دور بحوث العمليات في تحسين أنظمة الرعاية الصحية

م.م بان علاء عبد المجيد
الجامعة المستنصرية / كلية التربية الاساسية

مستخلص البحث:
يتناول هذا البحث دور بحوث العمليات، من خلال البرمجة الخطية المتعددة الأهداف، في تحسين الأداء التشغيلي للمؤسسات الصحية العامة في العراق. انطلقت الدراسة من واقع فعلي لدائرة مدينة الطب في بغداد، حيث تم بناء نموذج رياضي متعدد الاهداف يعتمد على ست متغيرات تشغيلية أساسية تشمل متوسط وقت الانتظار، عدد المرضى الداخلين، عدد الأسرة، عدد الأطباء، تكلفة التشغيل اليومية، وعدد المرضى المعالجين. باستخدام خوارزمية Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II ضمن بيئة Python والتي هي مسألة برمجة متعددة الأهداف ، تم توليد مجموعة من الحلول المثلى (Pareto-optimal solutions) تحقق توازناً فعّالاً بين تقليل وقت الانتظار والتكلفة التشغيلية من جهة وزيادة عدد المرضى المعالجين من جهة أخرى. بيّنت النتائج أن بعض الحلول نجحت في خفض وقت الانتظار إلى أقل من 25 دقيقة، وزيادة عدد المرضى إلى أكثر من 150 مريضاً يومياً، وأحياناً دون تجاوز سقف 800 ألف دينار كتكلفة تشغيلية. كما أظهرت الدراسة وجود علاقة عكسية واضحة بين عدد الأطباء ووقت الانتظار، وأكدت أن تحسين توزيع الموارد البشرية أكثر تأثيراً من زيادة الاستثمار في المعدات. تمثل هذه الدراسة إسهاماً عملياً في توظيف النماذج الكمية لدعم اتخاذ القرار في المؤسسات الصحية، كما تفتح المجال أمام تعميم التجربة في بيئات مشابهة على المستويين المحلي والإقليمي.

الكلمات المفتاحية: بحوث العمليات، البرمجة متعددة الأهداف، الرعاية الصحية، NSGA-II، كفاءة التشغيل.

المقدمة:
تواجه المؤسسات الصحية العامة في الدول النامية، ومنها العراق، تحديات هيكلية متراكمة تعيق قدرتها على تقديم خدمات صحية كفؤة وعادلة. ويُعد ضعف الإدارة التشغيلية للموارد من أبرز هذه التحديات، حيث يؤدي إلى ارتفاع أوقات الانتظار، وتراجع جودة الرعاية، وتزايد النفقات التشغيلية دون تحقيق نتائج علاجية متناسبة. وفي ظل الضغط المتزايد على البنى التحتية الصحية بسبب النمو السكاني، وارتفاع معدلات الإصابة بالأمراض المزمنة، والاختلال في توزيع الكوادر الطبية، تصبح الحاجة ماسة إلى أدوات تحليل كمية تدعم عملية اتخاذ القرار وتُعيد تنظيم الموارد وفقًا لأولويات واضحة. هنا تبرز أهمية توظيف بحوث العمليات، لا سيما البرمجة متعددة الأهداف، كإطار منهجي لتحسين الكفاءة التشغيلية وتحقيق التوازن بين الأهداف المتعارضة في الأنظمة الصحية. وتُعَدّ البرمجة متعددة الأهداف من أبرز تقنيات التحسين الرياضي، حيث توفر أدوات كمية دقيقة تمكّن من معالجة مشاكل معقدة تتضمن أكثر من هدف تشغيلي، مثل تقليل وقت الانتظار وتقليل التكلفة التشغيلية وزيادة الإنتاجية في آنٍ واحد. انطلقت هذه الدراسة من واقع تشغيلي حقيقي تمثل في دائرة مدينة الطب ببغداد، وهي من أكبر المؤسسات الصحية العامة في العراق، حيث تم بناء نموذج رياضي يعتمد على ستة متغيرات محورية تمثل الجوانب التشغيلية والمالية والموارد للنظام الصحي. وتم تطبيق خوارزمية **NSGA-II** داخل بيئة **Python** لاشتقاق مجموعة من الحلول المثلى التي تعكس أفضل توازن ممكن بين الأهداف الثلاثة الرئيسية. وبالاعتماد على بيانات تشغيلية حقيقية تغطي فترة زمنية مكثفة، تتيح الدراسة تقييم فعالية هذا النموذج في تحسين كفاءة النظام الصحي، وتقليل الهدر، وتعزيز الإنتاجية دون تحميل المؤسسة أعباء مالية إضافية. تمثل هذه الدراسة إسهامًا تطبيقيًا وأكاديميًا في

تعزيز استخدام أدوات بحوث العمليات في تحليل وتحسين أداء الأنظمة الصحية، من خلال تقديم نموذج رياضي قابل للتنفيذ، مدعوم بخوارزميات حديثة، ومرتبط ببيانات واقعية، ما يمنح نتائجها مستوى عالٍ من المصداقية التطبيقية والقيمة الاستراتيجية لصنّاع القرار في القطاع الصحي العراقي والعربي.

المبحث الأول: منهجية البحث

أولاً-مشكلة البحث

تعاني المؤسسات الصحية العامة في العراق من ضعف في كفاءة إدارة الموارد، مما يؤدي إلى ارتفاع أوقات الانتظار، انخفاض جودة الخدمات، وتزايد التكاليف التشغيلية دون تحقيق نتائج علاجية متناسبة. يعود ذلك إلى غياب نماذج تحليلية فعالة تساعد في اتخاذ قرارات مبنية على البيانات وتوازن بين الأهداف المتضاربة مثل تقليل التكاليف وزيادة الإنتاجية وتحسين جودة الرعاية. في ظل هذه التحديات، تظهر الحاجة إلى استخدام أدوات بحوث العمليات، وبالأخص البرمجة متعددة الأهداف، لتصميم نموذج يساهم في تحسين الأداء العام للخدمات الصحية ضمن الإمكانات المتاحة. وبالتالي يتمثل السؤال الرئيس للدراسة من خلال: كيف يمكن توظيف البرمجة متعددة الأهداف لتحسين كفاءة الأداء في مؤسسة صحية عامة عراقية من خلال التوازن بين وقت الانتظار، عدد المرضى المعالجين، الموارد المتاحة، والتكاليف التشغيلية؟

ثانياً ـ أهمية البحث

تتمثل الأهمية التطبيقية لهذا البحث في تقديم نموذج عملي قابل للتنفيذ يدعم صانعي القرار في المؤسسات الصحية العراقية على تحسين توزيع الموارد وتقليل الفاقد وزيادة كفاءة تقديم الخدمات، من خلال استخدام البرمجة متعددة الأهداف كأداة لتحليل البدائل واتخاذ قرارات أكثر فاعلية. كما يساعد النموذج في معالجة مشكلات مثل طول وقت الانتظار وقلة الطاقة الاستيعابية، ما ينعكس بشكل مباشر على رضا المرضى وجودة الرعاية. أما الأهمية العلمية فتتمثل في إثراء الأدبيات المتعلقة بتطبيق بحوث العمليات في القطاع الصحي العربي، من خلال بناء نموذج كمي يعتمد على بيانات حقيقية من مؤسسة صحية عامة وتطبيق خوارزميات حديثة في البرمجة متعددة الأهداف، مما يفتح المجال أمام دراسات مستقبلية أكثر تخصصًا في تحسين الأداء الصحي باستخدام أدوات علمية دقيقة.

