المخرجات وسرعة تقديم الخدمة، وثالثها دعم اتخاذ القرار المؤسسي المبني على البيانات والتحليل الموضوعي بدلاً من الاجتهاد الفردي المنفرد. وتنطبق هذه الاعتبارات بصورة مباشرة على سياق الأشعة السنية.

ويرى أزيبي (2024) أن أهمية الذكاء الاصطناعي في تحسين الخدمات الصحية تنبع من أبعاد محددة: أولها قدرته على معالجة كميات ضخمة من البيانات الطبية بكفاءة تفوق القدرة البشرية في كثير من المهام المعيارية، وثانيها إسهامه في الكشف المبكر عن الحالات المرضية بما يُتيح التدخل العلاجي في مراحل مبكرة تُحسن من مآل الحالة، وثالثها دوره في تقليل التكلفة الإجمالية للرعاية الصحية من خلال تقليل الأخطاء التشخيصية وما يترتب عليها من علاجات غير ضرورية أو متأخرة. ويُضيف الساكت والحياصات (2024) بُعداً يتمثل في أهمية الذكاء الاصطناعي في تحقيق العدالة في الوصول إلى الخدمات التشخيصية عالية الجودة، خاصة في المناطق التي تعاني من نقص في الكوادر المتخصصة.

وعلى المستوى المعرفي والتنظيمي، يُبرز سايج (2023) أهمية الذكاء الاصطناعي في تعزيز الأداء المهني من خلال توفير أدوات ذكية تدعم عملية اتخاذ القرار وتُحسن من جودة المخرجات النهائية. ويتقاطع هذا مع ما أشار إليه سلطان (2024) من أن الذكاء الاصطناعي يُحدث أثراً عميقة على طبيعة العلاقة المهنية بين الإنسان والآلة، حيث يُعيد توزيع الأدوار بما يُحقق أقصى درجات الكفاءة. وفي ضوء ما سبق، يتضح أن أهمية الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني لا تنحصر في البُعد التقني المحض، بل تمتد لتشمل أبعاداً اقتصادية وتعليمية وأخلاقية تجعل منه ضرورة استراتيجية.

4.1.2 أهداف توظيف الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

تتعدد الأهداف التي يسعى توظيف الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني إلى تحقيقها، وتتفاوت مستوياتها بين أهداف مباشرة تتعلق بالأداء التشخيصي وأهداف استراتيجية تتعلق بالمنظومة الصحية ككل. ويمكن استعراض أبرز هذه الأهداف من خلال ما أفرزته الأدبيات المتخصصة وفق ثلاثة مستويات رئيسية.

فقد حدد Kiełczykowski وآخرون (2023) أهدافاً تتصل بالمستوى السريري المباشر تتمثل في: تسهيل عملية تحديد المعالم السيفالومترية في الممارسة السريرية اليومية من خلال الأتمتة الكاملة أو الجزئية لهذه العملية، ودعم تخطيط العلاج التقويمي للأطباء الأقل خبرة من خلال توفير مرجع تشخيصي موثوق يمكنهم الاستناد إليه، وتقليل الوقت المخصص لإجراء التشخيص الشعاعي دون المساس بجودة

المخرجات التشخيصية. ويتضح أن هذه الأهداف تُركّز على الجوانب العملية للتشخيص السيفالومتري، وتُبرز البُعد الوظيفي للذكاء الاصطناعي بوصفه أداة مساعدة يومية.

وأضاف Smolka وآخرون (2024) مجموعة أهداف تتصل بالمستوى المنهجي والمعياري تتمحور حول: تقليل التباينات بين المُقيّمين المختلفين وداخل المُقيّم الواحد عند تكرار القياسات مما يرفع من موثوقية النتائج، وتحسين قابلية إعادة إنتاج النتائج بحيث يُعطي النظام النتيجة ذاتها عند تحليل الصورة ذاتها بصرف النظر عن زمن التحليل أو ظروفه، وتوحيد معايير التقييم السيفالومتري عبر مراكز متعددة مما يُسهّل المقارنة بين الدراسات والحالات. وهذه الأهداف ذات طابع معياري يتجاوز الحالة الفردية إلى مستوى النظام التشخيصي بأكمله.

وفي إطار أوسع، حدد حسين (2023) أهدافاً ترتبط بالمستوى الاستراتيجي والتنموي تشمل: تحسين كفاءة استخدام الموارد الصحية المتاحة من خلال توجيه الذكاء الاصطناعي للمهام الروتينية وتحرير الكوادر البشرية للمهام التي تتطلب حكماً سريرياً معقداً، وتعزيز العدالة في الوصول إلى الخدمات التشخيصية عالية الجودة بصرف النظر عن الموقع الجغرافي، وبناء قاعدة معرفية تراكمية من البيانات التشخيصية تُساهم في تطوير الممارسة السريرية المبنية على الأدلة. ويتقاطع هذا مع ما طرحه الفزاري والشاوي (2024) حول هدف الذكاء الاصطناعي في إدارة المعرفة المتمثل في تحويل البيانات الخام إلى معرفة قابلة للتوظيف في اتخاذ القرار.

5.1.2 أبعاد دور الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

تم تحديد أبعاد المتغير المستقل في الدراسة الحالية بناءً على ما أفرزته دراسة Kietczykowski وآخرون (2023) التي استعرضت فعالية الذكاء الاصطناعي في التحليل السيفالومتري من خلال مراجعة سردية للأدبيات، ودراسة Smolka وآخرون (2024) التي قدمت مراجعة منهجية للتباينات في نتائج التحليل السيفالومتري بين أخصائيي التقويم وأطباء الأشعة والذكاء الاصطناعي، ودراسة Bucur وآخرون (2025) التي تناولت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تعزيز التشخيص والعلاج التقويمي، ودراسة Zahra وآخرون (2025) التي أجرت مراجعة منهجية للذكاء الاصطناعي في التفسير الآلي للصور الشعاعية السنية. وتتقاطع

هذه الدراسات في تحديد أربعة أبعاد محورية لدور الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني، وهي: تحسين الدقة التشخيصية، وتقليل الأخطاء البشرية، ودعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة. وفيما يلي عرض مُفصّل لكل بُعد.

البُعد الأول: تحسين الدقة التشخيصية

يتصل هذا البُعد بقدرة أنظمة الذكاء الاصطناعي على رفع مستوى الصحة والإحكام في تحديد المعالم التشريحية والكشف عن الآفات المرضية وتصنيف الحالات السريرية على الصور الشعاعية. وتنبثق جوهرية هذا البُعد من كون الدقة التشخيصية تُمثل الأساس الذي تُبنى عليه جميع القرارات العلاجية اللاحقة، فأَي انحراف في تحديد نقطة تشريحية أو إغفال لآفة مرضية قد يُفضي إلى مسار علاجي مغاير لما تستدعيه الحالة الفعلية للمريض.

