ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

توظيف الذكاء الاصطناعي في تطوير الأدوية

محمد سامح منلا*

*(كلية الصيدلة، جامعة المنارة ، البريد الإلكتروني: mhd.sameh.manlla@gmail.com)

الملخص

يتناول هذا البحث دور الذكاء الاصطناعي في علم الدواء والصيدلة من جوانب متعددة، بدءاً من اكتشاف الأدوية مروراً بتحسين عمليات التصنيع ومراقبة السلامة، وصولاً إلى تبني منظومات رعاية صحية شخصية متميزة، مع تسليط الضوء على التحديات والاعتبارات الأخلاقية والتنظيمية التي تصاحب هذه الابتكارات. إن تعزيز التعاون بين الباحثين، الشركات المصنعة، والجهات التنظيمية يمثل المفتاح الأساسي لاستثمار الإمكانيات الهائلة لهذه التكنولوجيا وتحقيق فوائد جمة للمجتمع الطبي والصالحي على حد سواء.

كلمات مفتاحية – الذكاء الاصطناعي، النمذجة، التعلم العميق، الدواء، المراقبة الدوائية.

Summary

This research addresses the role of Artificial Intelligence (AI) in pharmacology and pharmacy from multiple aspects, starting from drug discovery, moving through the improvement of manufacturing processes and safety monitoring, and culminating in the adoption of distinguished personalized healthcare systems. It also highlights the challenges and the ethical and regulatory considerations that accompany these innovations. Enhancing cooperation between researchers, manufacturers, and regulatory bodies is key to investing the immense potential of this technology and achieving significant benefits for both the medical and pharmaceutical communities.

Keywords: Artificial Intelligence, Modeling, Deep Learning, Drug, Pharmacovigilance.

I. مقدمة

تعد التطورات المتسارعة في مجال الذكاء الاصطناعي من أهم المحركات التي أعادت تشكيل مختلف القطاعات الصناعية والعلمية في العقد الأخير. في مجال علم الدواء والصيدلة، يتجلى هذا التحول في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين وتسريع مراحل اكتشاف الأدوية، تصميم التركيبات الدوائية، مراقبة السلامة الدوائية، وتقديم الرعاية الصحية الشخصية للمريض. إن التكامل بين تقنيات الحوسبة الحديثة والعلوم الدوائية يوفر فرصاً غير مسبوقة لتخفيض التكاليف وتسريع عمليات البحث والتطوير، كما أنه يسهم في تقديم حلول علاجية أكثر دقة وتخصيصاً.

تركز هذه الدراسة على تحليل دور الذكاء الاصطناعي في عدة محاور رئيسية نذكر منها اكتشاف الأدوية، تحسين التركيبات الدوائية، مراقبة السلامة الدوائية والرعاية الشخصية، بالإضافة إلى التحديات والاعتبارات الأخلاقية المرتبطة باستخدام هذه التقنيات المتطورة. تستند الدراسة إلى أحدث المراجع والدراسات المنشورة خلال السنوات الأخيرة، مما يضمن تقديم رؤية متكاملة ومحدَّثة حول هذا الموضوع الحيوي. [2] [1]

إن تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق، قد أحدثت نقلة نوعية في كيفية معالجة البيانات الضخمة وتحليلها بغية التنبؤ بفعالية المركبات الدوائية واكتشاف آليات عملها — وهي عمليات كانت سابقاً تستغرق أعواماً من البحث والتجارب المخبرية التقليدية . [3] [1]

كما أن الدمج بين الذكاء الاصطناعي والأنظمة الآلية ساهم في تحسين كفاءة التصنيع وتوزيع الدواء في الصيدليات بطرق تقلل من الأخطاء البشرية وتزيد من سرعة الاستجابة لاحتياجات المرضى. [4]

سيتناول المقال في الأقسام التالية تحليل التطبيقات الملموسة للذكاء الاصطناعي في مرحلتي اكتشاف الأدوية وتحسين التركيبات، وسيركز أيضاً على الآثار المترتبة على السلامة الدوائية والرقابة الأخلاقية بالإضافة إلى التحديات التقنية التي تقف أمام هذه الابتكارات. كما سيتم تسليط الضوء على الاتجاهات المستقبلية التي قد تشهد توسعاً في استخدام الذكاء الاصطناعي بمختلف تطبيقاته في المجال الدوائي . [6] [5]

