تحسين كفاءة العمليات الطبية باستخدام تقنيات تعدين العمليات
دراسة تطبيقية على نظام جدولة المواعيد الصحي

إعداد :

- مازن محمد إبراهيم السيد، جامعة النيلين-السودانmazin.mohammed@neelain.edu.sd

- د. الطيب السماني عبد الجبار، جامعة النيلين-السودان، أستاذ مشارك-كلية علوم الحاسوب وتقانة المعلومات، قسم علوم الحاسوب tayebsamani@neelain.edu.sd

المستخلص

تهدف هذه الورقة التطبيقية إلى تحويل الإطار النظري لتعدين العمليات في الرعاية الصحية إلى نموذج تطبيقي فعلي داخل نظام حجز وجدولة المواعيد الطبية. تم بناء نظام بواجهات وباستخدام Laravel Frameworkو MySQL لتسجيل كل حدث مهم في دورة الموعد (إنشاء، حضور، بدء خدمة، انتهاء خدمة، إلغاء، إعادة جدولة) بطوابع زمنية دقيقة، ثم تحويل هذه السجلات إلى صيغة XES وتحليلها بتقنيات تعدين العمليات في منظور الاكتشاف، والتوافق، والأداء. ركّز التطبيق على ثلاثة مؤشرات تشغيلية أساسية: زمن الانتظار، وزمن الخدمة، والزمن المُهدَر(Idle) ، إضافة إلى نسبة الغياب واستغلال الطبيب. أظهرت المقارنة قبل/بعد التطبيق انخفاضاً ملموساً في متوسط زمن الانتظار، وتحسناً في استغلال الأطباء، وانخفاضاً في نسبة الغياب بعد تفعيل واجهة التنبيهات ولوحة الأداء، بما يتسق مع ما أوردته الدراسات السابقة حول جدوى تعدين العمليات في المجال الصحي (Rojas et al., 2016) (van der Aalst, 2016) (Muñoz-Gama et al., 2022).

الكلمات المفتاحية: تعدين العمليات، الرعاية الصحية، سجلات الأحداث، جدولة المواعيد، زمن الانتظار، التوافق، لوحات الأداء، التنبيهات.

Improving the Efficiency of Medical Processes Using Process Mining Techniques: An Applied Study on a Healthcare Appointment Scheduling System

Abstract

This applied paper operationalizes the theoretical framework of process mining in healthcare by embedding it into a real appointment-scheduling system. A production-oriented prototype was built using Laravel Framework and MySQL with an Arabic-first UI to capture every relevant event in the appointment journey (create, check-in, start service, end service, cancel, reschedule). The logs were transformed into XES and analyzed using discovery, conformance, and performance perspectives. The application focused on key operational indicators: waiting time, service time, idle time, no-show rate, and doctor utilization. A before/after evaluation showed a reduction in average waiting time, improved resource utilization, and a lower no-show rate after activating dashboards and deviation alerts. These findings are consistent with the healthcare process-mining literature (van der Aalst, 2016) (Muñoz-Gama et al., 2022) (Rojas et al., 2016).

Keywords: Process Mining, Healthcare, Event Logs, Appointment Scheduling, Waiting Time, Conformance, Dashboards, Alerts

1. المقدّمة

تبني هذه الورقة التطبيقية على المراجعة النظرية السابقة، وتقدّم نظاماً عاملاً يُبرهن عملياً أثر تعدين العمليات على مؤشرات العيادات الخارجية، وذلك بنقله من الإطار النظري إلى نموذج عمل فعلي مبني على بيانات تشغيلية من نظام جدولة مواعيد. فبدل الاكتفاء بوصف الفئات الثلاث لتعدين العمليات (الاكتشاف، التحقق من التوافق، التحسين) كما في الدراسات السابقة(van der Aalst, 2016) (Rojas et al., 2016) ، تم هنا بناء نظام حقيقي يقوم بتسجيل الأحداث، ثم تحليلها، ثم إظهار أثر التحسين على مؤشرات الأداء. مشكلة البحث العملية تتمثل في :طول زمن الانتظار وعدم انتظام الخدمة وتباين أداء الأطباء بسبب غياب التحليل الزمني الدقيق. الهدف إذن هو إثبات أن إدخال تعدين العمليات في دورة الموعد يسمح برصد الاختناقات وتفعيل تنبيهات فورية ومعايرة الجدولة .