وقد تناول Kietczykowski وآخرون (2023) هذا البُعد من خلال مراجعة سردية للأدبيات ركّزت على مقارنة دقة الخوارزميات المختلفة في تحديد المعالم السيفالومتريّة عبر قواعد بيانات PubMed و Medline و Scopus، حيث اعتمدوا على مؤشر معدل الكشف الناجح - (Successful Detection Rate - SDR) ضمن هوامش خطأ محددة كأداة معيارية للمقارنة بين الأداء الخوارزمي والأداء البشري. وقد شمل تحليلهم خوارزميات مُطوّرة بحثياً كخوارزمية YOLOv3 و SSD والشبكات العصبية البايزية، فضلاً عن برامج تجارية متاحة ك WebCeph و AudaxCeph و CephX و Ceppro. وتُفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في تبني مفهوم SDR كمحدد عمليّاتي لتقييم بُعد الدقة التشخيصية، وفي التمييز بين مستويات الدقة بحسب نوع الخوارزمية المُستخدمة وحجم بيانات التدريب.

ومن زاوية مغايرة، تناول Zia وآخرون (2025) بُعد الدقة في سياق الأشعة البانورامية تحديداً من خلال مراجعة سردية استعرضت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تفسير الصور البانورامية السنية، حيث ركّزوا على أداء الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs) في الكشف عن تسوس الأسنان وأمراض اللثة والزرعات والتشوهات، مع الإشارة إلى محددات جودة مجموعات البيانات وغياب التوحيد المعياري وتحديات القابلية للتفسير. وقد أضاف Alkis و Pekince (2023) بُعداً تكملياً يتعلق بدقة المقارنة بين

الوسائط الشعاعية المختلفة، حيث قارنا بين مؤشر التناظر المحدد على صور الأشعة البانورامية الرقمية وذلك المحدد على الصور السيفالومترية الخلفية الأمامية، وهو ما يُبرز أهمية التكامل بين الوسائط الشعاعية المتعددة لتعزيز الدقة التشخيصية الشاملة.

وفيما يخص التصوير ثلاثي الأبعاد، تناول Kissel وآخرون (2021) بُعد الدقة من منظور تقليل جرعة الإشعاع مع الحفاظ على جودة التشخيص، حيث استعرضوا تطوير تحليل سيفالومتري ثلاثي الأبعاد حديث في تقويم أسنان الأطفال ضمن مجال رؤية كبير مُصَغَّر (Minimized Large FOV) وي طرح هذا التوجه تحدياً إضافياً أمام أنظمة الذكاء الاصطناعي، إذ يتطلب الحفاظ على مستوى عالٍ من الدقة التشخيصية رغم تقليص حجم البيانات البصرية المتاحة نتيجة تصغير مجال الرؤية. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في إدراك أن الدقة التشخيصية ليست بُعداً ثابتاً بل متغيراً يتأثر بمعايير التصوير وإعداداته التقنية.

البُعد الثاني: تقليل الأخطاء البشرية

يرتبط هذا البُعد بقدرة أنظمة الذكاء الاصطناعي على تجاوز القيود الذاتية والبيئية التي تُلازم الأداء البشري في تفسير الصور الشعاعية. وتتعدد مصادر الخطأ البشري في هذا المجال لتشمل عوامل ذاتية كالإرهاق والتعب والتحيز المعرفي، وعوامل مرتبطة بمستوى التدريب والخبرة، وعوامل بيئية كثافة عبء العمل وظروف بيئة التصوير. ويتميز الذكاء الاصطناعي في هذا السياق بخاصيتين جوهريتين: الاتساق في النتائج بصرف النظر عن ظروف التشغيل، والقدرة على الحفاظ على مستوى أداء ثابت دون تأثر بالعوامل النفسية والجسدية التي تُؤثر على الأداء البشري.

وقد تناول Evirgen (2021) الأخطاء البشرية في التصوير الشعاعي السني من خلال دراسة بأثر رجعي شملت صوراً بانورامية وحول ذروية وسيفالومترية مُلتقطة في مركز صحة الأسنان، حيث ركزت على تحديد تأثير أيام العمل وساعاته على معدلات الأخطاء الشعاعية، وكذلك العلاقة بين أخطاء التصوير السيفالومتري المُحفَزة من قبل المريض وتصنيفات سوء الإطباق الهيكلي. واعتمدت الدراسة على تصنيف الأخطاء وفق نوعها (أخطاء تموضع، أخطاء تقنية) وربطها بمتغيرات مثل كثافة العمل اليومي وتوقيت

الالتقاط (صباحاً أو بعد الظهر). وتُفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في فهم البنية المتعددة الأبعاد لمصادر الخطأ البشري وعلاقتها بعوامل سياقية قابلة للرصد والقياس.

وعمّق Smolka وآخرون (2024) فهم هذا البُعد من زاوية التباين بين الفاحصين (Inter-observer Variability) والتباين داخل الفاحص الواحد (Intra-observer Variability)، حيث تناولت مراجعتهم المنهجية التباينات في نتائج التحليل السيفالومتري بين أخصائيي التقويم ذوي مستويات خبرة مختلفة وبين أخصائيي التقويم وأطباء الأشعة ثم بين كليهما والذكاء الاصطناعي. واعتمدوا على إطار PICO في صياغة سؤال البحث المنهجي، وركزوا على المقارنة بين ثلاث منهجيات للتحليل: اليدوية التقليدية، والمدعومة ببرمجيات حاسوبية، والقائمة على الذكاء الاصطناعي. ويُبرز هذا الإطار أن الخطأ البشري ليس مفهوماً مطلقاً بل نسبياً، يتباين بحسب التخصص ومستوى الخبرة ومنهجية التحليل المتبعة.

ومن منظور مختلف، تناول عبدالناصر (2022) مسألة المسؤولية عن الأخطاء التي تتم باستخدام التقنيات المتقدمة، حيث استعرض الإطار القانوني الحاكم للمسؤولية الجنائية في سياق الجراحات الروبوتية. ورغم اختلاف المجال التطبيقي، إلا أن الإشكاليات القانونية والأخلاقية التي أثارها تنطبق بشكل مباشر على سياق الأخطاء التشخيصية المرتبطة بأنظمة الذكاء الاصطناعي في الأشعة السنية، لا سيما فيما يتعلق بتحديد المسؤولية عند حدوث خطأ تشخيصي: هل تقع على الطبيب الذي اعتمد على مخرجات النظام، أم على مُطوّر الخوارزمية، أم على المؤسسة الصحية. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في إدراك أن تقليل الأخطاء البشرية عبر الذكاء الاصطناعي يجب أن يتم ضمن إطار قانوني وأخلاقي واضح يُحدد حدود المسؤولية ومعايير المحاسبة.

وأضاف شاهين والسيد (2023) بُعداً تحليلياً يتعلق بفلسفة تخصيص البيانات وتصنيفها، حيث تناولوا مدى فاعلية الفلسفة التي تستند إليها نظم تخصيص التكاليف في تقليل أخطاء التجميع والقياس والتخصيص. ورغم أن مجال التطبيق يختلف، إلا أن المبدأ المنهجي المتمثل في أهمية اعتماد فلسفة منهجية دقيقة في معالجة البيانات لتقليل الأخطاء يتقاطع مع سياق الدراسة الحالية، حيث تعتمد خوارزميات الذكاء الاصطناعي على فلسفات محددة في تصنيف المعالم التشريحية وتخصيص القيم القياسية لها.

