تنفيذ وتقييم تطبيق ويب تقدمي لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية

Implementation and Evaluation of a Progressive Web Application (PWA) for Alexandria University's Digital Library Unit Website

د. آلاء جعفر الصادق
مدرس علم المعلومات – جامعة الإسكندرية

تاريخ الإرسال	تاريخ القبول	تاريخ النشر
٢٠٢٤/٢/١٤	٢٠٢٤/٢/٢٥	٢٠٢٤/٤/١

المستخلص:

في ضوء تزايد استخدام الأجهزة المحمولة للوصول إلى خدمات وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية، هدفت الدراسة إلى توفير تطبيق يحسن من تجربة المستفيدين. اعتمدت الدراسة على المنهج الاستقرائي لمراجعة الأدبيات حول تقنية تطبيقات الويب التقدمية؛ وقامت بتنفيذ التطبيق المقترح باستخدام نموذج الشلال، ثم قيمت أداؤه باستخدام أدوات واختبارات متنوعة؛ كما أجرت دراسة ميدانية باستخدام اختبار UEQ لتقييم تجربة المستخدم. أظهرت النتائج أن PWAs تعتبر الخيار الأمثل لبناء تطبيق للوحدة بوصفها حلاً عمليًا واقتصاديًا، وحقق التطبيق المقترح توافقًا عاليًا مع منصات متعددة بنسبة بلغت (٨٣,٣٪) ومع ذلك واجه التطبيق تحديات في التوافق مع بيئة macOS. وحصل التطبيق على تقديرات مرتفعة في تحقيق معايير PWA الأساسية والمثالية بنسبة بلغت (٩٣,٣٪). وأظهرت نتائج اختبار الصندوق الأسود للتطبيق إنجازًا ملحوظًا في أداء معظم وظائفه. وجاءت نتائج اختبارات الأمان مرتفعة بأعلى تقييم A+. وباستخدام عينة عشوائية بسيطة مؤلفة من ٦٤ مشارك تم إجراء تجربة المستخدم، وكشفت النتائج أن ٤٤٪ من المشاركين على دراية بالتقنية، وأسفرت النتائج أن متوسطات عناصر التقييم للتطبيق مرتفعة في جميع المقاييس، وأن الحداثة كانت أقلها بقيمة (١,١٨٨) والكفاءة كانت أعلاها بقيمة (٢,٢١٩). وأن آراء المشاركين كانت متجانسة نسبيًا، حيث كان الانحراف المعياري بين (٠,٨٢٧) و(١,٤٠١). وأظهرت نتائج المقارنة المرجعية أن التطبيق حقق درجات عالية في مقاييس الجاذبية والكفاءة والوضوح والاعتمادية بتقدير (ممتاز)، وأن ٧٥٪ من المشاركين اعتبروا التطبيق مفيدًا لسهولة الوصول والتصفح دون اتصال. وقدمت الدراسة عدة توصيات تضمنت دعوة للمؤسسات الأكاديمية لتبني وتوظيف تقنيات PWAs، وتعزيز برامج التعليم حولها، وتشجيع البحث والابتكار في هذا المجال. كما تنصح بضرورة تواصل الشركات الداعمة للتقنية مع مطوري التطبيقات والمستخدمين لتحسين تجربة المستخدم.

الكلمات المفتاحية: تطبيقات الويب التقدمية، المكتبات الرقمية، جامعة الإسكندرية، تجربة المستخدم، الأجهزة المحمولة.

Abstract:

In response to the burgeoning utilization of mobile devices to reach e-services provided by the Digital Library Unit at Alexandria University, this study aims to design an application to enhance user experience. The study delved into the literature on progressive web applications (PWAs) using an inductive approach. Subsequently, the proposed application was developed utilizing the waterfall model, and its performance was subjected to rigorous evaluation through diverse tools and tests. Furthermore, the study has conducted a field survey employing the User Experience Questionnaire (UEQ) to evaluate user experience. PWAs, proving to be a practical and economical solution, emerge as the optimal choice for designing the proposed application. Notably, the application demonstrated significant compatibility (83.3%) cross-platforms, albeit encountering challenges in compatibility with the macOS environment. It also attained a commendable adherence (93.3%) to the core and optimal PWA criteria. Black box testing revealed satisfactory performance across most functions, while security testing yielded the highest safety ranking (A+). Using a simple random sample comprising sixty-four (64) participants, a user experience evaluation test was conducted. Results indicated that 44% of participants were familiar with PWA technology. Additionally, rates across different scales yielded high average scores, with the efficiency scale registering the highest (2.219) and the novelty scale the lowest (1.188). Participant opinions reflected relative homogeneity, as the standard deviation values ranged between 0.827 and 1.401. Benchmarking this data set against others of similar applications from prior studies revealed an "Excellent" rating across attractiveness, efficiency, clarity, and reliability scales. Significantly, 75% of participants considered the application valuable for offline accessibility. Consequently, the study advocates for the widespread adoption of PWA technology within academic institutions. In addition, it recommends underscoring the importance of continuous collaborative engagement among technology firms, developers, and end-users to improve and enhance user experience.