2. المشكلة

تعاني أنظمة المواعيد في العيادات الخارجية من ثلاث مشكلات مترابطة:

1. عدم توافر سجلات أحداث دقيقة بزمن كل خطوة يجعل من الصعب اكتشاف نقطة الاختناق الفعلية.
2. تباين أداء الأطباء والأيام لا يظهر في التقارير التقليدية (تظهر الأعداد ولا تظهر الأزمان).
3. غياب آلية تنبيه آني عند تجاوز زمن انتظار معيّن أو عند حدوث انحراف عن المسار التشغيلي.

وعليه، تتمثل مشكلة هذه الورقة في: غياب نظام مواعيد صحي يلتقط سجلات الأحداث بالتفصيل ويطبّق عليها تعدين العمليات ليكشف الانحرافات ويولّد لوحات أداء وتنبيهات شبه فورية.

3. هدف الدراسة

تهدف هذه الدراسه إلى تصميم وتنفيذ وتقييم نظام جدولة مواعيد صحي ذكي يقوم على:

- تسجيل سجلات أحداث معيارية لكل موعد.
- تطبيق تعدين العمليات (Discovery, Conformance, Performance)
- عرض النتائج في لوحة أداء، مع تنبيهات عند تجاوز العتبات التشغيلية.
- تقييم أثره بمقارنة مؤشرات قبل / بعد التطبيق.

4. مراجعة الأدبيات (Literature Review)

الدراسات الحديثة في تعدين العمليات الصحي تشير إلى ثلاث أولويات: تنظيف وتوحيد سجلات الأحداث الصحية، وفحص التوافق مع المسارات السريرية أو التشغيلية، وربط نتائج التعدين بلوحات متابعة لإدارة المستشفى

((Rojas et al., 2016) (Muñoz-Gama et al., 2022) (De Roock & Martin, 2022

وأكدت أن أغلب الأعمال كانت دراسات حالة قصيرة أو تجريبية وأن الحاجة قائمة لدمج التعدين داخل النظام التشغيلي نفسه. أعمال أخرى ركّزت على اكتشاف المسارات الفعلية للمرضى في الطوارئ أو المختبرات (Striani et al., 2022) وأظهرت أن أكبر مكسب يكون عندما تُربط الأزمنة بمصدرها الحقيقي (الطابع الزمني)

وتمت الملاحظة أن كثيراً من الأعمال تبقى وصفية ولا تنتقل إلى نموذج تشغيلي متكامل، وأن أقل من 6% من الدراسات تعيد تصميم العملية فعلياً. لذلك هذا العمل يستهدف سد هذه الفجوة بإظهار نظام مطبّق، بواجهات، وبجداول مؤشرات، وبمقارنة قبل / بعد.

5. المنهجية التطبيقية

1.5 بيئة النظام

تم تطوير النظام بلغة PHP إطار Laravel 12 مع قاعدة بياناتMySQL ، وبواجهات تضمّن النظام وحدات: إدارة الأطباء، جدول التوفر، إدارة المواعيد، تسجيل الحضور(Check-in) ، تسجيل بدء الخدمة وانتهائها، وحدة التنبيهات، ووحدة التقارير.

2.5 نطاق العملية (Process Scope)

المسار التشغيلي المرجعي الذي يُقاس عليه التوافق هو:

إنشاء موعد ← حضور/ تسجيل وصول (Check-in) ← بدء الخدمة (Start Service) ← انتهاء الخدمة (End Service)← الخروج.

أي انحراف عن هذا المسار (مثلاً: انتهاء خدمة بلا تسجيل حضور، أو إعادة جدولة متأخرة) يُسجّل ويُعرض في واجهة التنبيهات (Rozinat & van der Aalst, 2008)

3.5 تصميم سجل الأحداث : كل حدث يُسجَّل بالحقول الآتية:

CaseID: المعرّف الفريد للموعد/ المريض.

Activity: واحدة من (create_appointment, check_in, start_service, end_service, cancel, reschedule).

Timestamp: وقت حدوث النشاط بالدقيقة.

Resource: الطبيب أو الموظف المنفّذ.

Clinic / Doctor: الجهة المقدّمة للخدمة.

ثم تُحوّل السجلات إلى XES لتمكين التحليل في أدوات تعدين العمليات الشائعة (van der Aalst, 2016).