البُعد الثالث: دعم القرار الإكلينيكي

يتجاوز هذا البُعد مرحلة التشخيص والكشف ليشمل المساعدة الفعّالة في اتخاذ القرارات العلاجية المبنية على أدلة شعاعية. ويُعنى دعم القرار الإكلينيكي بتوفير معلومات وتوصيات مُنظمة للطبيب في اللحظة السريرية المناسبة بما يُعزز من جودة القرار العلاجي ويُقلل من احتمالية اتخاذ قرارات غير ملائمة. وفي مجال الأشعة السنية، يتجلى هذا البُعد من خلال قدرة أنظمة الذكاء الاصطناعي على تقديم تحليلات شاملة وتصنيفات سريرية وتنبيهات تشخيصية تُساهم في توجيه المسار العلاجي.

وقد تناول Bucur وآخرون (2025) هذا البُعد من خلال استعراض تطبيقات الذكاء الاصطناعي في دعم القرارات التقييمية المعقدة كقرارات الخلع، وهي من أكثر القرارات تحدياً في ممارسة تقويم الأسنان نظراً لتأثيرها بعوامل متشابكة تشمل طبيعة المشكلة السنية وتوقعات المريض والمنظور الثقافي والمنهج السريري للمعالج. وقد استعرضوا نماذج ذكاء اصطناعي مُدرّبة على متغيرات سيفالومتريّة ومؤشرات سريرية كالازدحام السني وميل القواطع والعضة العميقة والبروز السني وكفاءة الشفاء. كما تناولوا دور الذكاء الاصطناعي في تقييم المفصل الصدغي الفكي (TMJ) من حيث الكشف عن التهاب المفصل العظمي وتصنيف مراحلها، وفي تقييم النضج الهيكلي عبر تحليل الفقرات العنقية (CVM) على الصور السيفالومتريّة الجانبية. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في فهم الطبيعة متعددة المستويات لدعم القرار الإكلينيكي، والتي تتجاوز مجرد تحديد المعالم التشريحية إلى تقديم توصيات علاجية مُتكاملة.

وأضاف صقر وإسماعيل ومرزوق (2024) بُعداً يتعلق بدور الذكاء الاصطناعي في تحسين ابتكار الخدمة، حيث تناولوا من منظور إداري-تسويقي كيفية إسهام هذه التقنيات في إعادة تصميم عمليات تقديم الخدمة وتطوير نماذج خدمية مبتكرة تستجيب لاحتياجات المستفيدين بشكل أفضل. ورغم أن مجال التطبيق يختلف عن السياق الشعاعي المباشر، إلا أن مبدأ ابتكار الخدمة ينطبق على دعم القرار الإكلينيكي من حيث تقديم حلول تشخيصية وعلاجية مُخصّصة لكل حالة بدلاً من النماذج العلاجية المعيارية الجامدة. كما يتقاطع هذا مع ما طرحه فهي (2024) حول دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز

الإبداعية من خلال تحرير المختصين من المهام النمطية وتمكينهم من التركيز على الجوانب التحليلية والإبداعية في عملهم.

ومن زاوية تكاملية، تناول Alkis و Pekince (2023) إمكانية المقارنة بين مؤشرات مُستخلصة من وسائط شعاعية مختلفة (بانورامية وسيفالومترية خلفية أمامية)، وهو ما يُبرز أهمية تكامل المعلومات من مصادر شعاعية متعددة في دعم القرار الإكلينيكي. فالطبيب المعالج لا يعتمد عادةً على نوع واحد من الأشعة في اتخاذ قراره، بل يجمع بين معلومات متنوعة من وسائط تصويرية مختلفة، ويُمكن للذكاء الاصطناعي أن يُسهّل هذا التكامل من خلال تحليل الصور المتعددة بشكل مترابط وتقديم تقييم شامل. ويُضيف حسن والضبع وعزازي ويوسف (2024) بُعداً تنموياً يتعلق بدور الذكاء الاصطناعي في خدمة التنمية المستدامة في القطاع الصحي، حيث يُسهّم دعم القرار الإكلينيكي المبني على الذكاء الاصطناعي في ترشيد استخدام الموارد العلاجية وتوجيهها نحو التدخلات الأكثر فعالية.

البُعد الرابع: تسريع تفسير الأشعة

يتعلق هذا البُعد بقدرة أنظمة الذكاء الاصطناعي على تقليص الزمن اللازم لتحليل الصور الشعاعية وتفسيرها بشكل جوهري مقارنةً بالتفسير اليدوي التقليدي. ويكتسب هذا البُعد أهمية متزايدة في ظل الضغوط التنافسية على المنظومات الصحية لتقديم خدمات أسرع تستجيب لتوقعات المرضى وتناسب مع الطاقة الاستيعابية المحدودة لأقسام الأشعة.

وقد تناول Smolka وآخرون (2024) التطور التاريخي لعملية التحليل السيفالومتري من حيث الزمن المُستغرق، حيث استعرضوا الانتقال من الرسم اليدوي للنقاط على ورق التتبع باستخدام المسطرة والمنقلة إلى الرقمنة الحاسوبية ثم إلى الأتمتة الكاملة عبر الذكاء الاصطناعي. وقد ركّزت مراجعتهم على المقارنة بين الأزمنة المُستغرقة في كل مرحلة، مع الإشارة إلى أن الميزة الزمنية للأتمتة تكون أكثر دلالة عند التعامل مع أعداد كبيرة من الحالات أو في سياقات البحث العلمي. كما طرحوا ملاحظة منهجية مهمة مفادها أن السرعة لا ينبغي أن تكون المعيار الوحيد لتقييم أنظمة التحليل السيفالومتري، إذ يجب أن يُوازن بينها

وبين الدقة والموثوقية. وتُفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في تبني منظور متوازن لتقييم بُعد السرعة يأخذ في الاعتبار العلاقة التبادلية بين السرعة والدقة.

وتناول Zahra وآخرون (2025) بُعد الكفاءة الزمنية من خلال مراجعتهم المنهجية التي شملت دراسات متعددة قارنت بين زمن التفسير بالذكاء الاصطناعي وزمن التفسير البشري عبر وسائط شعاعية متنوعة (بانورامية وحول ذرية وعضوية). واعتمدت المراجعة على إرشادات PRISMA في اختيار الدراسات وتقييم جودتها، مع استخدام أدوات تقييم مخاطر التحيز المعيارية. وقد ركزت على مقارنة الكفاءة الزمنية كأحد المتغيرات المحورية إلى جانب الدقة التشخيصية ومعدلات الخطأ. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار المنهجي في تصميم أدوات القياس الخاصة ببُعد تسريع تفسير الأشعة.