Keywords: Progressive web applications (PWAs), Digital libraries, Alexandria University, User experience, Mobile devices

١ المقدمة

رصـدت التحليلات العالمية أن ما يقرب من (60٪) من مسـتخدمي الإنترنت يصـلون إليه من خلال الأجهزة المحمولة حيث أصـبحت هذه الأجهزة جزءًا لا يتجزأ من حياة الإنسـان المعاصـر (Ceci, 2023). مما حدا إلى تطوير تطبيقات الأجهزة المحمولة لكل مجال وغرض تقريبًا، بدءًا من التقاط الصـور وتحريرها، حتى إدارة الامتحانات والفصـول الدراسـية، وصـولاً إلى تقديم الخدمات الحكومية وإدارة الحسـابات البنكية والبورصـات العالمية. وبطبيعة الحال أدت الحاجة المتزايدة لتطبيقات الأجهزة المحمولة إلى قيام الشـركات الكبرى في مجال تكنولوجيا المعلومات بابتكار أنوع متعددة من هذه التطبيقات مثل التطبيقات الأصـلية Native Apps والتطبيقات الهجينة Hybrid Apps وتطبيقات الويب المحمولة Web Mobile Apps والتصميم المتجاوب Responsive Design، وذلك بهدف التغلب على القيود التي يفرضـها تصـفح الويب على الأجهزة المحمولة وتحسـين تجربة المسـتخدم. ومع ذلك ظلت هذه التطبيقات تواجه بعض القيود، ومنها؛ الحاجة إلى برمجة تطبيق خاص لكل نظام، والتحديثات اليدوية، وإشـكالية الفهرسة في محركات البحث، والعمل دون الاتصال بالإنترنت.

وللتغلب على هذه القيود تبنت شـركة Google في عام ٢٠١٥ تقنية جديدة، وهي تطبيقات الويب التقدمية Progressive Web App (PWAs)، وهي تطبيقات ويب تم إنشاؤها باسـتخدام واجهات برمجة التطبيقات الحديثة APIs لتوفير وظائف محسـنة واعتمادية وإتاحة إمكانية الوصـول إلى أي مسـتخدم في أي مكان وعلى أي جهاز بكود برمجة واحد. وهذا ما يُعرف بالتحسين التدريجي Progressive Enhancement كما تحاول PWAs تحسين تجربة المستخدم واستخدام التطبيق دون اتصال بالإنترنت (Roumeliotis & Tselikas, 2022, p. 352). ومعيار تطبيق الويب التقدمي الذي تبنته شركة Google تلقى حفاوة كبيرة من قبل شركة Microsoft واعتمدته شـركة Apple على مضـض، واكتسـب شـعبية هائلة بين الشـركات العالمية حيث اسـتخدمته شـركات مثل Pinterest، وUber، وAirbnb، وSpotify، وAliexpress، ومنصـة X، وحديثًا WhatsApp وFacebook والعديد من الشـركات العملاقة، واللاتي قمن بالفعل باختبار قدرات تقنية PWA لتعزيز مشاركة المستخدم، وذهب البعض إلى أن هذه التطبيقات قد تكون أفضل خيار حالي لتحديات عالم الأجهزة المحمولة.

وفي هذا الإطار تعتبر تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) فرصـة حقيقية ينبغي أن تغتنمها مؤسـسـات المعلومات أيضًـا، حيث تجسـد هذه التقنية تطورًا ملحوظًا في تطبيقات الويب من شـأنه أن يعزز تفاعل المسـتخدمين مع المحتوى الرقمي من خلال تجربة مسـتخدم سـلسـلة

وبسيطة وبتكلفة بسيطة تمكن من سرعة الوصول، وإمكانية التفاعل في ظروف الشبكات الضعيفة، مما قد يجعل تلك التقنية لا غنى عنها في تحسين تجربة الباحثين والمستفيدين من خدمات المكتبات ومؤسسات المعلومات خاصة في ضوء انخفاض تكلفتها بشكل ملحوظ.