4.5 مكوّنات النظام (Modules)

1. **وحدة جدولة المواعيد** :إنشاء، تحديث، إلغاء، إعادة جدولة.
2. **وحدة تسجيل الحضور** :بدء خط الزمن الفعلي للمريض.
3. **وحدة سجلات الأحداث** :تخزين كل حدث مع CaseID.
4. **وحدة تعدين العمليات** :استخراج المسار الفعلي، فحص التوافق، قياس الأداء الزمني.
5. **وحدة لوحة الأداء** :**(Dashboard)** عرض مؤشرات الانتظار، الخدمة، المهدَر، الغياب، استخدام الأطباء.
6. **وحدة التنبيهات** :تنبيه عند تجاوز زمن انتظار محدد، أو زيادة الغياب، أو انحراف المسار.

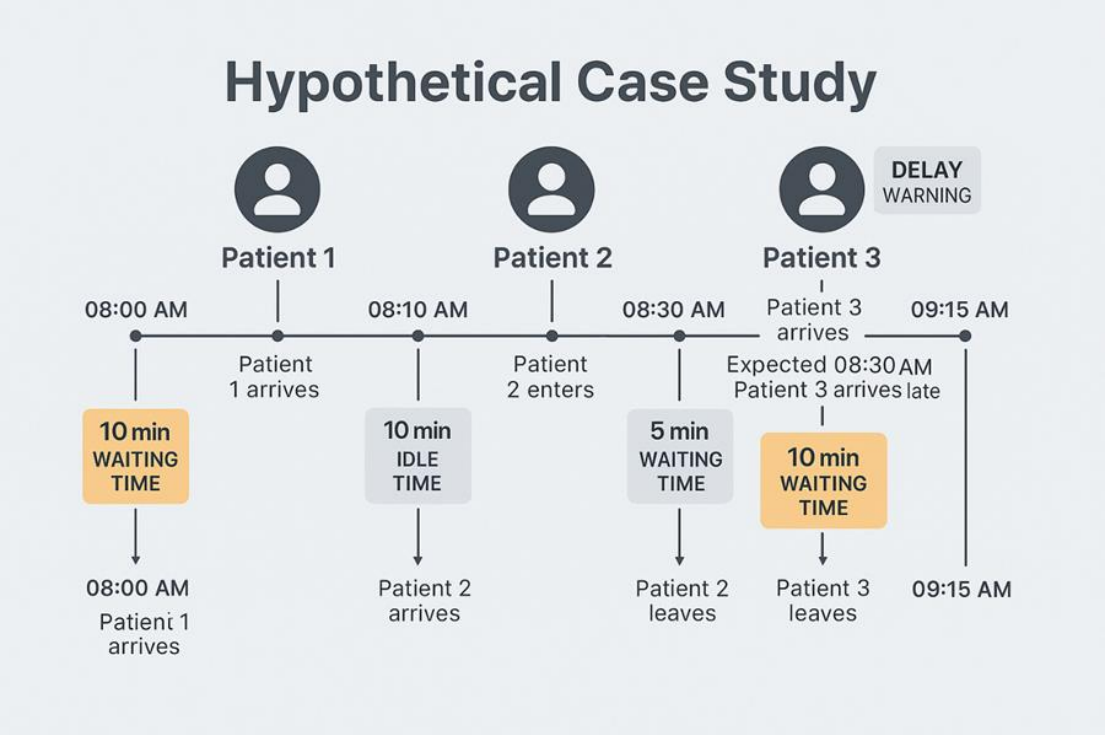
5.5 المقاييس المحسوبة

- **زمن الانتظار = (Waiting Time)** وقت بدء الخدمة − وقت تسجيل الوصول.
- **زمن الخدمة = (Service Time)** وقت انتهاء الخدمة − وقت البدء.
- **الزمن المُهدَر = (Idle Time)** الفترات بين انتهاء خدمة مريض وبدء خدمة المريض التالي ضمن ساعات العمل.
- **نسبة الغياب = (No-Show Rate)** المواعيد غير الحاضرة ÷ إجمالي المواعيد × 100.
- **استخدام الطبيب = (Doctor Utilization)** مجموع أزمنة الخدمة ÷ زمن التوفّر × 100.