ومن منظور مؤسسي، تناول بوزيدي (2024) دور الذكاء الاصطناعي في إعادة تشكيل الاستراتيجيات المؤسسية، حيث ركّز على كيفية إسهام الأتمتة الذكية في تسريع العمليات وتحسين مخرجاتها ضمن إطار تسويقي. وينعكس هذا المنظور على سياق الأشعة السنية من خلال فهم تسريع تفسير الأشعة بوصفه ليس مجرد تقليل زمني تقني بل عاملاً يُؤثر على الطاقة الاستيعابية لقسم الأشعة وعلى رضا المرضى وعلى الكفاءة الاقتصادية للمؤسسة الصحية ككل. ويتقاطع هذا مع ما أشار إليه جواد (2024) من أن الذكاء الاصطناعي يدعم التنمية المستدامة من خلال تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الهدر في الموارد والوقت، وكذلك مع ما أكدّه العلوي والتوزاني (2023) من أن مستقبل الذكاء الاصطناعي يتجه نحو تكامل أعمق مع التقنيات الناشئة يُفضي إلى مستويات أعلى من السرعة والكفاءة.

6.1.2 استراتيجيات توظيف الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

يتطلب التوظيف الفعّال للذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني تبني استراتيجيات واضحة تُراعي الجوانب التقنية والسريية والتنظيمية والأخلاقية. وتتنوع هذه الاستراتيجيات بحسب مستوى التطبيق ونطاقه وأهدافه، ويمكن استعراض أبرزها في ضوء الأدبيات المتخصصة.

فعلى المستوى التقني، تناول Kielczykowski وآخرون (2023) استراتيجية بناء قواعد بيانات تدريبية كبيرة ومتنوعة بوصفها شرطاً أساسياً لتحقيق مستويات دقة مقبولة سريرياً. وقد أشاروا إلى أن حجم مجموعة البيانات التدريبية يرتبط ارتباطاً خطياً بدقة الخوارزمية، وأن تنوع هذه البيانات من حيث الفئات العمرية وأنواع سوء الإطباق وأجهزة التصوير المستخدمة يُسهم في تعميم قدرة الخوارزمية على حالات جديدة لم تتعرض لها أثناء التدريب. كما تناولوا استراتيجية إعادة التدريب (Re-training) عند الحاجة إلى تطبيق الخوارزمية على فئات سكانية أو وسائط تصويرية مختلفة عن تلك التي دُرِّبَ عليها أصلاً.

وعلى المستوى المعياري والتنظيمي، طرح Smółka وآخرون (2024) استراتيجية التحقق المزدوج (Double Verification)، حيث يُستخدم الذكاء الاصطناعي لإجراء التحليل الأولي ثم يُراجع الطبيب المختص النتائج ويُعدّلها عند الحاجة. وتُمثل هذه الاستراتيجية نهجاً توفيقياً يجمع بين سرعة الذكاء الاصطناعي ودقة الحكم السريري البشري، وتُقلل من مخاطر الاعتماد الكلي على أي من الطرفين منفرداً.

وقد أكد Bucur وآخرون (2025) أن مُطوِّري البرامج التجارية يحرصون دائماً على توصية الأطباء بمراجعة النقاط المُحددة تلقائياً والتأكد من صحتها، نظراً لاحتمال خطأ البرنامج في تفسير بعض البنى التشريحية المتراكبة.

وعلى المستوى التعليمي والتدريبي، أشار Kaya وآخرون (2024) إلى استراتيجية دمج الذكاء الاصطناعي في برامج التعليم السني، حيث تناولوا أداء برنامج تعلم عميق في الكشف والتصنيف التلقائي للبنى السنية على صور بانورامية لدى الأطفال، وهو ما يمكن توظيفه كأداة تعليمية تُساعد طلاب طب الأسنان على تطوير مهاراتهم التشخيصية من خلال مقارنة تشخيصهم بمخرجات النظام الذكي. ويتمشى هذا مع ما طرحه الفزاري والشاوي (2024) حول استراتيجيات إدارة المعرفة التي يدعمها الذكاء الاصطناعي، والتي تهدف إلى تحويل المعرفة الضمنية (الخبرة السريرية الفردية) إلى معرفة صريحة (أنماط وقواعد قابلة للمشاركة والتعلم).

وعلى المستوى الأخلاقي والقانوني، تناول سلطان (2024) آثار الذكاء الاصطناعي على علاقة العمل من حيث المسؤوليات والحقوق والالتزامات، وهو ما يُلقي الضوء على ضرورة وضع أطر تنظيمية واضحة

تحكم استخدام الذكاء الاصطناعي في السياق السريري. ويتقاطع هذا مع ما أشار إليه بن عزوز وصابونجي (2024) من أن حوكمة الذكاء الاصطناعي تتطلب معايير شفافية ومساءلة تضمن أن القرارات المدعومة تقنياً تظل خاضعة للمسؤولية البشرية والمهنية. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في التأكيد على أن استراتيجيات التوظيف لا ينبغي أن تقتصر على الجوانب التقنية بل يجب أن تشمل أبعاداً حوكمية وأخلاقية تؤمن التطبيق المسؤول لهذه التقنيات.

7.1.2 تحديات ومحددات توظيف الذكاء الاصطناعي في التصوير الشعاعي السني

على الرغم من الإمكانيات الواعدة التي يُقدمها الذكاء الاصطناعي في مجال التصوير الشعاعي السني، إلا أن ثمة تحديات ومحددات جوهرية تُحيط بتطبيقه وتستوجب المعالجة. وقد حدد Zia وآخرون (2025) عدة محدّدات تتعلق بجودة مجموعات البيانات وغياب التوحيد المعياري في بروتوكولات التقييم وتحديات القابلية للتفسير (Interpretability) ومشكلات التكامل مع الأنظمة السريرية القائمة. ويُضيف Kiełczykowski وآخرون (2023) تحدياً يتعلق بتعقيد عملية تعنون البيانات (Data Labeling) في التحليل السيفالومتري، حيث لا يوجد موقع واحد "حقيقي" لنقطة تشريحية محددة يمكن اعتماده كمعيار ذهبي، بل يتم الاعتماد عادةً على توافق عدة مختصين في تحديد الموقع.

كما تناول Bucur وآخرون (2025) تحدي عدم القدرة على التنبؤ الكامل بسلوك الخوارزميات في الحالات الاستثنائية أو غير المألوفة التي لم تتعرض لها أثناء التدريب، مع التأكيد على أن الذكاء الاصطناعي يظل أداة مُكمّلة تتطلب إشرافاً بشرياً مستمراً. ومن جانب آخر، أثار عبدالناصر (2024) تحديات فلسفية تتعلق بالحدود الجوهرية بين الذكاء الاصطناعي والذكاء البشري، مُشيراً إلى أن بعض جوانب الحكم السريري تظل عصية على الأتمتة بطبيعتها. وتُفيد هذه التحديات مجتمعة الدراسة الحالية في تبني منظور متوازن يُقدّر إمكانيات الذكاء الاصطناعي دون إغفال محدّداته.