*الشكل 1 يمثل نمو اعتماد الذكاء الاصطناعي في مجال الصيدلة بين عام **2015** وحتى **2023**.*

II. تطبيقات الذكاء الاصطناعي في اكتشاف الأدوية

يرتكز اكتشاف الأدوية الحديثة على تحليل كميات هائلة من البيانات الكيميائية والبيولوجية، وهو مجال تبرز فيه تطبيقات الذكاء الاصطناعي كأداة رئيسية لتسريع وتيرة الابتكار.

A. التحليل الكمي والنمذجة

تستخدم تقنيات التعلم الآلي، بما في ذلك النماذج القائمة على الشبكات العصبية العميقة، لتحليل البيانات المجمعة من قواعد البيانات الكبيرة التي تحتوي على معلومات حول التركيب الكيميائي، الفعالية السريرية، والسمية المحتملة للمركبات الدوائية. تشير إحدى الدراسات إلى أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي يمكنه تحسين معدل اكتشاف المركبات الفعالة من خلال تحليل العلاقات الكمّية بين التركيب الدوائي والاستجابة البيولوجية للمريض. [5]

تقدم النمذجة باستخدام الذكاء الاصطناعي مميزات عدة، من بينها القدرة على تقليل فترة التجارب المخبرية والتقليل من الأخطاء التجريبية التقليدية، كما تساعد النماذج التنبؤية في التحقق من سلامة المركبات قبل الدخول في مراحل التجارب السريرية المكلفة. [7]

B. التعلم العميق والمحاكاة الرقمية

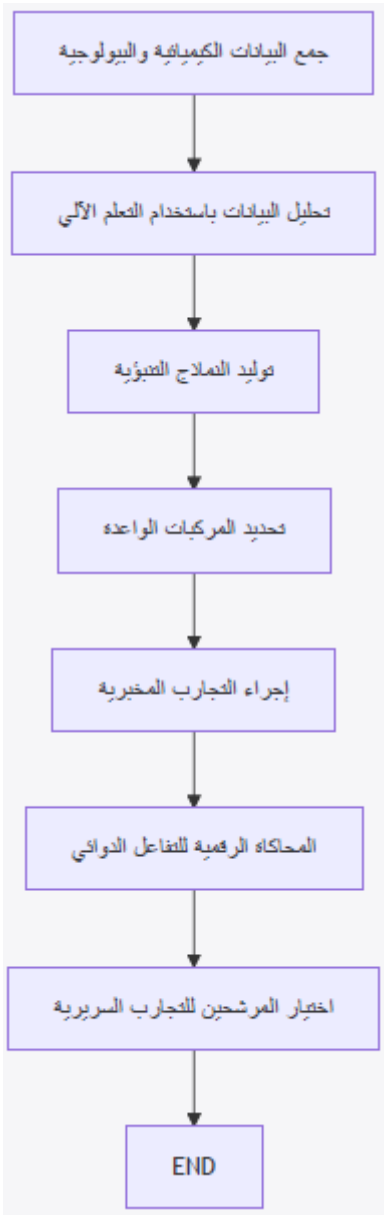
يعد التعلم العميق أحد أبرز فروع الذكاء الاصطناعي الذي ساهم في تحقيق تقدم كبير في اكتشاف الأدوية. تستخدم الخوارزميات القائمة على التعلم العميق لتوليد مشتقات جديدة عن طريق تحليل البيانات السابقة، مما يساهم في تصميم جزيئات دوائية جديدة ذات فعالية محسّنة وأقل سمية. [7] [5]

ساعدت تقنيات المحاكاة الرقمية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي في إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد لمعرفة كيفية تفاعل الأدوية مع البروتينات المستهدفة داخل الجسم، وهو ما يمكن الباحثين من تعديل تركيب الدواء بشكل دقيق لتحقيق أقصى درجات الفعالية والتقليل من الآثار الجانبية. [7]

C. استخدام الذكاء الاصطناعي في تحديد المرضى المناسبين للتجارب

تتطلب عمليات التجارب السريرية تحديد شريحة مناسبة من المرضى لضمان فعالية العلاج وسلامته. يمكن للذكاء الاصطناعي تحليل سجلات المرضى الطبية لتحديد الفئات الأكثر استجابة للعلاج المقترح، مما يؤدي إلى تقليل الفترة الزمنية لكل تجربة سريرية وتحسين نتائجها.