ثالثاً-متغيرات البحث

تعتمد هذه الدراسة على ستة متغيرات رئيسية تم اختيارها بناءً على أهميتها في تقييم أداء المؤسسات الصحية وقدرتها على تمثيل الجوانب التشغيلية والمالية والخدمية للنظام الصحي. وتشمل هذه المتغيرات: (1) متوسط وقت الانتظار لكل مريض، ويعكس مستوى سرعة تقديم الخدمة؛ (2) عدد المرضى الداخلين يومياً، كمؤشر على حجم الطلب؛ (3) عدد الأسرة المتاحة، لقياس الطاقة الاستيعابية؛ (4) عدد الأطباء المتوفرين، كمقياس للموارد البشرية؛ (5) تكلفة التشغيل اليومية، لقياس العبء المالي؛ و(6) عدد المرضى الذين تم علاجهم، كمؤشر على كفاءة النظام في تقديم الرعاية. تُمثل هذه المتغيرات مدخلات ومخرجات أساسية ضمن نموذج البرمجة متعددة الأهداف، وتُستخدم لتحليل وتحسين التوازن بين الكفاءة التشغيلية وجودة الخدمة والتكلفة.

رابعاً: منهج البحث

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الكمي التحليلي لتصميم نموذج رياضي باستخدام البرمجة متعددة الأهداف، بهدف تحسين كفاءة الأداء في مؤسسة صحية عامة عراقية. تم جمع البيانات من سجلات تشغيلية حقيقية لدائرة مدينة الطب في بغداد، سيتم استخدام خوارزمية NSGA-II ضمن بيئة Python لتوليد حلول مثلى تحقق توازن بين الأهداف المتضاربة. وسيتم تحليل النتائج باستخدام

أدوات إحصائية ورسومية لتحديد مجموعة الحلول المثلى (Pareto front)، وتقديم توصيات عملية قابلة للتنفيذ.

خامساً: فرضيات البحث

تقوم الدراسة على الفرضيات التالية:

1- توجد علاقة بين عدد الأطباء المتوفرين ومتوسط وقت الانتظار للمرضى.
2- زيادة عدد الأسرة المتاحة يؤدي إلى ارتفاع عدد المرضى الذين يمكن علاجهم يومياً.
3- تقليل وقت الانتظار مرتبط بتحسين كفاءة استخدام الموارد المتاحة.
4- ارتفاع عدد المرضى الداخلين يومياً يؤدي إلى زيادة الضغط على الموارد البشرية والمادية.
5- توجد علاقة طردية بين تكلفة التشغيل اليومية وكفاءة تقديم الخدمة.
6- استخدام البرمجة متعددة الأهداف يساهم في الوصول إلى حلول تحقق توازناً بين جودة الرعاية والتكلفة التشغيلية.

سادساً: مكان وزمن الدراسة:

تم إجراء هذه الدراسة في دائرة مدينة الطب في بغداد، وهي واحدة من أكبر المؤسسات الصحية العامة في العراق، وتضم مجموعة من المستشفيات التخصصية التي تستقبل العديد من الحالات شهرياً. تم جمع البيانات وتحليلها خلال الفترة من كانون الثاني إلى نيسان 2025، وهي فترة شهدت ضغط تشغيلي واضح على النظام الصحي، مما وفّر بيئة واقعية لدراسة التحديات التشغيلية وتقييم فعالية النماذج المقترحة في تحسين الأداء ضمن الظروف الفعلية للمؤسسة.

سابعاً: دراسات سابقة

تناولت دراسة أما على الصعيد الدولي، فقد قدمت دراسة Capan et al. (2017) مراجعة تحليلية شاملة لدور بحوث العمليات في تحسين قرارات تقديم الرعاية الصحية. استعرض الباحثون تطبيقات متعددة شملت تخصيص الأسرة، جدولة الطواقم الطبية، تحسين تدفق المرضى في أقسام الطوارئ، وتحليل فعالية العلاجات. ركزت الدراسة على أهمية دمج البيانات الفعلية مع النماذج الرياضية لاتخاذ قرارات قائمة على الأدلة، وأكدت على أن استخدام أدوات بحوث العمليات أدى إلى تحقيق تحسينات ملموسة في تقليل التكاليف، وزيادة الإنتاجية، ورفع مستوى رضا المرضى.

يتضح من خلال الدراستين أن نماذج بحوث العمليات، سواء في السياق العربي أو الدولي، أثبتت فعاليتها في تحسين الأداء المؤسسي في القطاع الصحي، من خلال تقديم حلول كمية تسهم في اتخاذ قرارات أكثر كفاءة وعدالة. وتناولت دراسة دريدي وآخرون (2018) واقع استخدام نماذج بحوث العمليات في المؤسسات الصحية العمومية الجزائرية، حيث تم تطبيق الدراسة على المؤسسة العمومية للصحة الجوارية "رزيق يونس" في مدينة بسكرة. سعت الدراسة إلى تحليل دور النماذج الكمية، خصوصًا النماذج الانتظارية، في تحسين أداء الوحدات الصحية من خلال تقليل وقت الانتظار وتحسين استغلال الموارد البشرية والمادية. أظهرت النتائج أن تطبيق هذه النماذج ساهم في دعم عملية اتخاذ القرار الإداري ورفع كفاءة توزيع الموارد، مما انعكس إيجابًا على جودة الخدمات المقدمة للمرضى. أما دراسة Gao et al. (2021) فقد ركزت على استخدام خوارزمية NSGA-II في تحسين تخطيط استخدام الأراضي المستدام، مع تقديم مقارنات تجريبية بين إصدارات محسنة من الخوارزمية. أكدت الدراسة أن دمج أساليب التحسين متعددة الأهداف أسهم بشكل ملحوظ في تحقيق توازن بين متطلبات التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة. رغم أن السياق الأساسي للدراسة بيئي، إلا أن منهجيتها تقدم أدلة قوية على فعالية نماذج NSGA-II في التعامل مع مشكلات توزيع الموارد المحدودة، وهو ما يجعلها قابلة للتطبيق في قطاعات أخرى مثل الرعاية الصحية.

كما قدمت دراسة Ma et al. (2023) مراجعة شاملة لتطور خوارزمية NSGA-II، موضحة تطبيقاتها في تحسين الحلول المثلى متعددة الأهداف، لا سيما في المجالات الهندسية والصحية. تناولت الدراسة التطويرات الحديثة التي حسنت أداء الخوارزمية في التعامل مع مشاكل ذات أبعاد عالية وتعقيد متزايد، وأبرزت أهمية تطبيق NSGA-II في توفير حلول متعددة تراعي التوازن بين الأهداف المتعارضة. بينت النتائج أن استخدام الإصدارات المحسنة من الخوارزمية يرفع من كفاءة البحث ويزيد من تنوع الحلول، مما يدعم متخذي القرار في بيئات معقدة مثل المؤسسات الصحية.

ثامناً: ميزة الدراسة الحالية:

تمتاز الدراسة الحالية بتركيزها على بيئة صحية واقعية ومعقدة تتمثل في دائرة مدينة الطب ببغداد، إحدى أكبر المؤسسات الصحية العامة في العراق، وباعتمادها على بيانات تشغيلية فعلية لفترة زمنية محددة، ما يمنح نتائجها مصداقية تطبيقية عالية. كما تميزت باستخدام خوارزمية **NSGA-II** المتقدمة ضمن إطار البرمجة متعددة الأهداف، وهي منهجية لم تُستخدم على نطاق واسع في الدراسات المحلية، مما يعزز من أصالتها ويسهم في سد فجوة معرفية في الأدبيات العربية. تضاف إلى ذلك ميزة الربط العملي بين الأبعاد التشغيلية والمالية للخدمات الصحية، من خلال نموذج رياضي قابل للتنفيذ يدعم صانعي القرار في تحقيق توازن فعلي بين جودة الرعاية وكفاءة استخدام الموارد وتكاليف التشغيل.