8.1.2 خلاصة المبحث الأول

يتضح من خلال هذا المبحث أن الذكاء الاصطناعي يُمثل تحولاً نوعياً في مجال التصوير الشعاعي السني، حيث يُسهم من خلال أبعاده الأربعة — تحسين الدقة التشخيصية، وتقليل الأخطاء البشرية، ودعم القرار الإكلينيكي، وتسريع تفسير الأشعة — في رفع مستوى جودة الرعاية التشخيصية المقدمة للمرضى. وتتكامل هذه الأبعاد فيما بينها لتُشكّل منظومة متماسكة تعمل على تعزيز الأداء السريري في مجال الأشعة البانورامية والسيفالومترية. ومع ذلك، يظل الذكاء الاصطناعي أداة مكملية وليست بديلة عن الخبرة السريرية البشرية، إذ يتطلب تطبيقه النجاح إشرافاً بشرياً مستمراً وتحققاً يدوياً من النتائج، فضلاً عن مراعاة الاعتبارات الأخلاقية والقانونية وبناء استراتيجيات توظيف متكاملة تُراعي الأبعاد التقنية والتنظيمية والتعليمية.

المبحث الثاني: الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية (المتغير التابع)

1.2.2 تمهيد

تحتل الأشعة البانورامية والسيفالومترية مكانة محورية في منظومة التشخيص السني والوجهي الفكي، حيث تُوفّران معلومات جوهرية عن البنى التشريحية الصلبة والرخوة اللازمة لوضع الخطط العلاجية وتقييم نتائج العلاج ومتابعة تطور الحالات. غير أن عملية التقاط هذه الصور وتفسيرها تنطوي على احتمالات خطأ متعددة المصادر، تتراوح بين أخطاء تقنية مرتبطة بالتصوير ذاته وأخطاء تفسيرية مرتبطة باستخلاص المعلومات السريرية من الصور. ويتناول هذا المبحث مفهوم الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية وأهميتها وأهدافها والأبعاد المرتبطة بها واستراتيجيات تقليلها، بوصفها متغيراً تابعاً في الدراسة الحالية.

2.2.2 مفهوم الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية

يتباين تعريف الخطأ التشخيصي بحسب المنظور المعرفي والسياق التطبيقي الذي يُتناول فيه. فمن المنظور الطبي العام، عرّف Newman-Toker وآخرون (2024) الخطأ التشخيصي بأنه فشل في إنشاء تشخيص دقيق وفي الوقت المناسب للحالة المرضية لدى المريض، ويشمل هذا التعريف ثلاثة أنماط رئيسية: التشخيص الخاطئ حيث يُشخّص المريض بحالة مغايرة لحالته الفعلية، والتشخيص المتأخر حيث يتأخر الوصول إلى التشخيص الصحيح لفترة تؤثر على مآل الحالة، والتشخيص المفقود حيث لا يتم تشخيص الحالة المرضية إطلاقاً. ويتميز هذا التعريف بشموليته وقابليته للتطبيق عبر مختلف التخصصات الطبية بما فيها التشخيص الشعاعي السني.

ومن منظور إجرائي مُحدد، تناول Dave وآخرون (2022) مفهوم الخطأ التشخيصي في إطار مراجعتهم المنهجية للتدخلات الموجهة لتقليل هذه الأخطاء، حيث عرّفوه بأنه أي انحراف عن مسار التشخيص الصحيح يُمكن أن يؤدي إلى ضرر بالمريض سواء أكان هذا الانحراف ناتجاً عن خطأ في جمع

البيانات التشخيصية أم في تفسيرها أم في دمجها أم في توصيلها. ويُفيد هذا التعريف في فهم الطبيعة المتسلسلة للخطأ التشخيصي، حيث يمكن أن ينشأ الخطأ في أي مرحلة من مراحل العملية التشخيصية وليس فقط في مرحلة التفسير النهائي.

وفي سياق التصوير الشعاعي السني تحديداً، تناولت (Evirgen 2021) مفهوم الخطأ الشعاعي من منظور تقني-إجرائي، حيث ميّزت بين أخطاء التصوير (Acquisition Errors) الناتجة عن عوامل تقنية أو سلوكية أثناء عملية الالتقاط، وأخطاء التفسير (Interpretation Errors) الناتجة عن قصور في قراءة الصورة وتحليلها. وقد صنّفت أخطاء التصوير البانورامي إلى أخطاء مُحفّزة من المُشغّل (كالتموضع غير الصحيح للمريض) وأخطاء مُحفّزة من المريض (كعدم إغلاق الشفاه أو عدم إلصاق اللسان بسقف الحلق)، في حين صنّفت أخطاء الصور السيفالومترية بحسب علاقتها بأنماط سوء الإطباق الهيكلي.

أما Smotlka وآخرون (2024) فقد تناولوا مفهوم الخطأ من زاوية التباينات في القياسات السيفالومترية (Discrepancies in Cephalometric Analysis)، حيث لا يُنظر إلى الخطأ بوصفه انحرافاً ثنائياً (صحيح/خاطئ) بل بوصفه تبايناً كمياً يمكن قياسه بوحدة المليمتر أو الدرجات، ويُقيّم بحسب أهميته السريرية. فتباين بمقدار 1 ملم في تحديد نقطة تشريحية قد يكون مقبولاً سريرياً لبعض المعالم لكنه قد يكون مؤثراً بشكل جوهري لمعالم أخرى ذات حساسية تشخيصية عالية.

ويرى الباحث أن مفهوم الخطأ التشخيصي في الأشعة البانورامية والسيفالومترية ينبغي أن يُقارب بوصفه مفهوماً مُركباً يشمل طيفاً من الانحرافات التي تتراوح بين الأخطاء التقنية في التقاط الصورة والأخطاء التفسيرية في قراءتها والأخطاء القياسية في تحديد المعالم التشريحية وقياس المسافات والزوايا، وصولاً إلى الأخطاء في الحكم السريري المبني على هذه القياسات. وهذا الفهم المُركب يُبرر توظيف الذكاء الاصطناعي كأداة للتدخل عبر مراحل متعددة من السلسلة التشخيصية وليس في مرحلة واحدة فحسب.

3.2.2 أهمية دراسة الأخطاء التشخيصية في الأشعة السنية

تكتسب دراسة الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية أهمية بالغة نظراً للعواقب السريرية والاقتصادية والقانونية المترتبة عليها. فالخطأ في تفسير صورة شعاعية بانورامية قد يُفضي إلى إغفال آفة مرضية كامنة أو إلى تشخيص زائف إيجابي يُعرض المريض لتدخلات علاجية غير ضرورية، في حين أن الخطأ في التحليل السيفالومتري قد يؤدي إلى خطة علاجية تقويمية أو جراحية غير ملائمة لبنية المريض الهيكلية.

ويُشير Newman-Toker وآخرون (2024) إلى أن أهمية دراسة الأخطاء التشخيصية تتجلى في عدة أبعاد: أولها حجم العبء الصحي الناجم عن هذه الأخطاء والذي يجعلها مصدر قلق صحي عام من الدرجة الأولى، وثانيها أن تركّز هذه الأخطاء في عدد محدود نسبياً من الحالات يجعل المشكلة أكثر قابلية للمعالجة مما كان يُعتقد سابقاً، وثالثها أن فهم أنماط الخطأ ومصادره يُشكّل الأساس العلمي لتصميم تدخلات فعّالة تستهدف تقليله. ورغم أن دراستهم ركّزت على التخصصات الطبية الكبرى، إلا أن المبادئ ذاتها تنطبق على سياق الأشعة السنية.