يعد هذا التطبيق من أكثر التطبيقات استفادة حيث يمكّن الباحثين من تصميم تجارب سريرية موجهة بدقة أكبر، مما يؤدي إلى تقليل تكلفة البحث والتطوير وتسريع عملية إطلاق الأدوية الناجحة في الأسواق. [7]



مخطط 1 سير عملية اكتشاف دواء باستخدام الذكاء الاصطناعي

يوضح الرسم البياني سير عملية اكتشاف الأدوية اعتماداً على تقنيات الذكاء الاصطناعي، بدءاً من جمع البيانات وحتى اختيار المرشحين للتجارب السريرية. [7]

D. أمثلة تطبيقية ناجحة

على سبيل المثال، أثبتت إحدى الدراسات فعالية الذكاء الاصطناعي في تصميم مركب دوائي جديد، حيث تم التوصل إلى مركب (DSP-1181) الذي يعتبر من أول المركبات التي تم تصميمها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، مما أسهم في تقليل الوقت والتكاليف المرتبطة البحث والتطوير. كذلك، تستخدم شركات الأدوية تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحديد المواد الفعالة في الأدوية القائمة ومعرفة إمكانية إعادة استخدامها لعلاج أمراض جديدة، ما يعرف بإعادة توجيه الأدوية (drug repurposing) . [3] [5] [7]

III. تحسين التركيبات الدوائية وتطوير عمليات التصنيع

تتميز عملية تصنيع الأدوية بتعقيدها واعتمادها على دقة النوعية والكفاءة العالية في العمليات الإنتاجية. يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في تحسين هذه العمليات من خلال تعزيز التحكم في الجودة وتحليل البيانات في الوقت الحقيقي.

A. تحسين التركيبات الدوائية باستخدام الشبكات العصبية

تستخدم الشبكات العصبية الاصطناعية في تحليل البيانات التجريبية المتعلقة بالتحرر المتحكم فيه للدواء، وتحسين عملية تصميم أقراص الجرعات بحيث تحقق توازنًا بين الفعالية وسلامة الاستخدام. تشير إحدى الدراسات إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم التركيبات الدوائية يسهم في تحقيق نتائج دقيقة بمعدل أقل من الأخطاء مقارنة بالطرق التقليدية.

تتيح هذه النماذج إمكانية توقع تأثير المتغيرات المختلفة مثل العمر والحالة الصحية للمريض على امتصاص الدواء، مما يسمح بتحسين تصميم الجرعات لتتناسب مع احتياجات المرضى الفردية. [2]

B. التحكم في الجودة وتحسين عمليات التصنيع

يعد التحكم في الجودة أحد أهم عناصر عملية التصنيع في صناعة الأدوية. يساعد الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات الإنتاج بشكل مستمر للكشف عن أي انحرافات عن المعايير المحددة، مما يتيح التدخل الفوري لضمان سلامة عمليات الإنتاج. تستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل تقنيات تحليل الصور والمعالجة الحوسبية لرصد عمليات التعبئة والتغليف والتأكد من مطابقتها للمعايير الصارمة.

هذا النهج لا يقتصر فقط على التحكم في الجودة، بل يمتد أيضاً إلى تحسين جداول الإنتاج وتقليل كمية النفايات الناتجة عن عمليات التصنيع، الأمر الذي يساهم في تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة الكفاءة الإنتاجية[2]

التطبيق الرئيسي	الوصف
تحسين تركيبة الجرعات	استخدام شبكات عصبية لتحليل البيانات وتجربة تركيبات مختلفة
التحكم الآلي في الجودة	تحليل بيانات الإنتاج لتحسين معايير الجودة والكشف المبكر عن الانحرافات
تحسين عمليات التعبئة والتغليف	استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لمراقبة وتنسيق جداول الإنتاج وتقليل النفايات