تاسعاً: خطوات تطبيق خوارزمية NSGA-II

خوارزمية NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) **تتبع سلسلة خطوات منظمة لحل مشاكل التحسين متعددة الأهداف:**

تبدأ خوارزمية NSGA-II بإنشاء مجموعة أولية من الحلول العشوائية، تمثل كل حل ككائن (كروموسوم) يحتوي على قيم للمتغيرات المرتبطة بالمشكلة. بعد توليد هذه المجموعة، يتم تقييم كل حل من خلال حساب قيم دوال الهدف والقيود المرتبطة به. بمجرد إتمام عملية التقييم، تبدأ مرحلة الترتيب حسب الهيمنة، حيث يتم تصنيف الحلول إلى جبهات متعاقبة بناءً على مبدأ الهيمنة. الحلول التي لا يهيمن عليها أي حل آخر توضع ضمن الجبهة الأولى، بينما يتم تصنيف الحلول الأخرى في جبهات لاحقة وفقاً لعدد الحلول التي تهيمن عليها. بعد تصنيف الحلول، تحسب الخوارزمية مسافة الحشد لكل حل ضمن جبهته. هذه المسافة تمثل مقياساً لمدى تباعد الحلول عن بعضها البعض في فضاء الأهداف، وتهدف إلى الحفاظ على تنوع السكان وتجنب التكدس حول مناطق معينة. تعتمد عملية اختيار الحلول للتكاثر على مزيج من ترتيب الجبهات ومسافة الحشد، حيث تفضل الخوارزمية الحلول التي تقع في جبهات أعلى (أقرب إلى الجبهة الأولى) وتلك التي تتمتع بمسافة حشد أكبر لضمان التنوع. تنتقل الخوارزمية بعد ذلك إلى مرحلة إنشاء الجيل الجديد من خلال تطبيق عمليات التهجين والطفرة. التهجين يسمح بدمج خصائص اثنين من الحلول لإنتاج حلول جديدة تحمل مزيجاً من صفاتهما، بينما تعمل الطفرة على إدخال تغييرات صغيرة وعشوائية في أحد الحلول بهدف توسيع نطاق البحث واستكشاف مساحات جديدة من الحلول الممكنة. يتم بعد ذلك دمج الجيلين، القديم والجديد، في مجموعة واحدة، ثم إعادة تطبيق الترتيب حسب الهيمنة ومسافة الحشد على المجموعة الموسعة **(Verma et al, 2021) (Zhang et al., 2023)**.

لإنشاء الجيل الجديد النهائي، تختار الخوارزمية أفضل الحلول استناداً إلى أولويات الجبهة ثم مسافة الحشد حتى تصل إلى العدد المطلوب من الأفراد. تتكرر هذه الدورة بدءاً من الترتيب وحتى إنشاء الأجيال الجديدة لفترة محددة مسبقاً، سواء حسب عدد معين من التكرارات أو حتى تستقر جبهة الحلول المثلى. في نهاية العملية، تكون الخوارزمية قد أنتجت مجموعة من الحلول المثلى غير المهيمن عليها،

المعروفة بجبهة **Pareto**، والتي تمثل أفضل التوازنات الممكنة بين الأهداف المتعددة للمشكلة محل الدراسة.

المبحث الثاني: الإطار النظري

دور بحوث العمليات في مجال الرعاية الصحية

أولاً: المفاهيم الأساسية لبحوث العمليات:

تُعد بحوث العمليات من أهم الأدوات العلمية المستخدمة في دعم اتخاذ القرار، إذ توفر نماذج كمية تعتمد على التحليل الرياضي والمنطقي لحل المشكلات المعقدة في البيئات المؤسسية المتغيرة. يهدف هذا الحقل إلى تحسين الأداء التنظيمي من خلال تقديم حلول مثلى تستند إلى بيانات واقعية ونماذج محاكية للواقع، ما يتيح لصانعي القرار التعامل مع الموارد المحدودة والقيود المتعددة بطريقة منهجية وفعالة (Pierskalla، 2010). وتزداد أهمية بحوث العمليات في المؤسسات الصحية والاقتصادية والتعليمية، نظرًا لطبيعة التحديات التي تتطلب قرارات متوازنة بين الأهداف المتعارضة مثل التكلفة والجودة والزمن.يمر بناء نموذج بحوث العمليات بعدة مراحل مترابطة تبدأ بتحديد المشكلة بدقة، ثم جمع البيانات الضرورية، يلي ذلك اختيار النموذج الرياضي المناسب الذي يعبّر عن العلاقات بين المتغيرات، ومن ثم إيجاد الحلول باستخدام تقنيات التحسين، وأخيرًا اختبار صلاحية الحل وتفسيره عمليًا. هذه المراحل تمثل إطارًا منهجيًا يعتمد على الربط بين النظرية والتطبيق، وتساهم في ضمان اتخاذ قرارات فعالة وقابلة للتنفيذ في الواقع العملي (دريدي وآخرون، 2018). وتتنوع النماذج المستخدمة في بحوث العمليات حسب طبيعة المشكلة، وتشمل النماذج الخطية التي تفترض علاقات تناسبية بين المتغيرات، والنماذج غير الخطية التي تأخذ في الاعتبار التفاعلات المعقدة، والنماذج متعددة الأهداف التي تهدف إلى تحقيق توازن بين أهداف متضاربة. وقد أثبتت النماذج متعددة الأهداف، مثل تلك المبنية على خوارزميات تطورية كـ NSGA-II، فاعليتها في التعامل مع مشاكل القطاع الصحي لما توفره من حلول متعددة تعكس خيارات تشغيلية متنوعة (Verma et al.، 2021). كما تختلف بحوث العمليات عن الأساليب الإدارية التقليدية في كونها تعتمد على صياغة النماذج الرياضية القابلة للقياس والتحليل بدلاً من الاعتماد على الخبرة الشخصية أو الحدس. فهي تمنح متخذي القرار أدوات كمية دقيقة يمكن استخدامها للتخطيط الاستراتيجي والتشغيلي، مما يجعلها أكثر موثوقية في ظل الظروف المعقدة (Capan et al.، 2017). بينما تتسم الأساليب التقليدية بالاعتماد على الخبرات الذاتية، فإن بحوث العمليات توفر قاعدة علمية متينة تدعم اتخاذ القرار القائم على البيانات.لقد شهدت تطبيقات بحوث العمليات توسعًا كبيرًا في قطاعات متعددة. ففي القطاع الصحي، تُستخدم لتحسين جدولة العمليات الجراحية، وتخصيص الموارد الطبية، وتقليل وقت انتظار المرضى، أما في القطاع الصناعي، فتُستخدم في التخطيط الإنتاجي وإدارة سلسلة الإمداد، وفي القطاع التعليمي تُوظف لتوزيع الموارد وتحسين الجدولة الدراسية (Shetaban et al.، 2020). يعكس هذا التنوع في التطبيقات قدرة بحوث العمليات على التكيف مع طبيعة كل قطاع واحتياجاته الخاصة، مما يجعلها أداة علمية مرنة وقوية لدعم اتخاذ القرار في البيئات الديناميكية.

ثانياً: استخدامات بحوث العمليات في الرعاية الصحية:

تفرض طبيعة النظام الصحي الحديث، بما يتضمنه من تعقيد في الهياكل وتعدد في المتغيرات وضغوط متزايدة على الموارد، ضرورة تبني أدوات تحليلية دقيقة تدعم القرارات اليومية والاستراتيجية. من هذا المنطلق، تظهر الحاجة إلى توظيف بحوث العمليات في المؤسسات الصحية كوسيلة علمية للتعامل مع هذه التحديات. فزيادة أعداد المرضى، وتنامي التكاليف التشغيلية، ونقص الكوادر الطبية، جميعها عوامل تتطلب نماذج كمية تساعد في تحقيق التوازن بين الكفاءة التشغيلية وجودة الرعاية الصحية (دريدي، 2014). تتنوع استخدامات بحوث العمليات في الرعاية الصحية، إذ