ويرى Dave وآخرون (2022) أن أهمية تقليل الأخطاء التشخيصية تنبع من كونها تُمثل منطقة تقاطع بين عدة اعتبارات: أولها الاعتبار الأخلاقي المهني المتمثل في واجب الطبيب تجاه مرضاه في تقديم أفضل رعاية ممكنة، وثانيها الاعتبار الاقتصادي المتعلق بالتكاليف المباشرة وغير المباشرة للأخطاء التشخيصية بما فيها تكاليف إعادة التشخيص والعلاج التصحيحي والمسؤولية القانونية، وثالثها الاعتبار المنهجي المتمثل في أن خفض معدلات الخطأ يُعدّ مؤشراً محورياً على جودة المنظومة الصحية وكفاءتها.

وعلى صعيد الأشعة السنية، يُبرز Evirgen (2021) أهمية دراسة الأخطاء الشعاعية من زاوية عملية ترتبط بكثافة العمل اليومي في مراكز طب الأسنان، حيث يؤدي الضغط الزمني وازدياد عدد الحالات إلى ارتفاع احتمالية الخطأ خاصة في فترات بعد الظهر وفي أيام العمل الأكثر كثافة. ويُضيف عدلان ومحمد (2022) بُعداً يتعلق بأهمية وجود آليات مراجعة وتحقق مؤسسية تُسهم في الكشف عن الأخطاء قبل أن تتحول إلى أضرار فعلية بالمريض. وفي ضوء ما سبق، يتضح أن دراسة الأخطاء التشخيصية في الأشعة

البانورامية والسيفالومترية ليست ترفاً أكاديمياً بل ضرورة سريرية ومؤسسية تتصل بصميم جودة الرعاية المقدمة.

4.2.2 أهداف تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية

تتمحور أهداف تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية حول ثلاثة مستويات أساسية تتكامل فيما بينها لتُشكّل إطاراً شاملاً لتحسين الأداء التشخيصي.

فقد حدد Dave وآخرون (2022) أهدافاً تتصل بمستوى العملية التشخيصية ذاتها، تشمل: تحسين دقة جمع البيانات التشخيصية من خلال تقليل أخطاء التقاط الصور وضبط معايير التصوير، وتعزيز موثوقية تفسير الصور الشعاعية من خلال تقليل التباين بين المُفسّرين واعتماد معايير تفسيرية موحدة، وتحسين كفاءة التواصل التشخيصي من خلال تقليل أخطاء نقل المعلومات بين أطراف الفريق العلاجي. وقد اعتمدت مراجعتهم على تصنيف التدخلات إلى ثلاثة أنماط: تدخلات قائمة على التقنية، وتدخلات نظامية قائمة على التكنولوجيا، وتغييرات هيكلية في العمليات.

وأضاف Newman-Toker وآخرون (2024) أهدافاً تتصل بمستوى النظام الصحي، تتمحور حول: خفض العبء الإجمالي للأضرار الجسيمة الناتجة عن الأخطاء التشخيصية من خلال استهداف الحالات الأكثر شيوعاً والأكثر ضرراً عند الإغفال، وتطوير مؤشرات قياس وطنية لرصد معدلات الخطأ التشخيصي ومتابعة تطورها عبر الزمن، وتوجيه الموارد والتدخلات نحو المجالات التي يكون فيها أثر التحسين أكبر.

وفي سياق الأشعة السنية، يمكن استخلاص أهداف إضافية من الأدبيات المتخصصة تتصل بمستوى الممارسة السريرية اليومية: تقليل معدل الصور الشعاعية المرفوضة أو المُعاد التقاطها بسبب أخطاء تقنية مما يُقلل من جرعة الإشعاع التراكمية للمريض (Evirgen, 2021)، وتوحيد بروتوكولات التحليل السيفالومتري لتقليل التباين بين المراكز والممارسين (Smolka وآخرون، 2024)، وتعزيز ثقة المرضى في المنظومة التشخيصية من خلال تحسين شفافية العملية التشخيصية وموثوقية مخرجاتها (عرقسوسي، 2024).

5.2.2 أبعاد الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومتريّة

تم تحديد أبعاد المتغير التابع في الدراسة الحالية بناءً على ما أفرزته دراسة Newman-Toker وآخرون (2024) التي قدمت إطاراً وبائياً شاملاً لعبء الأخطاء التشخيصية الجسيمة، ودراسة Dave وآخرون (2022) التي صنّفت التدخلات الموجهة لتقليل هذه الأخطاء، ودراسة Evirgen (2021) التي حللت أنماط الأخطاء الشعاعية في طب الأسنان وعلاقتها بالعوامل السياقية، ودراسة Smolka وآخرون (2024) التي رصدت التباينات في نتائج التحليل السيفالومتري بين مختلف المقيمين والأنظمة. وتتقاطع هذه الدراسات في تحديد أربعة أبعاد محورية للأخطاء التشخيصية وهي: أخطاء التقاط الصورة، وأخطاء تحديد المعالم التشريحية، وأخطاء التفسير والتصنيف المرضي، وأخطاء الحكم السريري المبني على الأشعة. وفيما يلي عرض مُفصّل لكل بُعد.

البُعد الأول: أخطاء التقاط الصورة الشعاعية

يتعلق هذا البُعد بالأخطاء التي تحدث أثناء مرحلة التصوير ذاتها، والتي تُؤثر على جودة الصورة الناتجة وبالتالي على إمكانية تفسيرها بشكل صحيح. وتتنوع مصادر هذه الأخطاء بين عوامل مرتبطة بالمُشغّل (الفي أو الطبيب) وعوامل مرتبطة بالمريض وعوامل مرتبطة بالجهاز والظروف البيئية. وتُعدّ أخطاء التقاط الصورة من أخطر أنواع الأخطاء لأنها تُؤثر على جميع المراحل التشخيصية اللاحقة، فالصورة ذات الجودة المتدنية قد تُخفي آفات مرضية أو تُنشئ ظلالاً مُضِلَّة تُوحي بوجود حالات مرضية غير موجودة.

وقد تناولت Evirgen (2021) هذا البُعد من خلال تحليل بأثر رجعي لصور بانورامية وحول ذروية وسيفالومتريّة مُلتقطة في مركز صحة الأسنان، حيث صنّفت أخطاء الصور البانورامية إلى أنماط محددة كرفع الذقن إلى أعلى وتدوير الرأس إلى أحد الجانبين وتقديم المريض أو تأخيره عن الوضعية الصحيحة، في حين صنّفت أخطاء الصور حول الذروية إلى أخطاء تموضع وقطع مخروط وأخطاء تعريض. واعتمدت على تحليل العلاقة بين هذه الأخطاء ومتغيرات سياقية كيوم الأسبوع وتوقيت الالتقاط وكثافة العمل، كما تناولت الأخطاء السيفالومتريّة المُحقّزة من المريض وعلاقتها بتصنيفات سوء الإطباق الهيكلي. وتستفيد

الدراسة الحالية من هذا الإطار في فهم التنوع الكبير في أنماط أخطاء الالتقاط وعلاقتها بعوامل سياقية قابلة للضبط والتحكم.