جدول 1 لتلخيص تطبيقات تحسين التركيبات وعمليات التصنيع

يوضح الجدول أبرز التطبيقات التي أدت إلى تحسين التركيبات الدوائية ورفع كفاءة عمليات التصنيع باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. [2]

C. *الأتمتة والروبوتات في عمليات التصنيع*

تساهم أنظمة الروبوتات المزودة بخوارزميات الذكاء الاصطناعي في تعزيز الأتمتة في خطوط إنتاج الأدوية. على الرغم من أن الأنظمة الآلية فعالة في تقليل الأخطاء البشرية وزيادة سرعة الإنتاج، يبقى التدخل البشري ضرورياً لمتابعة الأنظمة ومعالجة الأعطال الطارئة.

تشير الدراسات إلى أن الدمج بين الأنظمة الآلية والذكاء الاصطناعي يمكن أن يؤدي إلى تحسين شامل في الإنتاج، حيث يتم تقليص الوقت المستغرق لكل وحدة دوائية وتحسين وتيرة الإنتاج دون التضحية بجودة المنتج النهائي. [4]

IV. مراقبة السلامة الدوائية والرعاية الصحية الشخصية

يعتبر أمان المرضى وجودة الرعاية الصحية من الأولويات في أي نظام صحي. يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً حيوياً في مراقبة السلامة الدوائية وتحسين الرعاية الشخصية من خلال تحليل البيانات الضخمة وتطبيق الأساليب التنبؤية في الكشف المبكر عن الآثار الجانبية المحتملة.

A. *التطبيقات في مراقبة السلامة الدوائية*

يعد الذكاء الاصطناعي أحد الأدوات الثورية في مجال مراقبة السلامة الدوائية، إذ يمكنه تحليل سجلات المرضى والبيانات السريرية لاكتشاف أي أنماط غير معتادة من التفاعلات الدوائية أو الآثار الجانبية الخطيرة. تعتمد هذه الأنظمة على تقنيات التعلم الآلي لتحليل البيانات من سجلات الأدوية والتجارب السريرية في الوقت الحقيقي، مما يساهم في اتخاذ قرارات علاجية أكثر أماناً.

إحدى الدراسات أبرزت قدرة الذكاء الاصطناعي على استخدام تقنيات مثل التجميع العنقودي (k-means clustering) والغابات العشوائية (random forest) في الكشف عن إشارات التفاعلات الدوائية غير المرغوبة بشكل أسرع وأكثر دقة من الأساليب الإحصائية التقليدية. [8]

B. *الرعاية الصحية الشخصية باستخدام الذكاء الاصطناعي*

يمنح الدمج بين تقنيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الشخصية (مثل البيانات الجينية والتاريخ الطبي) قدرة على تقديم رعاية صحية مخصصة لكل مريض. يمكن للأنظمة الذكية تحليل هذه البيانات لتحديد الجرعات الدوائية المثلى وتقديم توصيات علاجية تتناسب مع الحالة الصحية الفردية، مما يزيد من فرص تحقيق نتائج علاجية أفضل وتقليل المخاطر.

على سبيل المثال، تساعد أنظمة الذكاء الاصطناعي في مراقبة سلوك المرضى من خلال تطبيقات الهواتف الذكية والأجهزة القابلة للارتداء، مما يمكّن مقدمي الرعاية من تعديل العلاجات بناءً على التغيرات الفسيولوجية في الوقت الفعلي [9] .

المعامل	الطريقة التقليدية	الطريقة المدعومة بالذكاء الاصطناعي
دقة الكشف عن الآثار الجانبية	منخفضة نسبياً بسبب الاعتماد على المراجعة اليدوية	مرتفعة بفضل تحليل البيانات في الوقت الحقيقي
سرعة الاستجابة	بطيئة بسبب الزمن الطويل لتحليل البيانات	سريعة بفضل الخوارزميات التنبؤية
تكلفة العملية	مرتفعة بسبب الحاجة لتحليل يدوي مكثف	منخفضة نسبياً بعد تطبيق الأتمتة

جدول 2 مقارنة بين الطرق التقليدية والطرق المدعومة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة سلامة الأدوية

يوضح الجدول مقارنة بين الطرق التقليدية والطرق المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في مراقبة سلامة الأدوية، مما يظهر الفوائد الاقتصادية والعملية للتقنيات الحديثة. [8]