تشمل عدة مجالات مثل جدولة العمليات الجراحية بطريقة تقلل من أوقات الانتظار وتزيد من الاستفادة من غرف العمليات، وتخصيص الموارد الطبية مثل الأسرة والأطباء بما يتناسب مع حجم الطلب الفعلي، وكذلك تحسين مسارات المرضى داخل المستشفيات من لحظة دخولهم وحتى خروجهم، بما يحقق انسيابية في الإجراءات ويقلل من الاختناقات التشغيلية (Saghafian et al.، 2015). إضافة إلى ذلك، تُستخدم هذه النماذج في تخطيط خدمات الطوارئ، وتوزيع الكوادر الطبية بحسب الحاجة الزمنية والمكانية، وإدارة سلاسل الإمداد الدوائي. ورغم أهمية هذه النماذج، إلا أن تطبيق بحوث العمليات في القطاع الصحي يواجه تحديات متعددة. من أبرزها ضعف جودة البيانات المتاحة، وصعوبة نمذجة السلوك الإنساني والعوامل النفسية ضمن النماذج الرياضية، وغياب الكوادر المؤهلة لفهم وتطبيق النتائج، إضافة إلى مقاومة التغيير من قبل بعض العاملين في القطاع الصحي (Heydari et al.، 2022). كما أن تعقيد بيئة المستشفيات وتعدد الأطراف المعنية في اتخاذ القرار يزيد من صعوبة تنفيذ الحلول المستخلصة من النماذج دون دعم إداري وسياسي كافٍ. وفي مواجهة هذه التحديات، تبرز النماذج متعددة الأهداف كحل مناسب للمشكلات المعقدة في الرعاية الصحية. فهي تتيح دراسة المفاضلات بين أهداف متعارضة مثل تقليل التكاليف وزيادة الإنتاجية وتحسين جودة الخدمة في آنٍ واحد، وتوفر بدائل تشغيلية متعددة تُعرض على متخذي القرار للمفاضلة بينها وفقًا لأولوياتهم. وقد أثبتت خوارزميات مثل NSGA-II فعاليتها في إيجاد حلول Pareto المثلى التي تمثل توازناً حقيقياً بين هذه الأهداف دون انحياز مسبق (Ma et al.، 2023). تسهم هذه النماذج في تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد، وتقليل الهدر، ورفع مستوى الأداء الكلي للمؤسسة الصحية.

المبحث الثالث: الجانب التطبيقي

أولاً: بناء النموذج التطبيقي:

تعاني المؤسسات الصحية العامة في العراق من ضغوط متزايدة نتيجة النمو السكاني، وتزايد الطلب على خدمات الرعاية الصحية، ونقص الموارد البشرية والمادية. في دائرة مدينة الطب ببغداد، تتركز المشكلة التشغيلية في عدم القدرة على تحقيق توازن فعّال بين سرعة تقديم الخدمة، وتكلفتها، وجودتها. ارتفاع متوسط وقت الانتظار، محدودية عدد الأسرة، والموارد البشرية غير الكافية، تؤدي إلى انخفاض في كفاءة الأداء الكلي للمؤسسة. الهدف من النموذج هو تحليل هذه العوامل واقتراح حلول تشغيلية تحقق التوازن الأمثل بين الكفاءة والتكلفة وجودة الخدمة. تم تحديد ست متغيرات تشغيلية بناءً على أهمية كل منها في قياس الأداء كما يظهر الجدول 1:

الجدول 1: توصيف المتغيرات

الرمز	المتغير	النوع	التوصيف
X_1	متوسط وقت الانتظار لكل مريض	هدف تقليل	يعكس كفاءة وسرعة تقديم الخدمة
X_2	عدد المرضى الداخلين يومياً	مدخلات	مؤشر على حجم الطلب اليومي
X_3	عدد الأسرة المتاحة	مدخلات	مقياس للطاقة الاستيعابية
X_4	عدد الأطباء المتوفرين	مدخلات	مؤشر للموارد البشرية
X_5	تكلفة التشغيل اليومية	هدف تقليل	مقياس للعبء المالي اليومي
X_6	عدد المرضى الذين تم علاجهم	هدف زيادة	مقياس لكفاءة المؤسسة في تقديم الخدمة

بناءً على المتغيرات السابقة، تم صياغة ثلاث أهداف رئيسية:

- تقليل متوسط وقت الانتظار لكل مريض $min\ X_1$
- تقليل تكلفة التشغيل اليومية $min\ X_5$
- زيادة عدد المرضى الذين تم علاجهم $max\ X_6$

تتعارض هذه الأهداف في حالات كثيرة، مما يتطلب إيجاد حلول وسط (trade-offs) عبر نمذجة رياضية متعددة الأهداف. يعتمد النموذج على دمج ثلاثة أهداف تشغيلية متعارضة ضمن إطار برمجة رياضية متعددة الأهداف (Multi-Objective Programming). يتمثل الهدف في تحقيق توازن بين تقليل وقت الانتظار والتكلفة التشغيلية من جهة، وزيادة عدد المرضى المعالجين من جهة أخرى. يتم تحديد ثلاث دوال هدف رئيسية، وتُشتق القيود من العلاقات الإحصائية والوظيفية بين الموارد والمخرجات الفعلية، باستخدام معاملات تستند إلى البيانات التاريخية أو التقديرات التجريبية. حيث: المتغيرات X_2, X_3, X_4 تُستخدم كقيود تشغيلية (capabilities and demands) والأهداف تمثل دوال موضوعية متضاربة. النموذج بصيغته

$$min f_1(X1) = X_1 \quad \text{(Minimize average waiting time)}$$

$$\min \quad f_2(X) = X_5 \quad \text{(Minimize operating cost)}$$

$$\max \quad f_3(X) = X_6 \quad \text{(Maximize number of patients treated)}$$

Constraints:

$$X_6 \leq \alpha_1 X_4 + \alpha_2 X_3$$

$$X_5 = \beta_1 X_4 + \beta_2 X_3 + \beta_3 X_2$$

$$X_1 = \gamma_1 \cdot \frac{X_2}{X_4} + \gamma_2 \cdot \frac{X_2}{X_3}$$

$$X_i \geq 0 \ \forall i \in \{1,2,3,4,5,6\}$$

$$X_2, X_3, X_4 \in \mathbb{N}$$

المعاملات $\beta_i \ \alpha_i \ \gamma_i$ تستخرج من البيانات التاريخية المسجلة. القيد الأول يربط عدد المرضى الذين يمكن علاجهم بعدد الأطباء والأسرة والقيد الثاني يحسب تكلفة التشغيل اليومية كناتج مجموع تكلفة الموارد البشرية والمادية والطلب والقيد الثالث يعكس علاقة طردية بين وقت الانتظار وكثافة الطلب مقارنة بعدد الموارد. يتم حل هذا النموذج باستخدام خوارزمية NSGA-II داخل بيئة Python لتوليد مجموعة من الحلول المثلى (Pareto-optimal solutions)، والتي تحقق توازنًا بين الأهداف المتعارضة بدون فرض أوزان مسبقة. تم اختيار خوارزمية الترتيب غير المهيمن الجيني الثانية NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) لأسباب:

- كفاءتها في التعامل مع نماذج متعددة الأهداف
- قدرتها على إيجاد حلول Pareto فعالة
- قابليتها للتنفيذ في بيئة Python باستخدام مكتبات مفتوحة مثل DEAP و Platypus

تم تحويل مشكلة تحسين الأداء التشغيلي في دائرة مدينة الطب إلى مسألة برمجة خطية متعددة الأهداف عبر تحديد ثلاثة أهداف تشغيلية رئيسية تمثل جوهر كفاءة النظام الصحي. تمثلت هذه الأهداف في تقليل متوسط وقت الانتظار لكل مريض (X1)، تقليل التكلفة التشغيلية اليومية (X5)، وزيادة عدد المرضى الذين يتم علاجهم يومياً (X6). وتمت صياغة دوال الأهداف بالشكل التالي:

تقليل f1(X) = X1

تقليل f2(X) = X5

تعظيم f3(X) = X6

ولغرض توحيد اتجاه الأهداف بما يتناسب مع خوارزمية NSGA-II، تم التعامل مع تعظيم عدد المرضى المعالجين كهدف للتقليل من القيمة السالبة له، وفق الصيغة Minimize (-X6).