ومن زاوية تتصل بالتصوير السيفالومتري تحديداً، تناول Kissel وآخرون (2021) تأثير إعدادات التصوير على جودة الصورة الناتجة، حيث استعرضوا تطوير تحليل سيفالومتري ثلاثي الأبعاد ضمن مجال رؤية مُصَغَّر لتقليل جرعة الإشعاع. ويطرح هذا التوجه إشكالية التوازن بين تقليل الإشعاع والحفاظ على جودة الصورة الكافية للتشخيص الدقيق، وهي إشكالية تتصل مباشرة بـبعد أخطاء الالتقاط من حيث أن تصغير مجال الرؤية قد يؤدي إلى فقدان معلومات تشريحية ضرورية.

البُعد الثاني: أخطاء تحديد المعالم التشريحية

يختص هذا البُعد بالأخطاء التي تحدث أثناء مرحلة تحديد النقاط التشريحية المرجعية (Landmarks) على الصور الشعاعية، وهي مرحلة حاسمة في التحليل السيفالومتري تُبنى عليها جميع القياسات الزاوية والخطية اللاحقة. ويتأثر هذا البُعد بعوامل متعددة تشمل مستوى خبرة المُقيّم ووضوح البنى التشريحية على الصورة ودرجة التراكم بين الهياكل التشريحية المختلفة.

وقد تناول Kiełczykowski وآخرون (2023) هذا البُعد بشكل مُعمّق من خلال مراجعتهم السردية التي استعرضت تحديات تحديد المعالم السيفالومترية، مُشيرين إلى أن الجمجمة بوصفها جسماً ثلاثي الأبعاد يتم إسقاطه على مستوى ثنائي الأبعاد في الصورة السيفالومترية الجانبية يُنشئ تراكبات بين الهياكل التشريحية تزيد من صعوبة التحديد الدقيق للمعالم. كما أن عدم تناظر الوجه لدى المريض والوضعية غير الصحيحة للرأس أثناء التصوير والتشوهات الشعاعية قد تُضاعف من هذه الصعوبة. وقد ركزت مراجعتهم على تحليل مستويات الدقة لمختلف النقاط التشريحية، حيث يتفاوت مستوى صعوبة التحديد بشكل كبير بين النقاط المختلفة.

وعمّق Smolka وآخرون (2024) فهم هذا البُعد من خلال إطار PICO المنهجي الذي اعتمدوه في مراجعتهم المنهجية، حيث قارنوا بين دقة تحديد المعالم بين أخصائيي التقويم ذوي مستويات خبرة مختلفة

وأطباء الأشعة وأنظمة الذكاء الاصطناعي. وقد ركّزوا على التمييز بين التباينات المقبولة سريريّاً والتباينات ذات الأثر السريري الفعلي، مُشيرين إلى أن بعض التباينات التي قد تبدو صغيرة إحصائياً يمكن أن تكون ذات دلالة سريرية كبيرة عند تراكمها في قياسات متعددة تعتمد على المعلم ذاته. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في تبني مفهوم الأهمية السريرية (Clinical Significance) بوصفه معياراً لتقييم أخطاء تحديد المعالم بدلاً من الاكتفاء بالدلالة الإحصائية.

البُعد الثالث: أخطاء التفسير والتصنيف المرضي

يتجاوز هذا البُعد مرحلة تحديد المعالم التشرّحية وقياس المسافات والزوايا ليتناول مرحلة تفسير هذه القياسات وتحويلها إلى تصنيفات مرضية وتشخيصات سريرية. وتتضمن هذه المرحلة حكماً تقديرياً يعتمد على المعرفة الطبية والخبرة السريرية للمُقيّم، مما يجعلها عرضة لأنواع مختلفة من الأخطاء تتراوح بين التفسير الخاطئ للقياسات الطبيعية والإغفال الكامل لآفات مرضية واضحة.

وقد تناول Zahra وآخرون (2025) هذا البُعد من خلال مراجعتهم المنهجية التي قارنت بين الدقة التشخيصية ومعدلات الخطأ للذكاء الاصطناعي والتفسير البشري التقليدي عبر وسائط شعاعية متعددة. واعتمدت المراجعة على تصنيف الأخطاء التفسيرية بحسب نوعها (خطأ إيجابي زائف / خطأ سلبي زائف) وبحسب الوسيط الشعاعي (بانورامي، حول ذروي، عَضِّي)، مع تقييم أثر خبرة المُفسّر على معدلات الخطأ. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا الإطار في تصنيف أخطاء التفسير بشكل معياري يُتيح قياسها ومقارنتها.

ومن زاوية مُكملة، تناول Zia وآخرون (2025) تحديات تفسير الصور البانورامية من حيث تعقيد البنى التشرّحية المعروضة وتنوع الآفات المرضية المحتملة، حيث يتطلب التفسير الصحيح لصورة بانورامية واحدة فحصاً منهجياً لعدد كبير من البنى التشرّحية والسنية. وأشاروا إلى أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يُسهم في تقليل أخطاء التفسير من خلال تقديم فحص شامل ومنهجي لا يغفل أي منطقة من مناطق الصورة، على خلاف التفسير البشري الذي قد يتركز على مناطق بعينها بسبب التوجه الانتباهي (Attentional Bias) للمُفسّر.

وأضافت عرقسوسي (2024) بُعداً منهجياً يتعلق بالأخطاء الشائعة في مراحل العمل البحثي والمبني بشكل عام، حيث تناولت أنماط الأخطاء من منظور منهجي يُركّز على مصادرها البنيوية. ورغم اختلاف السياق التطبيقي، إلا أن المبدأ المتمثل في أن الأخطاء غالباً ما تكون ذات أنماط قابلة للتنبؤ والتصنيف يتقاطع مع سياق الأخطاء التفسيرية في الأشعة السنية.

البُعد الرابع: أخطاء الحكم السريري المبني على الأشعة

يتعلق هذا البُعد بالمرحلة النهائية من السلسلة التشخيصية، والتي يتم فيها ترجمة نتائج التحليل الشعاعي إلى قرارات علاجية فعلية. ويتصل هذا البُعد بمفهوم أوسع هو جودة التخطيط العلاجي المستند إلى الأشعة، حيث يمكن أن يكون التحليل الشعاعي صحيحاً في ذاته لكن القرار العلاجي المبني عليه غير ملائم نتيجة خطأ في دمج المعلومات الشعاعية مع المعطيات السريرية الأخرى أو في تقدير أولويات العلاج.