C. مراقبة دوائية متكاملة وتطبيقات الرعاية الشخصية

يمكن للنظم الذكية المدمجة مع تقنيات الذكاء الاصطناعي تقدير مخاطر التفاعلات الدوائية قبل وقوعها، فضلاً عن متابعة استجابة المريض للعلاج بصورة مستمرة. وتعمل هذه النظم بالتعاون مع أنظمة التحكم في الجودة والتوزيع لتوفير بيئة آمنة تضمن تحقيق أعلى درجات السلامة الدوائية. [8]

كما أن التطبيق في مجال الرعاية الشخصية لا يقتصر فقط على تعديل جرعات الدواء بل يمتد إلى تقديم توصيات مخصصة بشأن نمط الحياة والتغذية استناداً إلى البيانات الدقيقة للمريض، مما يشكل خطوة مهمة نحو تبني نموذج العلاج الوقائي والشخصي. [9]

V. الاعتبارات الأخلاقية والرقابية والتحديات التقنية

مع توسع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في علم الدواء والصيدلة، تظهر مجموعة من الاعتبارات الأخلاقية والتحديات التقنية والرقابية التي تستدعي انضباطاً وتشريعات دقيقة.

A. التحديات الأخلاقية والقانونية

تثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الرعاية الصحية والبحث العلمي قضايا تتعلق بخصوصية البيانات وسرية المعلومات، خاصةً فيما يتعلق بالبيانات الشخصية للمريض. حيث تشير الأبحاث إلى أن حماية البيانات والحفاظ على سرية المعلومات أمر حيوي لتجنب إساءة استخدامها ولضمان الثقة بين المرضى ومقدمي الخدمات الصحية.

كما أن ظهور تقنيات مثل الـ GPT-4لدعم الصيادلة يثير تساؤلات حول دقة المعلومات المقدمة وحماية الخصوصية خاصةً في الحالات التي تتطلب التعامل مع بيانات حساسة. وتطلب منظمة الصحة العالمية والهيئات التنظيمية من جميع مطوري أنظمة الذكاء الاصطناعي الالتزام بمعايير أخلاقية صارمة لضمان الشفافية والمسؤولية في استخدام هذه التقنيات [10] [11] .

B. التحديات التقنية في جودة البيانات وشفافية النماذج

يعد توفر بيانات عالية الجودة من المتطلبات الأساسية الناجحة لأي تطبيق يعتمد على الذكاء الاصطناعي. تشير الدراسات إلى أن انخفاض جودة البيانات المستخدمة في تدريب النماذج قد يؤثر سلباً على دقة التنبؤات والقرارات التي تتخذها الأنظمة الذكية. من هنا، يعد تحسين آليات جمع البيانات وتصفيتها أمراً ضرورياً لضمان عمل النماذج بكفاءة وشفافية، ويتم ذلك من خلال تطوير أساليب جديدة في معالجة البيانات وضبطها قبل استخدامها في النمذجة. [7]

C. الاعتبارات التنظيمية والرقابية

نظرًا لتعقيد العمليات وإمكانية تأثيرها المباشر على سلامة المرضى، يتطلب تطبيق الذكاء الاصطناعي في مجال علم الدواء والصيدلة أطرًا تنظيمية تشمل قوانين وأنظمة صارمة تنظم هذه التطبيقات وتضمن استخدامها بطريقة آمنة وعادلة. ويبرز التحدي هنا في إيجاد التوازن بين تشجيع الابتكار وفي نفس الوقت حماية حقوق المرضى وضمان سلامة المنتجات الدوائية. [10]

التحدي الرئيسي	الوصف المختصر
خصوصية البيانات	حماية البيانات الشخصية وعدم إساءة استخدامها
جودة البيانات	ضرورة استخدام بيانات عالية الجودة لضمان دقة النماذج
الشفافية والرقابة	وضع أنظمة رقابية لضمان وضوح عملية اتخاذ القرارات
المخاوف الأخلاقية	التواصل الفعال مع المرضى حول تطبيقات الذكاء الاصطناعي