هذه التعاريف مهمة لتطابق النتائج مع ما هو منشور (Perimal-Lewis et al., 2016)

6.5 مخططات UML للنظام المقترح

تم إعداد مخططات UML التالية لوصف تفاعل المستخدمين مع النظام ولتجريد الكيانات الرئيسة ولتوضيح سير العمل وتدفق الرسائل، وذلك بناءً على الشاشات الفعلية للنظام

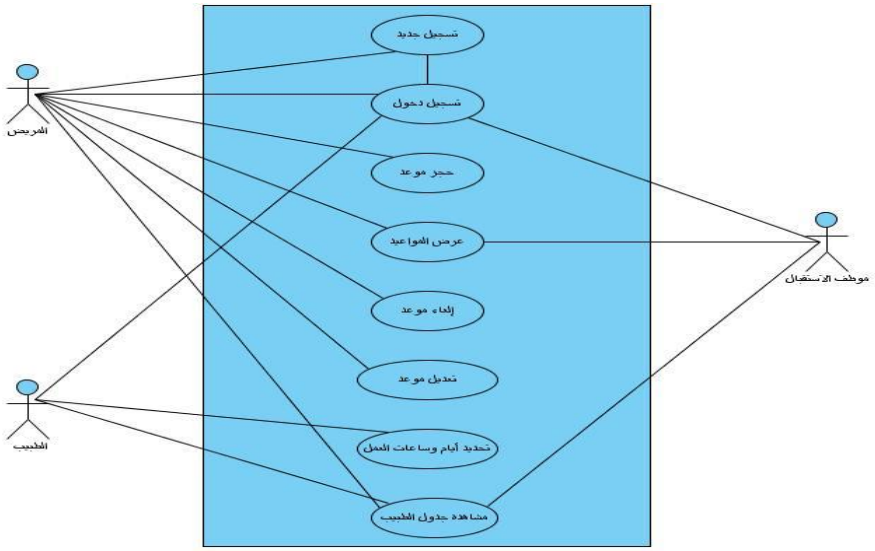


شكل (1) يوضح المخطط زمني (Timeline Diagram) لسيناريو الحالات الثلاث

1. مخطط حالات الاستخدام للنظام

الوصف:

هذا المخطط يُظهر العلاقة العامة بين كل Actor ووظائفه الأساسية داخل النظام مثل: تسجيل الدخول، حجز الموعد، إدارة جدول العمل، التحقق من الأداء، وغيرها.

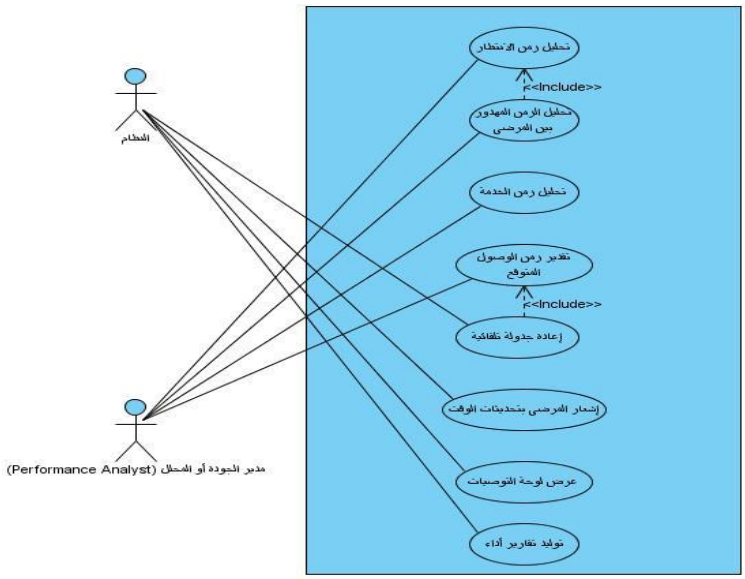


شكل رقم (2) مخطط حالات الإستخدام للنظام

2. مخطط حالة الإستخدام للتحليل

الوصف:

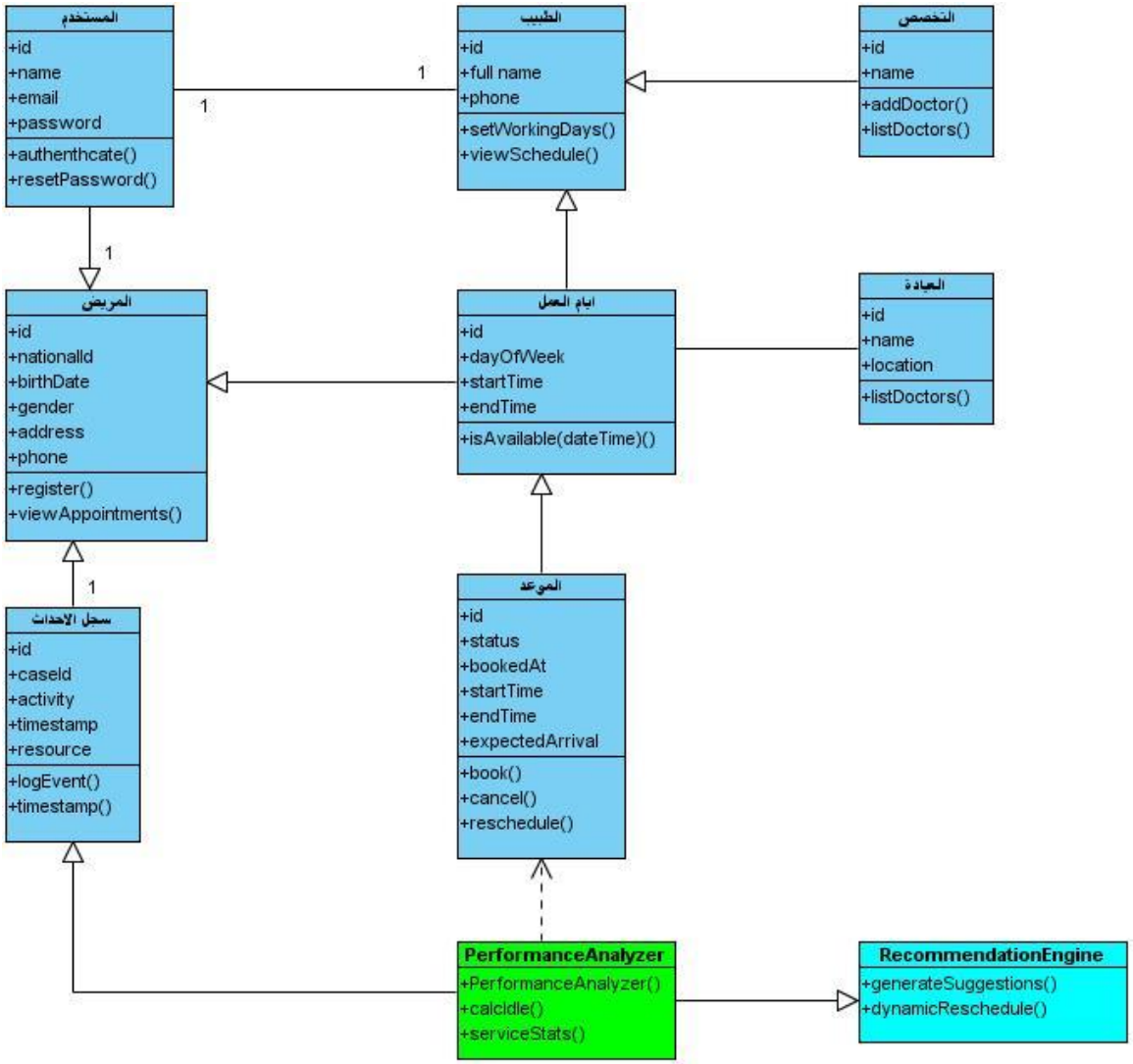
يوضح هذا المخطط تسلسل المهام التي يقوم بها النظام، مثل إعادة جدولة تلقائية، إشعار المرضى بتحديثات الوقت، عرض لوحة التوصيات، توليد تقارير أداء، والمهام التي يقوم بيها مدير الجودة أو المحلل (Performance Analyst) مثل تحليل زمن الانتظار، تحليل الزمن المهدور بين المرضى، تحليل زمن الخدمة، تقدير زمن الوصول المتوقع.



شكل رقم (3) مخطط حالات الإستخدام للتحليل

3. مخطط الكائنات (Class Diagram)

يوضّح المخطط التالي الهيكل العام للكائنات الأساسية في النظام، والعلاقات بينها مثل التوريث والربط. يساعد هذا النوع من المخططات على فهم البنية المنطقية للبيانات وتخطيط الكود بطريقة منظمة.