وقد تناول Bucur وآخرون (2025) هذا البُعد من خلال استعراض تطبيقات الذكاء الاصطناعي في دعم القرارات العلاجية التقويمية المعقدة، مُشيرين إلى أن قرارات كقرار الخلع من عدمه تتأثر بعوامل متشابكة تتجاوز القياسات الشعاعية البحتة لتشمل عوامل سريرية ونفسية وثقافية. وقد أوضحوا أن نماذج الذكاء الاصطناعي المُدرّبة على بيانات متعددة المصادر قد تُساهم في تقليل أخطاء الحكم السريري من خلال تقديم تقييمات موضوعية تأخذ في الاعتبار مجموعة واسعة من المتغيرات. ومع ذلك، أشاروا إلى أن هذه النماذج محكومة بفلسفة سريرية محددة قد لا تكون قابلة للتعميم على جميع السياقات.

وعمّق Newman-Toker وآخرون (2024) فهم هذا البُعد من خلال إطارهم الوبائي الذي ميّز بين الأضرار الناجمة عن التشخيص السلبي (إغفال تشخيص مرض موجود) وتلك الناجمة عن الإفراط التشخيصي (تشخيص حالة لا تستدعي التدخل)، مُؤكدين أن تحسين التشخيص لا ينبغي أن يتم على حساب زيادة معدلات التشخيص الإيجابي الزائف. ويتقاطع هذا مع سياق الأشعة السنية حيث يجب أن يُوازن القرار السريري بين حساسية الكشف ونوعيته لتجنب كل من الإغفال والمبالغة في التشخيص.

6.2.2 استراتيجيات تقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية

تتعدد الاستراتيجيات الموجهة لتقليل الأخطاء التشخيصية في الأشعة البانورامية والسيفالومترية، ويمكن تصنيفها في ضوء الأدبيات المتخصصة إلى عدة مستويات متكاملة.

فعلى مستوى التدخلات التقنية والتكنولوجية، صَنَّف Dave وآخرون (2022) التدخلات الموجهة لتقليل الأخطاء التشخيصية إلى ثلاثة أنماط رئيسية: تدخلات قائمة على تقنيات التفكير-Technique-based Interventions) تهدف إلى تحسين المهارات الإدراكية والتحليلية للطبيب، وتدخلات نظامية قائمة على التكنولوجيا (Technology-based System Interventions) تعتمد على أنظمة دعم القرار الإلكترونية والذكاء الاصطناعي، وتغييرات هيكلية في العمليات (Structured Process Changes) تُعيد تصميم مسار العملية التشخيصية لتقليل فرص الخطأ. وقد تناولت مراجعتهم فعالية هذه التدخلات من حيث تأثيرها على النتائج السريرية الموضوعية للمرضى. وتستفيد الدراسة الحالية من هذا التصنيف في فهم موقع الذكاء الاصطناعي ضمن منظومة أوسع من استراتيجيات تقليل الخطأ التشخيصي.

وعلى مستوى التوحيد المعياري وضبط الجودة، طرح Smolka et al (2024) استراتيجية اعتماد بروتوكولات تحليل سيفالومتري موحدة عبر المراكز المختلفة، مع توظيف أنظمة الذكاء الاصطناعي كأداة توحيد معيارية تُقلل من التباينات بين الممارسين. كما أشاروا إلى أهمية تدريب الممارسين وتطوير مهاراتهم في تحديد المعالم التشريحية، حيث أظهرت الأدبيات أن مستوى الخبرة يُؤثر بشكل مباشر على دقة التحليل. ويتقاطع هذا مع ما أشار إليه Kiełczykowski et al (2023) من أهمية تطوير معايير ذهبية موثوقة لتحديد المعالم السيفالومترية لتقليل التحيز في مجموعات البيانات المُستخدمة في تدريب خوارزميات الذكاء الاصطناعي.

وعلى مستوى إدارة بيئة العمل والعوامل البشرية، أبرزت Evirgen (2021) أهمية إدارة عبء العمل وتوزيع المهام بما يُقلل من تأثير الإرهاق على جودة التصوير والتفسير الشعاعي. وينسجم هذا مع ما طرحه سلطان (2024) حول إعادة تنظيم علاقة العمل في ظل الذكاء الاصطناعي، حيث يمكن توجيه المهام الروتينية المتكررة نحو الأنظمة الذكية وتحرير الكوادر البشرية للمهام التي تتطلب حكماً سريرياً معقداً.

وعلى المستوى المؤسسي والحوكيمي، أشار بن عزوز وصابونجي (2024) إلى أهمية بناء أطر حوكمية تضمن الاستخدام المسؤول للذكاء الاصطناعي ضمن المنظومة التشخيصية، بما يشمل معايير الشفافية والمساءلة وحماية بيانات المرضى. ويُضيف حسن والضبع وعزازي ويوسف (2024) بُعداً يتعلق بتوظيف الذكاء الاصطناعي ضمن إطار التنمية المستدامة للقطاع الصحي، حيث يُسهم تقليل الأخطاء التشخيصية في ترشيد الموارد وتحسين المخرجات الصحية بشكل مستدام.

7.2.2 العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وتقليل الأخطاء التشخيصية

تتبلور العلاقة بين الذكاء الاصطناعي (المتغير المستقل) وتقليل الأخطاء التشخيصية (المتغير التابع) من خلال عدة مسارات تأثير مترابطة. فالذكاء الاصطناعي يُؤثر على أخطاء الالتقاط من خلال أنظمة المراقبة الآلية لجودة الصورة التي تكتشف الأخطاء التقنية فوراً وتنبّه إليها قبل إصدار الصورة، ويؤثر على أخطاء تحديد المعالم من خلال الأتمتة الكاملة أو الجزئية لعملية التحديد مما يُلغي عامل التباين البشري، ويؤثر على أخطاء التفسير من خلال أنظمة الكشف التلقائي عن الأخطاء المرضية التي تُجري فحصاً شاملاً ومنهجياً لكل مناطق الصورة، ويؤثر على أخطاء الحكم السريري من خلال أنظمة دعم القرار التي تُقدم توصيات مبنية على تحليل متعدد المتغيرات.

وقد أكد Bucur et al (2025) أن هذه العلاقة ليست خطية بسيطة بل تخضع لمحددات ووسائط متعددة، أبرزها جودة البيانات التدريبية ونوع الخوارزمية المستخدمة ومستوى الإشراف البشري ودرجة تكامل النظام الذكي مع منظومة العمل السريرية القائمة. كما أشار Zia et al., (2025) إلى أن فعالية الذكاء الاصطناعي في تقليل الأخطاء تتباين بحسب نوع المهمة التشخيصية ونوع الوسيط الشعاعي ومدى تعقيد الحالة السريرية. وهذا يعني أن العلاقة بين المتغيرين محكومة بسياقات وشروط ينبغي مراعاتها عند تصميم الدراسة واختبار فرضياتها.

Mid Ocean University

College of Management



Master of Healthcare Management

The Role of Artificial Intelligence in Reducing Diagnostic Errors in Panoramic and Cephalometric Radiography

Prepared by:

Mohammed Saeed Alshahrani

252001276

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

2026 – 1447