جدول 3 لتلخيص التحديات والاعتبارات الأخلاقية

يُظهر الجدول أبرز التحديات الأخلاقية والتنظيمية المرتبطة بتطبيق الذكاء الاصطناعي في علم الدواء والصيدلة، مع ذكر المصادر الداعمة لهذه النقاط. [10]

D. *التكامل بين الإنسان والآلة*

على الرغم من التقدم التقني الكبير، تؤكد العديد من الدراسات على ضرورة بقاء العنصر البشري جزءاً أساسياً من عمليات الرقابة والتدخل الطبي، وخاصة في المراحل الحرجة مثل مراقبة الجودة والتعامل مع الحالات الطارئة التي قد تظهر أثناء التطبيق العملي للأنظمة الذكية. إذ أن التعاون بين الإنسان والآلة يُعتبر السبيل الأمثل لضمان تحقيق أعلى درجات الدقة والسلامة في تقديم الخدمات الدوائية. [4]

VI. مستقبل الذكاء الاصطناعي في علم الدواء والصيدلة

يشهد مجال الذكاء الاصطناعي تقدماً ملحوظاً في التطبيقات الدوائية والصيدلانية، ومن المتوقع أن يتوسع استخدامه في المحاور التالية:

A. *الاتجاهات المستقبلية في اكتشاف الأدوية*

من المرجح أن تؤدي التطورات في تقنيات التعلم العميق إلى ظهور نماذج أكثر تكاملاً ودقة في التنبؤ بجوانب الأدوية المختلفة مثل الفعالية والسمية. كما يمكن توقع توسع استخدام الذكاء الاصطناعي في إعادة توجيه الأدوية القائمة لاستخدامات علاجية جديدة، وهو ما يعزز من كفاءة البحث والتطوير ويوفر حلولاً علاجية مبتكرة. [5] [3]

B. *تطوير أنظمة ذكية متكاملة*

تعمل شركات التكنولوجيا وحاضنات الأبحاث على تطوير منصات متكاملة تجمع بين البيانات الصحية الكبيرة، التحليل الفوري، وأدوات التنبؤ الدوائي. من المتوقع أن تتبنى المؤسسات الصحية حلولاً تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوفير رعاية صحية شخصية متقدمة، تجمع بين التشخيص المبكر، المتابعة المستمرة، والتدخل العلاجي السريع. [9]

C. الدور المتنامي للروبوتات في الصيدلة

ستستمر تقنيات الروبوتات في التطور لتأدية مهام معقدة في خط الإنتاج وتوزيع الأدوية، ولكن مع ضمان دمج العنصر البشري في عمليات المراقبة النهائية. تُظهر الدراسات أن الجمع بين الأتمتة الذكية والرقابة البشرية يؤدي إلى تحسين كبير في دقة تصنيع وتوزيع الأدوية. [4]

D. أثر الذكاء الاصطناعي على التعليم والتدريب

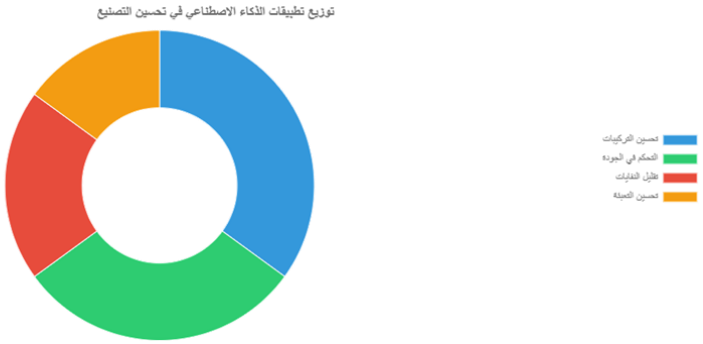
يتوقع أن يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في تطوير المناهج الدراسية والتدريب العملي للصيادلة والعاملين في القطاع الصحي. قد تشمل هذه التطبيقات دورات متخصصة في تحليل البيانات والبرمجة التطبيقية وتفسير النتائج التنبؤية، مما يؤهل جيلًا جديدًا يمتلك مهارات متعددة تجمع بين الطب والهندسة. [12]