١/١. مشكلة الدراسة:

في ظل تطور تطبيقات الأجهزة المحمولة وارتفاع نسبة الوصول إلى الإنترنت من خلالها، يبرز أهمية تحسين تجربة مستخدمي موقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية. حيث لاحظت الباحثة أثناء عملها في الوحدة، أن الوصول إلى خدمات الوحدة يتسم بتحديات تقنية تستوجب التفكير في حلول مبتكرة. فقد أظهرت البيانات الإحصائية لموقع وحدة المكتبة الرقمية من خلال أداة إحصائيات جوجل Google Analytics أن أغلب مستخدمي موقع الوحدة يصلون إلى خدمات المكتبة من خلال الأجهزة المحمولة، حيث تظهر الإحصائيات أن ٧٣,٧٪ من زيارات موقع المكتبة خلال عام ٢٠٢٣ جاءت عبر الأجهزة المحمولة. إلا ان المكتبة لا توفر تطبيق هاتف محمول يسهل على المستخدمين الوصول إلى التعليمات والوثائق الخاصة بالخدمات، وتيسير إدارة استمارات التقديم ونظام الحجز المسبق بطريقة فعالة. كما أظهرت الإحصائيات تفاوتًا في استخدام الموقع حسب نظم التشغيل، فقد بلغت الزيارات عبر نظام Android نسبة ٤٧٪، وعبر نظام iOS نسبة ٢٧٪، في مقابل نسبة ٢٣٪ لنظام Windows. تعكس هذه الإحصائيات تفاوتًا في عادات المستفيدين وتفضيلاتهم وتعدد الأجهزة والنظم المستخدمة، مما يفرض تحديات على توفير تطبيق أصلي لخدمات وحدة المكتبة الرقمية عبر الأجهزة المحمولة بما يتناسب مع الاختلاف النوعي للمنصات والنظم والأجهزة والمتصفحات المستخدمة والذي قد يشكل عبئًا كبيراً على ميزانية الوحدة. وبناءً على هذا السيناريو، فإن مشكلة الدراسة تتلخص في كيفية إيجاد وسيلة مبتكرة واقتصادية تمكن المستخدمين من الوصول إلى خدمات الوحدة بفعالية وكفاءة عبر أجهزتهم المفضلة، حتى في ظل شبكات الإنترنت الضعيفة، مع مراعاة تعدد الأجهزة والمتصفحات المستخدمة لتوفير تجربة مستخدم محسّنة لمستفيدي وحدة المكتبة الرقمية.

٢/١. أهمية الدراسة:

تتجلى أهمية هذه الدراسة في التصدي للتحديات التقنية وتلبية احتياجات المستفيدين في وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية من خلال اقتراحها حلاً عمليًا واقتصاديًا يتيح للمستفيدين الوصول إلى خدمات المكتبة بفعالية، حتى في ظروف اتصال الإنترنت الضعيفة. ومع الوعي بارتفاع تكلفة التطبيقات الأصلية، فإن الدراسة تقترح تنفيذ تطبيق ويب تقدمي

PWA لموقع الوحدة، والذي قد يحقق التطلعات المطلوبة دون إرهاق الميزانية المحدودة للوحدة بتجربة أقرب ما تكون لتجربة التطبيقات الأصلية ومع مراعاة تنوع الأجهزة والمتصفحات المستخدمة من قبل المستفيدين. ويعزز أهمية الدراسة أيضًا غياب الاهتمام البحثي فضلًا عن التطبيقي بتقنية تطبيقات الويب التقدمية في مؤسسات المعلومات العربية. ويعضض قيمة هذه الدراسة عدم الاكتفاء بتنفيذ التطبيق فقط، بل سعي الدراسة لقياس أداء وفعالية هذا التطبيق، علاوة على اختبار تجربة المستخدم للتأكد من قدرة هذه التطبيقات على تلبية احتياجات المستفيدين بشكل متكامل في البيئة العربية التي لم يتم تحليل تجربة المستخدم لهذه التطبيقات فيها من قبل. وبما أن التكلفة تظل في إطار ميزانية الوحدة، فإن توفير هذا التطبيق يمثل استثمارًا فعّالًا في تحسين جودة الخدمات بوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية ويعزز التحول نحو بيئة أكثر تكاملًا وسلاسة في المكتبة.

١/٣. أهداف الدراسة:

انطلاقاً من أهمية ومشكلة الدراسة، تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف الفرص والتحديات التي توفرها تقنية PWA في تعزيز تجارب مستخدمي مواقع المكتبات ومؤسسات المعلومات. حيث تستهدف الدراسة ما يلي:

١ التأصيل النظري لتقنية تطبيقات الويب التقدمية PWA مقارنة بتطبيقات الأجهزة المحمولة الأخرى، واستكشاف فرص توظيفها في مواقع المكتبات ومؤسسات المعلومات.

٢ اقتراح وتصميم تطبيق ويب تقدمي (PWA) لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية باستخدام تقنيات التحسين التقدمي Progressive Enhancement.

٣ قياس أداء التطبيق المقترح في ضوء معايير تطبيقات الويب التقدمية الأساسية والمثالية، علاوة على تحليل إمكانية التثبيت، وسرعة التحميل، واستجابة الواجهة أثناء التفاعل مع التطبيق، وقابلية الوصول، والتوافق مع المنصات المتعددة.