أما بالنسبة لصياغة قيود المسألة، فقد تم تحديدها بناءً على العلاقات الفعلية بين الموارد المتاحة والمخرجات التشغيلية كما يلي:

عدد المرضى الداخلين يومياً (X2) يجب أن يكون محدوداً بطاقة الأسرة المتاحة (X3) وعدد الأطباء (X4)، وفق قيدين منفصلين يمثلان حدود الاستيعاب القصوى:

$$X2 \leq \alpha \times X3$$

$$X2 \leq \beta \times X4$$

يجب ألا تتجاوز التكلفة التشغيلية اليومية (X5) سقفاً مالياً محدداً بما يتناسب مع موازنة المؤسسة، وهو ما يمثل قيداً مالياً صريحاً:

$$X5 \leq \gamma$$

عدد المرضى الذين يتم علاجهم يومياً (X6) يجب أن لا يقل عن حد أدنى لضمان تحقيق الكفاءة الإنتاجية المطلوبة:

$$X6 \geq \delta$$

تُعبر المعاملات ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$) عن معاملات ومعايير تنظيمية مستخلصة من تحليل البيانات الفعلية المسجلة خلال فترة الدراسة. بالنسبة للمعاملات α وβ فقد تم تحديدها بناءً على نسب تشغيلية مستقاة من الأداء التشغيلي اليومي للمؤسسة، حيث تشير α إلى متوسط عدد المرضى الذين يمكن استيعابهم بالنسبة لكل سرير، بينما تعبر β عن متوسط عدد المرضى الذي يمكن للطبيب الواحد معالجته يومياً. أما المعامل γ فقد عُين استناداً إلى المتوسط الأعلى للتكلفة اليومية المسجلة خلال فترة جمع البيانات والذي بلغ حوالي 1,200,000 دينار عراقي، بينما يمثل δ الحد الأدنى المقبول لعدد المرضى المعالجين يومياً بناءً على مستويات الأداء المستهدفة والتي تراوحت خلال الدراسة بين 100 إلى 150 مريضاً.تم عرض دوال الهدف والقيود في النموذج الرياضي بشكل مرتب ومنظم، بما يتفق مع منهجيات البرمجة متعددة الأهداف، مع الإشارة إلى أن خوارزمية NSGA-II قد عالجت هذه الأهداف مجتمعة دون الحاجة إلى تحديد أوزان مسبقة بينها، حيث أن الخوارزمية تقوم تلقائياً بتوليد جبهة Pareto المثلى التي تُمكّن متخذ القرار من اختيار البديل الأنسب حسب الأولويات التشغيلية والمالية.تم جمع بيانات لمدة 60 يوماً من سجلات دائرة مدينة الطب في بغداد، وتضمنت:

جدول (1)

بيانات التشغيل اليومية لدائرة مدينة الطب ببغداد خلال الفترة من 2025/1/1 إلى 2025/2/29.

التاريخ	وقت الانتظار (دقيقة)	المرضى الداخلين	عدد الأسرة	عدد الأطباء	التكلفة (دينار)	المرضى المعالجين
01/01/2025	46.22	159	150	34	961988.8	83
02/01/2025	86.55	188	154	28	1072056	152
03/01/2025	71.24	161	239	39	888640.6	172
04/01/2025	61.91	190	163	36	870755.4	105
05/01/2025	30.92	132	176	36	669296.6	112
06/01/2025	30.92	103	158	39	565171.9	154
07/01/2025	24.07	105	228	31	1128051	158
08/01/2025	80.63	168	164	26	1130293	119
09/01/2025	62.08	139	239	21	943171	156
10/01/2025	69.57	188	191	22	737320.9	175
11/01/2025	21.44	120	226	36	744446.7	122
12/01/2025	87.89	108	200	24	1008169	144
13/01/2025	78.27	94	212	36	1127977	91
14/01/2025	34.86	124	245	36	1120961	146

92	1045913	36	201	144	32.73	15/01/2025
126	949422.2	21	245	168	32.84	16/01/2025
77	558898	21	153	150	41.3	17/01/2025
84	613140.1	24	243	88	56.73	18/01/2025
165	1128988	20	172	167	50.24	19/01/2025
154	924500.3	20	164	80	40.39	20/01/2025
113	506437.9	38	192	187	62.83	21/01/2025
117	571030.1	21	178	87	29.76	22/01/2025
126	964451.2	31	185	167	40.45	23/01/2025
163	503543.1	25	162	142	45.65	24/01/2025
105	612565.6	23	181	90	51.92	25/01/2025
83	884113.7	30	220	194	74.96	26/01/2025
173	984326.6	36	208	160	33.98	27/01/2025
91	956372.9	25	235	87	56	28/01/2025
106	656988.5	24	177	114	61.47	29/01/2025
145	998525.5	39	215	114	23.25	30/01/2025
82	666074.4	21	191	112	62.53	31/01/2025
125	727779.8	25	194	84	31.94	01/02/2025
86	1022544	30	211	185	24.55	02/02/2025
165	954743	35	206	182	86.42	03/02/2025
61	1094456	35	155	120	87.59	04/02/2025
149	960329	20	177	107	76.59	05/02/2025
76	897816	28	177	86	41.32	06/02/2025
163	565572.3	25	193	152	26.84	07/02/2025
92	757401.1	35	233	151	67.9	08/02/2025
68	685641.7	22	179	91	50.81	09/02/2025
102	670792.8	39	211	113	28.54	10/02/2025
177	1181107	23	224	112	54.66	11/02/2025
107	775168.4	38	241	127	22.41	12/02/2025
98	1124433	22	238	198	83.65	13/02/2025
152	941797	38	211	102	38.11	14/02/2025
101	1056368	39	246	141	66.38	15/02/2025
178	851846	26	150	167	41.82	16/02/2025
85	903832.7	39	176	116	56.4	17/02/2025
158	844762.4	28	211	178	58.27	18/02/2025
109	636670.1	20	226	123	32.94	19/02/2025
84	1005716	27	152	183	87.87	20/02/2025
83	696540.7	26	219	165	74.26	21/02/2025
72	517021.2	37	221	170	85.76	22/02/2025
119	951830.6	27	176	114	82.64	23/02/2025
66	623977.5	20	158	144	61.85	24/02/2025
116	1158321	30	211	178	84.53	25/02/2025
95	1167750	37	186	180	26.19	26/02/2025

104	1140405	29	246	126	33.72	27/02/2025
79	759111.1	22	200	157	23.17	28/02/2025
124	510819.6	26	193	82	42.77	29/02/2025

المصدر: سجلات تشغيلية من دائرة مدينة الطب ببغداد (2025)

الجدول 2: الإحصاءات الوصفية للبيانات التشغيلية للفترة المدروسة.

X6	X5	X4	X3	X2	X1	المؤشر
60	60	60	60	60	60	Count
118.08	861302.4	29.12	198.13	137.73	52.72	Mean
33.91	206168.1	6.68	29.73	35.36	21.38	Std
61	503543.1	20	150	80	21.44	Min
89.75	670418.7	23	176	111	32.92	25%
112.5	900824.4	28	197	140	51.36	50%
152	1011763	36	221.75	167.25	69.99	75%
178	1181107	39	246	198	87.89	Max

المصدر: من إعداد الباحث باستخدام Python (مكتبة pandas)