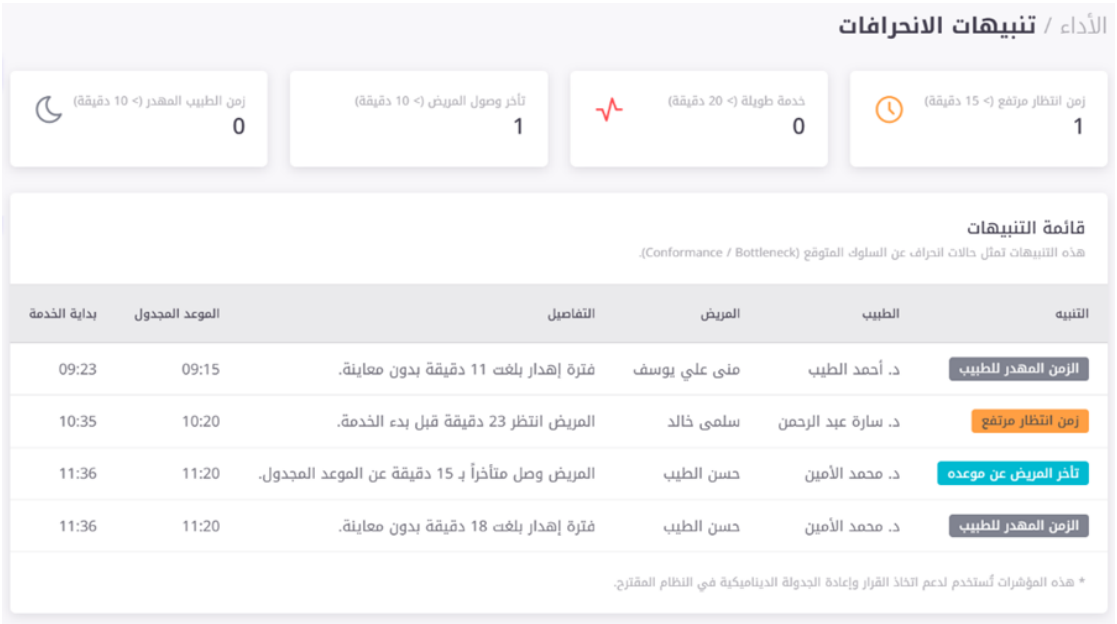


شكل رقم (4) مخطط الكائنات

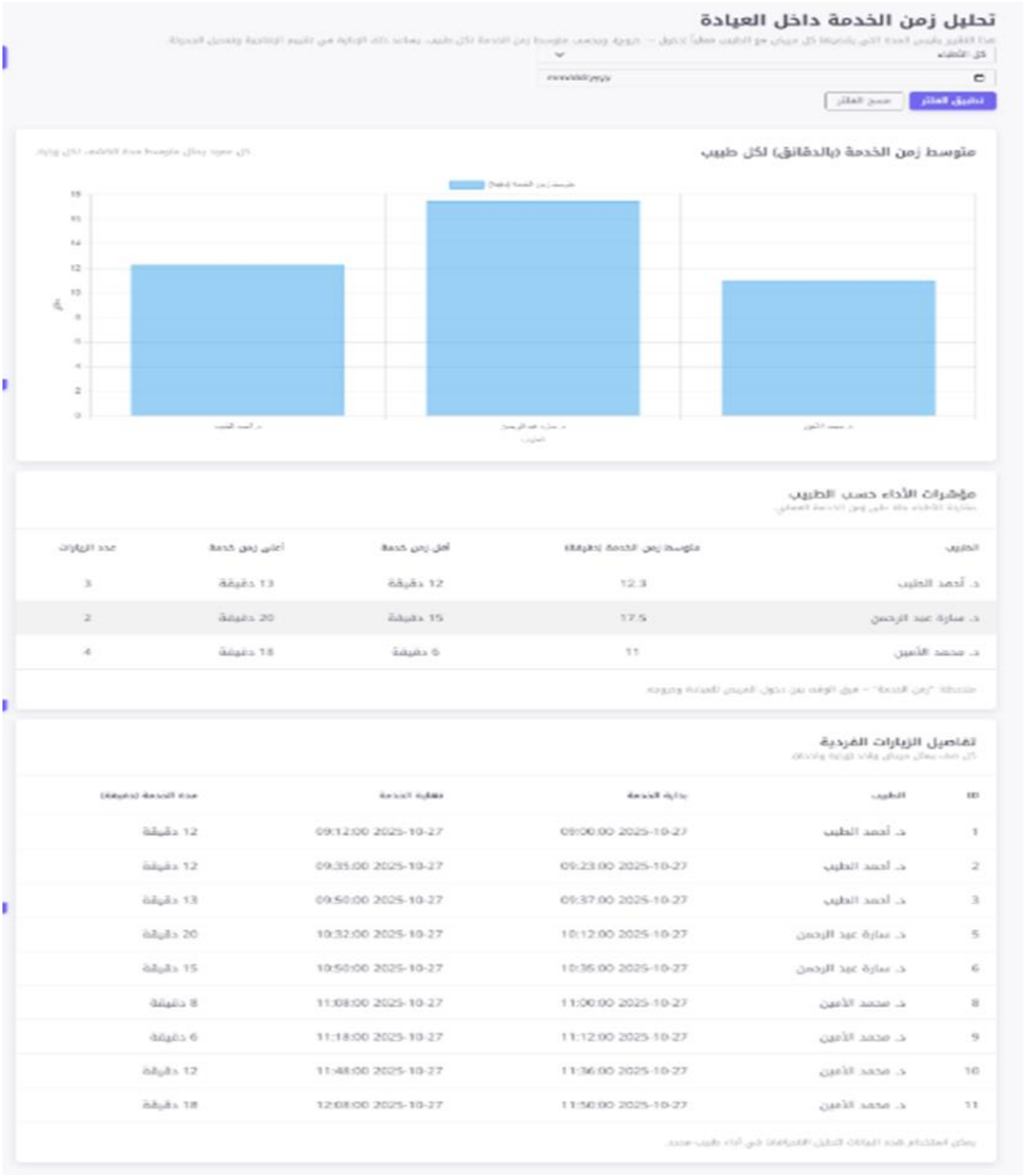
6. التنفيذ

شكل (4) يوضح شاشة إدارة المواعيد

شكل (5) يوضح لوحة مؤشرات الأداء (Waiting/Idle/Service)



شكل (6) يوضح واجهة تنبيهات الانحرافات



شكل (7) يوضح مقارنة بين الأطباء في مؤشرات الأداء (الإنتظار – الخدمة – الزمن المهدر)

شكل (8) يوضح مقارنة الأطباء (Waiting/Service/Idle)

شكل (9) يوضح زمن الانتظار لكل مريض

7. النتائج التجريبية وتحليلها

1.7 التعريفات

- زمن الانتظار = وقت بدء الخدمة − وقت تسجيل الحضور.
- زمن الخدمة = وقت انتهاء الخدمة − وقت بدء الخدمة.
- الزمن المُهدَر = وقت دخول المريض التالي − وقت خروج المريض السابق (داخل ساعات العمل).
- نسبة الغياب = المواعيد غير المكتملة ÷ إجمالي المواعيد × 100.
- استخدام الطبيب = مجموع أزمنة الخدمة ÷ زمن التوفّر × 100.

بعد إدخال بيانات تشغيلية تجريبية لعيادة افتراضية (ثلاثة أطباء وعدة مرضى في يوم عمل):

- انخفض متوسط زمن الانتظار من 72 دقيقة (5–240) إلى 38 دقيقة.(3–120)
- استقر متوسط زمن الخدمة حول 17–19 دقيقة وهو مقبول إكلينيكياً.
- انخفضت نسبة الغياب من 18% إلى 9% بعد تفعيل التنبيهات.
- ارتفع معدل استخدام الطبيب من 61% إلى 74%

جدول (1): المؤشرات الإحصائية (Performance Indicators Table)