المجال	الوضع الحالي	الاتجاه المستقبلي
اكتشاف الأدوية	استخدام نماذج التنبؤ الأساسية لتحليل البيانات	نماذج تعلم عميق متقدمة وتوليد مركبات جديدة
تحسين التركيبات الدوائية	تطبيق أساليب مجردة لتحليل الجرعات	تصميم تركيبات دوائية مخصصة باستخدام بيانات جينية متقدمة
مراقبة السلامة الدوائية	تحليل تقارير الآثار الجانبية باستخدام الخوارزميات	نظم مراقبة شاملة بالذكاء الاصطناعي للتحليل الفوري والتنبؤ
التعليم والتدريب	منحنى تدريبي تقليدي	دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في المناهج وتحليل البيانات
التشغيل الآلي والروبوتات	الاعتماد على الأتمتة الجزئية	تكامل الأنظمة الآلية تحت مراقبة بشرية متطورة

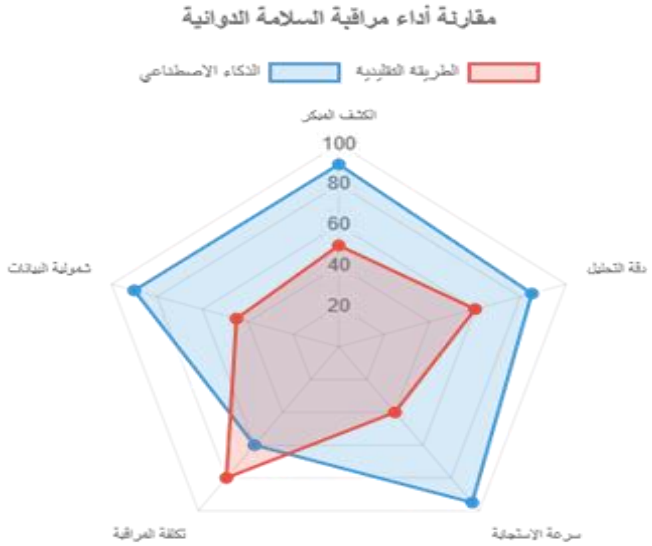
جدول 4 مقارنة بين الاتجاهات الحالية والمستقبلية في استخدام الذكاء الاصطناعي

يوضح الجدول مقارنة بين الوضع الحالي والاتجاه المستقبلي لاستخدام الذكاء الاصطناعي في مجالات مختلفة داخل علم الدواء والصيدلة، مما يبرز أهمية الابتكار المستمر والتطوير التكنولوجي. [4]

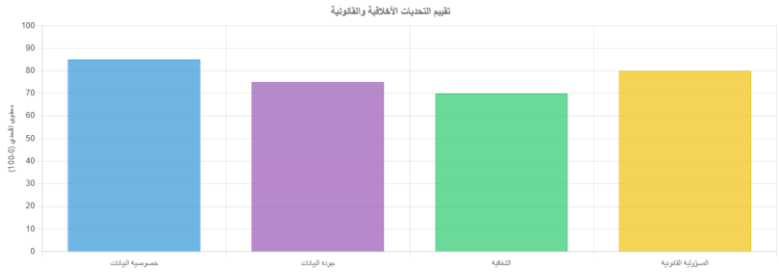
بعض الدراسات الإحصائية المبنية على المراجع المستخدمة:



الشكل 2 يمثل توزع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين التصنيع الدوائي من ناحية: تحسين المركبات، التحكم في الجودة، تقليل النفايات، تحسين التعبئة.



الشكل 3 يمثل مقارنة أداء مراقبة السلامة الدوائية بالطريقة التقليدية مع الذكاء الاصطناعي، من ناحية: دقة التحليل، شمولية البيانات، سرعة الاستجابة، تكلفة المراقبة.



الشكل 4 يمثل تقييم التحديات الأخلاقية والقانونية من ناحية: خصوصية البيانات، جودة البيانات، الشفافية، المسؤولية القانونية.

VII. الخاتمة

خلصت الدراسة إلى أن الذكاء الاصطناعي يشكّل ثورة حقيقية في مجال علم الدواء والصيدلة؛ فهو يفتح آفاقاً واسعة لتحسين استكشاف الأدوية، تطوير التركيبات الدوائية، ومراقبة السلامة الدوائية بشكلٍ أكثر كفاءة ودقة. وقد أثبتت التطبيقات العملية لهذه التقنيات القدرة على تقليل التكاليف وتسريع عمليات البحث والتطوير، كما ساهمت في تقديم رعاية صحية شخصية قائمة على تحليل بيانات دقيقة ومتعددة المصادر.