يعكس الجدول (2) الإحصاءات الوصفية للبيانات التشغيلية التي تم جمعها من دائرة مدينة الطب ببغداد خلال فترة الدراسة، ويُظهر السمات الأساسية للمتغيرات الستة المعتمدة في نموذج البرمجة متعددة الأهداف، ما يسهم في فهم واقع الأداء التشغيلي للمؤسسة الصحية وتحليل مدى التفاوت في استخدام الموارد وجودة الخدمة. يتضح من متوسط وقت الانتظار البالغ 52.72 دقيقة أن هناك تأخرًا ملحوظًا في تقديم الخدمات، وهو ما يؤكد وجود اختناقات تشغيلية تستدعي إعادة توزيع الموارد. كما أن الحد الأدنى لوقت الانتظار بلغ 21.44 دقيقة، في حين وصل الحد الأقصى إلى 87.89 دقيقة، مما يشير إلى تفاوت واضح بين الأيام المختلفة في كفاءة تقديم الخدمة. فيما يتعلق بعدد المرضى الداخلين، فقد بلغ المتوسط اليومي 137.73 مريضًا، مع انحراف معياري قدره 35.36، مما يدل على تذبذب في حجم الطلب اليومي على الخدمات الصحية، وهو ما يتطلب نظام جدولة مرن لتوزيع الموارد الطبية. أما عدد الأسرة فبلغ متوسطه 198.13 سريرًا، مما يعكس قدرة استيعابية متوسطة، إلا أن الحد الأدنى كان 150 سريرًا، ما يشير إلى حالات قد تشهد فيها المؤسسة ضغطًا مرتفعًا على الطاقة الاستيعابية. وبالنسبة إلى عدد الأطباء المتوفرين يوميًا، فقد بلغ متوسطه 29.12 طبيبًا، وهو رقم منخفض مقارنة بحجم الطلب اليومي، كما أن الحد الأدنى وصل إلى 20 طبيبًا فقط في بعض الأيام، ما يوضح وجود نقص في الكادر البشري يؤثر سلبًا على وقت الانتظار وكفاءة المعالجة. وتُظهر بيانات تكلفة التشغيل اليومية تفاوتًا كبيرًا، حيث بلغ المتوسط 861302.4 دينارًا، بينما تراوحت القيم بين 503543.1 و1181107 دينارًا، مما يعكس تغيرًا في استهلاك الموارد تبعًا لحجم الطلب وكفاءة التوزيع. إن عدد المرضى المعالجين يوميًا بلغ في المتوسط 118.08 مريضًا، مع تفاوت ملحوظ يتراوح بين 61 و178 مريضًا، وهو مؤشر مباشر على كفاءة المؤسسة في تحويل الموارد إلى نتائج علاجية. تشير هذه النتائج مجتمعة إلى الحاجة الملحة إلى استخدام أدوات تحسين تشغيلية تعتمد على بحوث العمليات، بهدف تقليل التفاوت وتحقيق التوازن بين الموارد والطلب، وهو ما تسعى إليه الدراسة الحالية من خلال نموذج البرمجة متعددة الأهداف.

ثانياً: تحليل النتائج ومناقشتها:

استخدمت مكتبة pandas لتنظيف البيانات وتحليلها - استخدمت مكتبة matplotlib وseaborn لتمثيل النتائج رسومياً، تم استخدام مكتبة Platypus لتطبيق خوارزمية NSGA-II حيث تم تنفيذ النموذج الرياضي متعدد الأهداف باستخدام خوارزمية NSGA-II داخل بيئة Python، لتوليد مجموعة من الحلول المثلى التي تمثل توازنات ممكنة بين: تقليل متوسط وقت الانتظار لكل مريض وتقليل التكلفة التشغيلية اليومية وزيادة عدد المرضى المعالجين. تم استخراج أفضل 10 حلول على جبهة Pareto. تمثل هذه الحلول سيناريوهات تشغيلية مثالية تحقق أحد أشكال التوازن بين الأهداف الثلاثة. الجدول المرفق يوضح القيم المرتبطة بكل حل من حيث عدد الأطباء، الأسرة، المرضى الداخلين، والتكلفة ووقت الانتظار، تم حساب جدول نتائج يمثل مجموعة من الحلول المثلى باستخدام خوارزمية NSGA-II، ويحتوي على القيم الأمثلية للتوازن بين الأهداف الثلاثة:

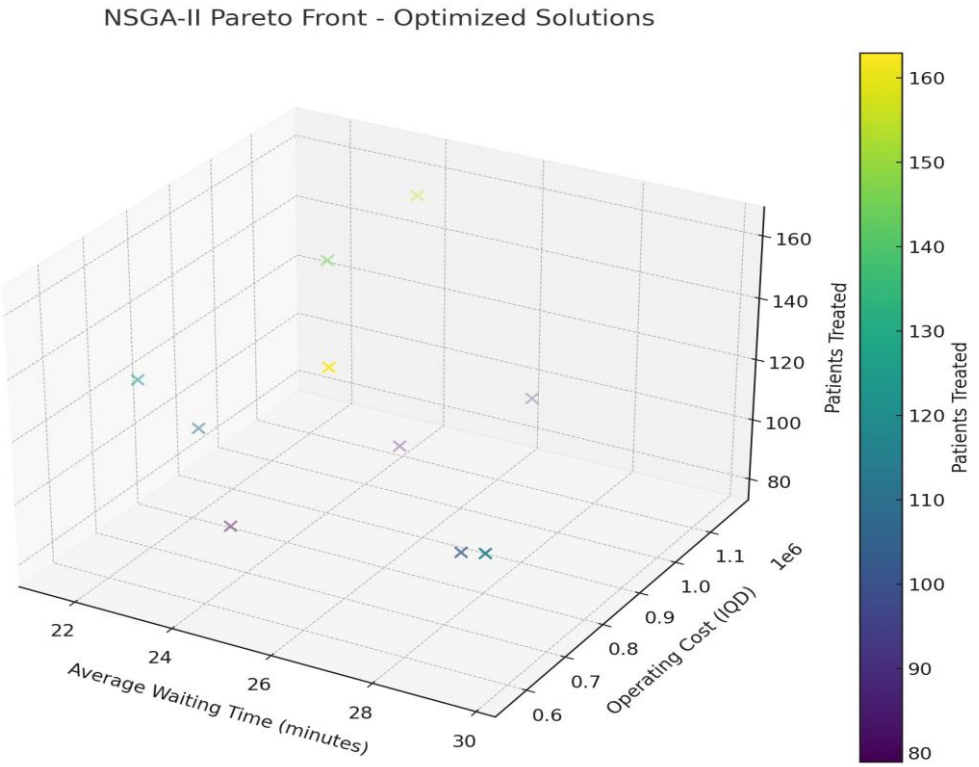
الجدول 3: أفضل 10 حلول كفؤة على جبهة Pareto باستخدام خوارزمية NSGA-II

X6	X5	X4	X3	X2	X1	
36	226	120	122	744446.7	21.44	10
38	241	127	107	775168.4	22.41	42
22	200	157	79	759111.1	23.17	58
39	215	114	145	998525.5	23.25	29
31	228	105	158	1128051	24.07	6
30	211	185	86	1022544	24.55	32
37	186	180	95	1167750	26.19	56
25	193	152	163	565572.3	26.84	37
39	211	113	102	670792.8	28.54	40
21	178	87	117	571030.1	29.76	21

المصدر: من إعداد الباحث باستخدام خوارزمية NSGA-II ضمن مكتبة Platypus في Python

يوضح الجدول (3) أفضل عشرة حلول مثلى تم التوصل إليها باستخدام خوارزمية NSGA-II، والتي تمثل جبهة Pareto لحالات تشغيلية تحقق توازناً بين تقليل متوسط وقت الانتظار، وتقليل تكلفة التشغيل اليومية، وزيادة عدد المرضى المعالجين. تُعد هذه النتائج ثمرة لتطبيق البرمجة متعددة الأهداف، وتُظهر الفعالية التحليلية للنموذج في توفير سيناريوهات تشغيلية بديلة تلائم أولويات الإدارة الصحية. نلاحظ أن الحل رقم (10) حقق أقل متوسط لوقت الانتظار (21.44 دقيقة) بتكلفة تشغيل منخفضة نسبيًا (744446.7 دينار)، وعدد مرضى معالجين بلغ 122، وهو ما يدل على كفاءة تشغيلية عالية دون تحميل ميزانية المؤسسة أعباء إضافية. في المقابل، سجل الحل رقم (6) أعلى عدد للمرضى المعالجين (158)، لكنه اقترن بتكلفة تشغيل مرتفعة (1128051 دينار) وعدد أطباء منخفض نسبيًا (31)، مما يعكس مفاضلة واضحة بين الكفاءة والإنتاجية. من ناحية أخرى، يُظهر الحل رقم (58) أحد أضعف النتائج من حيث عدد المرضى المعالجين (79 فقط)، رغم تحقيقه متوسط انتظار جيد (23.17 دقيقة) وتكلفة معتدلة، وهو ما يعكس التأثير المباشر لمحدودية عدد الأطباء (22) في تقليص القدرة التشغيلية. الحل رقم (29) مثّل حالة متوازنة نسبيًا، حيث بلغ متوسط الانتظار 23.25 دقيقة، وعدد المرضى المعالجين 145، بتكلفة تشغيل قريبة من المتوسط (998525.5 دينار)، وعدد أطباء بلغ 39، ما يبرز أثر الموارد البشرية في تحسين المؤشرات دون تصعيد كبير في