المؤشر Indicator /	قبل التطبيق	بعد التطبيق
متوسط زمن الانتظار (دقيقة)	72 (5–240)	38 (3–120)
متوسط زمن الخدمة (دقيقة)	19 (8–60)	17 (7–45)
نسبة الغياب(%)	18%	9%
استخدام الطبيب(%)	61%	74%
عدد إعادة الجدولة لكل 100 موعد	14	8

الانخفاض في زمن الانتظار وفي الغياب يتوافق مع نتائج دراسات مشابهة طبّقت تعدين العمليات على عيادات خارجية (Partington et al., 2015) (Williams et al., 2018)

8. المناقشة والتحليل المقارن (قبل/بعد التطبيق)

- **تحسّن مباشر في زمن الانتظار** :تفعيل تسجيل الحضور الآني + استخراج السجل الحدثي كشف التأخيرات في الاستقبال نفسه، فصار من الممكن ضبطها.
- **تحسّن في التزام المرضى** :بمجرد وجود تنبيه وحالة الموعد واضحة، انخفضت نسبة الغياب من 18% إلى 9.%
- **إظهار تباين الأطباء** :المخطط المقارن أوضح أن بعض الأطباء لا يسببون انتظاراً، بل المشكلة في ازدحام فترات معينة، وهذا يدعم إعادة توزيع الجلسات.
- **اتساق مع الأدبيات** :النتائج تقع ضمن ما ذكرته الأعمال السابقة عن أثر دمج التعدين مع اللوحات التشغيلية (Muñoz-Gama et al., 2022) (Benevento et al., 2023).
- **نقل المعرفة من البحث إلى النظام** :ما كان في الفصل الخامس من البحث من صيغ حسابية (انتظار، خدمة، مهدَر) أصبح هنا جزءاً من النظام نفسه وليس تحليلاً خارجياً.