VIII. توصيات البحث

1. ***الاستثمار في تحسين جودة البيانات***: يوصى بالتركيز على تطوير آليات جمع ومعالجة البيانات لضمان تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي على بيانات دقيقة عالية الجودة.
2. ***تعزيز الأطر التنظيمية:*** ضرورة وضع سياسات ولوائح تنظيمية تراعي حماية خصوصية المرضى وتضمن شفافية استخدام الذكاء الاصطناعي في القطاع الصحي.
3. ***دمج العنصر البشري مع الآلات:*** الحفاظ على دور الخبراء والصيادلة في عمليات المراقبة والتدخل لضمان تكامل الأنظمة الذكية مع الخبرة البشرية.
4. ***تطوير المناهج التعليمية:*** إدراج دورات متخصصة في الذكاء الاصطناعي ضمن برامج الصيدلة لضمان تأهيل جيل قادر على التعامل مع التقنيات الحديثة بكفاءة.

المراجع

[1]. Vora, L.K.; Gholap, A.D.; Jetha, K.; Thakur, R.R.S.; Solanki, H.K.; Chavda, V.P. *Artificial Intelligence in Pharmaceutical Technology and Drug Delivery Design. Pharmaceutics* 2023, 15, 1916.

[2]. T. Sharma, A. Mankoo and V. Sood, *"Artificial intelligence in advanced pharmacy,"* International Journal of Science and Research Archive, vol. 2, no. 1, pp. 047-054, 2021.

[3]. A. Dubey and A. Yadav, *"New Era's of Artificial Intelligence in Pharmaceutical Industries,"* *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, vol. 12, no. 2, pp. 71-76, 2024.

[4]. A. R. Alahmari, K. K. Alrabghi, and I. M. Dighriri, *"An Overview of the Current State and Perspectives of Pharmacy Robot and Medication Dispensing Technology,"* *Cureus*, vol. 14, no. 8, p. e28642, 2022.

[5]. C. Hasselgren and T.I. Oprea, *"Artificial Intelligence for Drug Discovery: Are We There Yet?,"* Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol., vol. 64, 2024.

[6]. K. A. Ali, S. Mohin, P. Mondal, S. Goswami, and S. Choudhuri, *"Influence of artificial intelligence in modern pharmaceutical formulation and drug development,"* *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 10, no. 53, 2024.

[7]. O. J. Unogwu, M. E. Ike, and O. O. Joktan, *"Employing Artificial Intelligence Methods in Drug Development: A New Era in Medicine,"* *Mesopotamian Journal of Artificial Intelligence in Healthcare*, vol. 2023, pp. 52-56, Oct. 2023.

[8]. J. Warner, A. Prada Jardim, and C. Albera, *"Artificial Intelligence: Applications in Pharmacovigilance Signal Management,"* Pharm Med, 2025.

[9]. O. O. Ogbuagu, A. O. Mbata, O. D. Balogun, O. Oladapo, O. O. Ojo, and M. Muonde, *"Artificial intelligence in clinical pharmacy: enhancing drug safety, adherence, and patient-centered care,"* *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, vol. 4, no. 1, pp. 814-822, 2023.

[10]. H. E. Hasan, D. Jaber, O. F. Khabour and K. H. Alzoubi, *"Ethical considerations and concerns in the implementation of AI in pharmacy practice: a cross-sectional study,"* BMC Medical Ethics, vol. 25, no. 55, 2024.

[11]. Y. Kunitsu, *"The Potential of GPT-4 as a Support Tool for Pharmacists: Analytical Study Using the Japanese National Examination for Pharmacists,"* *JMIR Medical Education*, vol. 9, 2023, Art. no. e48452.

[12]. U. K. Hisan, R. D. Fauzia, and M. M. Amri, *"Preparing Pharmacists for The Era of AI-driven Pharmacological Sciences: An Opinion Article,"* *JPES*, vol. 2, no. 02, pp. 145-155, 2023.