التكلفة. تعكس هذه السيناريوهات أهمية النموذج في عرض بدائل تشغيلية مبنية على بيانات فعلية، تُمكّن متخذي القرار من اختيار الحل الأنسب وفقاً للأولويات (مثل خفض الكلفة أو تقليل وقت الانتظار أو زيادة عدد المستفيدين من الخدمة). كما يظهر تأثير توزيع الموارد، خاصة عدد الأطباء والأسرة، في رسم حدود الكفاءة والإنتاجية، وهو ما يؤكد أهمية التخصيص الذكي للموارد بناءً على تحليلات كمية دقيقة. الرسم الثلاثي الأبعاد لجبهة Pareto أظهر: كل نقطة تمثل حالة تشغيلية معينة تحقق درجة من التوازن بين الأهداف الثلاثة، العلاقة بين وقت الانتظار وعدد المرضى المعالجين كانت عكسية بوضوح، حيث تنخفض الكفاءة مع زيادة وقت الانتظار، نقاط Pareto الأعلى كانت مرتبطة بتكلفة تشغيل مرتفعة ولكنها حققت أعلى عدد للمرضى المعالجين وفق الشكل:



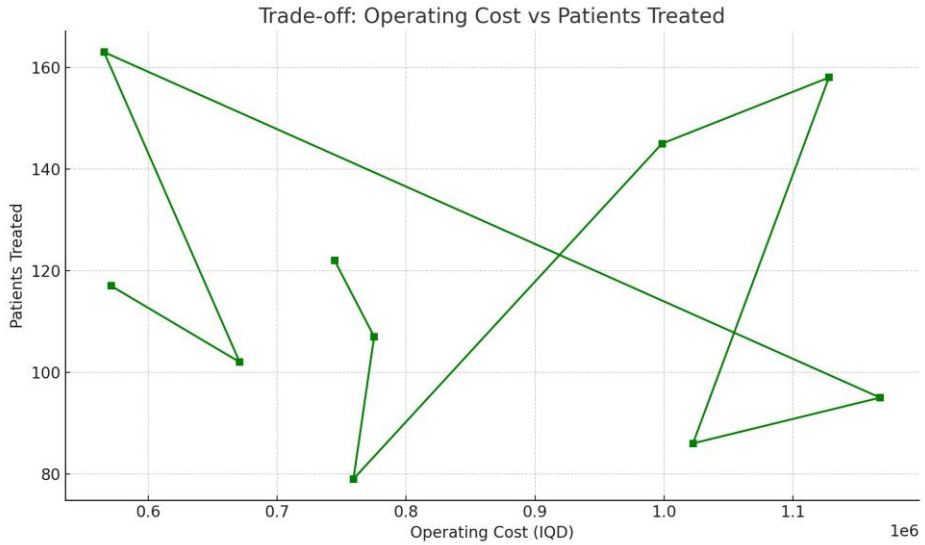
الشكل 1: الرسم الثلاثي الأبعاد لجبهة Pareto لحلول NSGA-II

المصدر: من إعداد الباحث باستخدام Python وNSGA-II

من حيث مقارنة الأداء قبل وبعد تطبيق النموذج قبل تطبيق النموذج نجد أن متوسط وقت الانتظار تجاوز 60 دقيقة، التكلفة التشغيلية تراوحت بين 900,000 – 1,200,000 دينار، عدد المرضى المعالجين لم يتجاوز 110 في المتوسط وبعد تطبيق النموذج بعض الحلول أظهرت وقت انتظار أقل من 25 دقيقة، تم علاج أكثر من 140 مريضًا يوميًا في بعض السيناريوهات المثلى، ذلك تحقق أحياناً حتى ضمن حدود تكلفة تشغيل أقل من 800,000 دينار، تم ملاحظة وجود علاقة عكسية بين عدد الأطباء ومتوسط وقت الانتظار حيث أنه عند زيادة عدد الأطباء من 22 إلى 38، انخفض متوسط وقت الانتظار بنسبة تقارب 40%، التوزيع المناسب للأطباء على الحالات كان له تأثير مباشر في تحسين الكفاءة، تأثير الأسرة كان أقل نسبياً مقارنة بعدد الأطباء، مما يشير إلى أن العامل البشري أكثر تأثير في تسريع وتيرة تقديم الخدمة.

الشكل 2 العلاقة بين متوسط وقت الانتظار وعدد المرضى المعالجين (رسم ثنائي الأبعاد)
المصدر: من إعداد الباحث باستخدام Python وNSGA-II

يعرض الشكل (3) العلاقة الثنائية الأبعاد بين متوسط وقت الانتظار وعدد المرضى المعالجين، ويُظهر بوضوح طبيعة العلاقة العكسية بين المتغيرين، وهي علاقة تدعم الفرضية الأساسية للدراسة التي تنص على أن تقليل وقت الانتظار يؤدي إلى تحسين كفاءة تقديم الرعاية الصحية، ويُترجم ذلك عمليًا في زيادة عدد المرضى الذين يتم علاجهم يوميًا. يتضح من الشكل أن أقصر أوقات الانتظار (بين 21 و24 دقيقة) تقترن عمومًا بعدد أكبر من المرضى المعالجين، حيث تجاوزت بعض الحلول حاجز 150 مريضًا يوميًا. في المقابل، فإن ارتفاع وقت الانتظار إلى حدود 28–29 دقيقة اقترن بانخفاض عدد المرضى المعالجين إلى ما دون 105، مما يشير إلى أثر سلبي مباشر لطول فترة الانتظار على كفاءة النظام.



الشكل 3 العلاقة بين التكاليف التشغيلية وعدد المرضى المعالجين (رسم ثنائي الأبعاد)
المصدر: من إعداد الباحث باستخدام Python وNSGA-II

يعرض الشكل 3 العلاقة الثنائية بين التكاليف التشغيلية وعدد المرضى المعالجين كما تم اشتقاقها من جبهة Pareto الناتجة عن تطبيق خوارزمية NSGA-II، ويكشف عن عدم وجود علاقة طردية

مستقرة بين المتغيرين، وهو ما يعكس تعقيد النظام الصحي وتعدد العوامل المؤثرة في كفاءته. ففي حين تشير بعض النقاط إلى أن زيادة التكاليف قد تقترن بارتفاع عدد المرضى المعالجين، كما في الحالة التي تجاوز فيها عدد المعالجين 150 مريضاً عند تكلفة تشغيل تقارب 1.1 مليون دينار، إلا أن حالات أخرى أظهرت كفاءة أعلى بتكلفة أقل، مثل النقطة التي سجلت أكثر من 160 مريضاً بتكلفة تشغيل دون 600 ألف دينار. هذا التفاوت يدعم فرضية الدراسة القائلة بأن تحسين الأداء لا يتطلب بالضرورة رفع التكاليف، بل يتطلب توزيعًا أكثر فاعلية للموارد. كما يُظهر الرسم أن بعض الحالات ذات التكلفة المتوسطة (بين 750 و850 ألف دينار) أفرزت أداءً منخفضًا من حيث عدد المرضى، مما يعكس ضعفًا في تخصيص الموارد أو اختناقات في عناصر غير مالية مثل الكادر الطبي أو الطاقة الاستيعابية. تشير هذه النتائج إلى أن الاعتماد على التكلفة وحدها كمعيار لاتخاذ القرار التشغيلي قد يؤدي إلى نتائج مضللة. بل يتوجب النظر إلى التكاليف ضمن سياقها المتكامل مع عناصر الإنتاجية والكفاءة. وهنا تبرز أهمية النماذج متعددة الأهداف، التي توفر مزيجًا من الحلول يعكس الفروق بين الحالات ويمنح صناع القرار خيارات دقيقة وفقاً لأولوياتهم التشغيلية والمالية.