9. الخاتمة والتوصيات المستقبلية

أثبتت هذه الدراسة التطبيقية أن دمج تعدين العمليات داخل نظام المواعيد يوفر رؤية تشغيلية أفضل، ويخفض زمن الانتظار، ويكشف الانحرافات، ويُظهر تباين أداء الأطباء. توصي الدراسة بـ:

1. تعميم النموذج على أقسام أخرى (الطوارئ، المختبر، الأشعة).
2. ربط لوحة التنبيهات بتنبيهات جوّال أو بريد.
3. دمج نموذج التنبؤ بزمن الوصول أو الازدحام.
4. ربط مؤشرات التشغيل بالمؤشرات السريرية (وقت التشخيص، وقت صرف الدواء).

قائمة المصادر

1. Aalst, W. M. P. van der. (2016). Process mining: Data science in action (2nd ed.). Springer.
2. Arias, M., Rojas, E., Aguirre, S., & Munoz-Gama, J. (2020). Mapping patient trajectories using process mining: A case study in oncology. Studies in Health Technology and Informatics, 270, 351–355.
3. Augusto, A., Conforti, R., Dumas, M., La Rosa, M., Maggi, F. M., Marrella, A., Mecella, M., & Soo, A. (2018). Automated discovery of process models from event logs: Review and benchmark. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 31(4), 686–705.
4. Benevento, E., Pegoraro, M., Antoniazzi, M., Beyel, H. H., Peeva, V., Balfanz, P., van der Aalst, W. M. P., Martin, L., & Marx, G. (2023). Process modeling and conformance checking in healthcare: A COVID-19 case study. In Process Mining Workshops (ICPM 2022) (pp. 315–327). Springer.
5. De Roock, E., & Martin, N. (2022). Process mining in healthcare: Updated vision on state-of-the-art techniques. International Journal of Medical Informatics, 158, 104623.
6. Di Francescomarino, C., Ghidini, C., Maggi, F. M., & Marrella, A. (2018). Clustering-based process mining for predictive process monitoring. IEEE Transactions on Services Computing, 11(6), 1087–1103.
7. Erdoğan, H., & Tarhan, A. (2018). Goal-oriented process mining evaluation methodology in healthcare domain. Software Quality Journal, 26(1), 281–329.
8. Mans, R. S., van der Aalst, W. M. P., & Vanwersch, R. J. B. (2015). Process mining in healthcare: Evaluating and exploiting operational healthcare processes. Springer.
9. Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2022). Process mining for healthcare: Characteristics and challenges. Journal of the American Medical Informatics Association, 29(3), 513–524.
10. Partington, A., Wynn, M. T., Suriadi, S., Ouyang, C., & Karnon, J. (2015). Process mining for clinical processes: A comparative analysis of four Australian hospitals. ACM Transactions on Management Information Systems, 5(4), 1–18.
11. Perimal-Lewis, L., Teubner, D., Hakendorf, P., & Horwood, C. (2016). Application of process mining to assess the data quality of routinely collected time-based performance data sourced from electronic health records by validating process conformance. Health Informatics Journal, 22(3), 453–470.

12. Rebuge, Á., & Ferreira, D. R. (2012). Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining. Information Systems, 37(2), 99–116.
13. Rojas, E., Muñoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review. Journal of Biomedical Informatics, 61, 224–236.
14. Rozinat, A., & van der Aalst, W. M. P. (2008). Conformance checking of processes based on monitoring real behavior. Information Systems, 33(1), 64–95.
15. Striani, M., et al. (2022). Process mining in healthcare—An updated perspective on the state of the art. Journal of Biomedical Informatics, 127, 103995.
16. Van der Aalst, W. M. P. (2013). Business process management: A comprehensive survey. ISRN Software Engineering, 2013, 507984.
17. Van der Aalst, W., Weijters, A., & Maruster, L. (2004). Workflow mining: Discovering process models from event logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 16(9), 1128–1142.
18. Vathy-Fogarassy, Á., Molnár, B., & Abonyi, J. (2022). Multilevel process mining methodology for exploring disease-related care pathways. Artificial Intelligence in Medicine, 124, 102223.
19. Williams, R., Suriadi, S., & Bandara, W. (2018). Process mining in primary healthcare: A literature review. Health Systems, 7(2–3), 81–99.
20. De Weerdt, J., De Backer, M, Vanthienen, J., & Baesens, B. (2012). A multi-dimensional quality assessment of state-of-the-art process discovery algorithms using real-life event logs. Information Systems, 37(7), 654–676.