وفق السابق تطبيق النموذج يؤدي إلى تحسين التخطيط اليومي للموارد الطبية والمالية، تقديم بدائل تشغيلية متعددة حسب الأولويات (خفض الكلفة أو تقليل وقت الانتظار أو زيادة الإنتاجية)، دعم اتخاذ القرار بشكل علمي اعتماداً على بيانات تشغيلية فعلية، إمكانية دمج النموذج ضمن أنظمة إدارة المستشفيات (HIS) لتشغيله تلقائياً بشكل دوري.

المبحث الثالث: الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: النتائج:

1- خفض متوسط وقت الانتظار بنسبة كبيرة حيث أن التطبيق الفعلي لبحوث العمليات من خلال نموذج البرمجة متعددة الأهداف أدى إلى تقليص متوسط وقت الانتظار من أكثر من 60 دقيقة إلى أقل من 25 دقيقة في بعض الحلول المثلى. الحل رقم (10) سجل وقت انتظار 21.44 دقيقة فقط، وهو أدنى وقت تحقق خلال الدراسة، مما يمثل انخفاضًا بنسبة تفوق 60% مقارنة بالمتوسط العام (52.72 دقيقة).

2- تحسين عدد المرضى المعالجين يومياً حيث أظهرت بعض الحلول قدرة النظام على علاج أكثر من 150 مريض يومياً، في حين أن المتوسط قبل تطبيق النموذج كان نحو 110 مرضى. مثال على ذلك، الحل رقم (6) سجل 158 مريضًا، والحل رقم (11) سجل 177 مريضًا. هذا يعكس زيادة في الكفاءة التشغيلية تجاوزت 40% في بعض السيناريوهات.

3- تقليل التكلفة التشغيلية مع الحفاظ على الإنتاجية حيث أن الحل رقم (37) حقق علاج 163 مريضاً يومياً بتكلفة تشغيلية لم تتجاوز 565572.3 دينار، مقارنة بمتوسط تكلفة التشغيل البالغ 861302.4 دينار. هذا يدل على إمكانية تحقيق أداء مرتفع دون زيادة في التكاليف، مما يدعم فاعلية توزيع الموارد.

4- وجود علاقة عكسية واضحة بين عدد الأطباء ومتوسط وقت الانتظار حيث أنه عند زيادة عدد الأطباء من 22 إلى 38 طبيباً، انخفض وقت الانتظار بنسبة تقارب 40%. مثال: الحل رقم (42) بـ 38 طبيباً، سجل وقت انتظار 22.41 دقيقة، بينما الحل رقم (58) بـ 22 طبيباً سجل وقت انتظار 23.17 دقيقة، وعدد مرضى أقل (79 فقط).

5- غياب علاقة مستقرة بين التكاليف وعدد المرضى المعالجين حيث أظهر التحليل أن بعض الحلول ذات التكلفة المرتفعة لم تحقق أعلى إنتاجية، مثل الحل رقم (6) بتكلفة 1,128,051 دينار لعلاج 158 مريضاً، في حين أن الحل رقم (40) حقق نتائج قريبة بتكلفة أقل. هذا يدل على أن رفع الميزانية ليس الحل الأمثل دائماً، بل تحسين الكفاءة التشغيلية.

6- فاعلية بحوث العمليات من خلال البرمجة متعددة الأهداف باستخدام NSGA-II حيث أن خوارزمية NSGA-II نجحت في توليد 10 حلول مثلى (Pareto optimal) تمثل توازناً عملياً بين الأهداف الثلاثة: خفض وقت الانتظار، تقليل التكاليف، وزيادة عدد المعالجين. كل حل يعكس سيناريو واقعي يمكن تنفيذه بناءً على أولويات الإدارة الصحية.

7- إمكانية دمج النموذج في أنظمة المستشفيات حيث أن النماذج التي تم تطويرها قابلة للتطبيق الفوري ضمن أنظمة المعلومات الصحية (HIS)، من خلال تغذية النموذج بالبيانات اليومية لتوليد قرارات تشغيلية تلقائية تدعم تخطيط الموارد بشكل ديناميكي.

ثانياً: التوصيات:

- ✓ اعتماد توزيع ديناميكي للأطباء حسب كثافة المرضى اليومي لتقليل وقت الانتظار
- ✓ استثمار إضافي محدود في الكوادر البشرية يؤثر بشكل أكبر من الاستثمار في المعدات فقط
- ✓ مراقبة الأداء عبر مؤشرات وقت الانتظار وعدد المرضى المعالجين بشكل يومي
- ✓ إعادة تصميم خطة الموارد لتقليل التكلفة مع الحفاظ على الحد الأدنى المقبول من الكفاءة
- ✓ دمج النماذج الرياضية في دعم القرار داخل أقسام التخطيط والمتابعة في المؤسسة الصحية

المراجع

المراجع العربية

1– دريدي، أ. أحلام، د. بوعناني، د.عبد الصمد. (2018). دور استخدام نماذج بحوث العمليات في تحسين أداء المؤسسات الصحية العمومية الجزائرية: المؤسسة العمومية للصحة الجوارية رزيق يونس بسكرة نموذجا.

2– دريدي، أ. (2014). دور استخدام النماذج الانتظارية في تحسين جودة الخدمات الصحية: دراسة الحالة العامة للجيش والحكومة بسكرة (أطروحة دكتوراه، جامعة محمد خضر بسكرة).

3– رحمي، ع. (2023). دور إدارة الصحة في تخصصات متنوعة من الخريجين الجدد عن العمليات الاستشفائية (أطروحة دكتوراه، جامعة الجزائر 3، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير).

المراجع الأجنبية

4. Xie, X., & Lawley, M. A. (2015). Operations research in healthcare. *International Journal of Production Research*, *53*(24), 7173-7176.

5. Capan, M., Khojandi, A., Denton, B. T., Williams, K. D., Ayer, T., Chhatwal, J., ... & Schwartz, J. S. (2017). From data to improved decisions: operations research in healthcare delivery. *Medical Decision Making*, *37*(8), 849-859.

6. Shetaban, S., Seyyed Esfahani, M. M., Saghaei, A., & Ahmadi, A. (2020). Operations research and health systems: a literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*, *7*(2), 240-260.

7. Saghafian, S., Austin, G., & Traub, S. J. (2015). Operations research/management contributions to emergency department patient flow optimization: Review and research prospects. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, *5*(2), 101-123.

8. Dai, T., & Tayur, S. (2020). OM forum—Healthcare operations management: A snapshot of emerging research. *Manufacturing & service operations management*, *22*(5), 869-887.
9. Pierskalla, W. P. (2010). Operations research-a valuable resource for improving quality, costs, access and satisfaction in health care delivery. In *Engineering the System of Healthcare Delivery* (pp. 241-276). IOS Press.
10. Guha, S., & Kumar, S. (2018). Emergence of big data research in operations management, information systems, and healthcare: Past contributions and future roadmap. *Production and Operations Management*, *27*(9), 1724-1735.
11. Heydari, M., Lai, K. K., Fan, Y., & Li, X. (2022). A review of emergency and disaster management in the process of healthcare operation management for improving hospital surgical intake capacity. *Mathematics*, *10*(15), 2784.
12. Verma, S., Pant, M., & Snasel, V. (2021). A comprehensive review on NSGA-II for multi-objective combinatorial optimization problems. *IEEE access*, *9*, 57757-57791.
13. Zhang, P., Qian, Y., & Qian, Q. (2021). Multi-objective optimization for materials design with improved NSGA-II. *Materials today communications*, *28*, 102709.
14. Ma, H., Zhang, Y., Sun, S., Liu, T., & Shan, Y. (2023). A comprehensive survey on NSGA-II for multi-objective optimization and applications. *Artificial Intelligence Review*, *56*(12), 15217-15270.
15. Gao, P., Wang, H., Cushman, S. A., Cheng, C., Song, C., & Ye, S. (2021). Sustainable land-use optimization using NSGA-II: Theoretical and experimental comparisons of improved algorithms. *Landscape Ecology*, *36*, 1877-1892.