٤ تحليل فعالية وسهولة استخدام التطبيق من قبل مستفيدي وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية، بما في ذلك اختبار الصندوق الأسود واختبار تجربة المستخدم، في ضوء تحليل وتقييم تفضيلات وعادات مستخدمي موقع الوحدة.

٤/١. تساؤلات وفروض الدراسة:

انطلاقاً من أهداف الدراسة المطروحة يمكن تلخيص تساؤلات الدراسة فيما يلي:

١ ما تقنية تطبيقات الويب التقدمية (PWAs)، وما خصائصها ومكوناتها ومعماريتها؟ وما الفرص الممكنة لتوظيف هذه التقنية في مواقع المكتبات ومؤسسات المعلومات؟

٢ ما الفارق بين تطبيقات الويب التقدمية وباقي تطبيقات الاجهزة المحمولة الأخرى (التطبيقات الأصلية، تطبيقات الويب المحمولة، التطبيقات المختلطة، التطبيقات المتجاوبة)؟ وما التحديات التي تواجه هذه التقنية؟

٣ ما إمكانية تنفيذ تطبيق ويب تقدمي لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية بتكلفة منخفضة؟

٤ ما فعالية أداء التطبيق المقترح ومدى تحقيقه للمعايير الأساسية والمثالية لتطبيقات الويب التقدمية وكذلك مدى توافقه مع المتصفحات ونظم التشغيل المختلفة؟

٥ هل يتوافق التطبيق المقترح مع تطلعات المستخدمين ويحسن من تجربتهم؟

وبذلك يمكن صياغة فروض الدراسة على النحو التالي:

الفرضية الأولى: يمثل التطبيق المقترح خيارًا أقل تكلفة مقارنة بتطبيقات الأجهزة المحمولة الأصلية.

الفرضية الثانية: يحقق التطبيق المقترح المعايير الأساسية والمثالية لتطبيقات الويب التقدمية.

الفرضية الثالثة: يتوافق التطبيق المقترح توافقًا واسعًا مع متصفحات متعددة ونظم تشغيل مختلفة.

الفرضية الرابعة: يوفر التطبيق المقترح طبقة أمان عالية وبيئة آمنة وموثوقة.

الفرضية الخامسة: يحقق التطبيق المقترح أداءً مرتفعًا في أغلب وظائف تطبيقات الويب التقدمية

الفرضية السادسة: يحسن تطبيق الويب التقدمي PWA تجربة مستخدمي وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية، ويقدم تجربة مستخدم متميزة عن غيره من التطبيقات المماثلة Benchmark.

٥/١. منهج الدراسة وأدواتها:

اعتمدت الدراسة على مجموعة متكاملة من المناهج والأساليب البحثية لتحقيق أهدافها بشكل فعال. يتمثل المنهج الأساسي للدراسة في المنهج الاستقرائي الذي يسعى إلى استعراض وتحليل الأدبيات المتعلقة بتقنية تطبيقات الويب التقدمية وإمكانية توظفيها في مؤسسات المعلومات، مما يساعد في بناء إطارًا نظريًا قويًا للدراسة. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء الدراسة التطبيقية عبر تنفيذ تطبيق ويب تقدمي لوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية وفق نموذج الشلال Waterfall Model. ومن ثم تم تحليل نتائج قياس أداء التطبيق المقترح ومدى تحقيقه للمعايير

باستخدام عدة أدوات تقنية وقوائم مراجعة معتمدة بالإضافة إلى نموذج مصفوفة التوافق Compatibility matrix واختبار الصندوق الأسود Black-Box Test، ووظفت الدراسة أيضًا المنهج الميداني لاستكشاف واختبار تجارب مستخدمي موقع وحدة المكتبة الرقمية بواسطة اختبار UEQ. وفيما يلي توضيحًا لأدوات الدراسة المستخدمة لتحقيق أهدافها:

١/٥/١ أدوات الدراسة الإلكترونية:

تنقسم أدوات الدراسة الإلكترونية إلى أدوات تحليل، وأدوات تطوير، وأدوات اختبار وقياس على النحو التالي:

١ **أداة إحصائيات جوجل Google Analytics**: منصة مجانية تابعة لشركة Google تسمح لمالكي مواقع الويب وتطبيقات الأجهزة الذكية بتتبع وتحليل تفاعلات المستخدم على مواقعهم وتطبيقاتهم، مما يوفر رؤى قيمة حول سمات وسلوك المستخدمين ومصادر حركة المرور والإحالات والخصائص الديموجرافية والمقاييس الرئيسية الأخرى.

٢ **أداة Pwabuilder**: أداة مفتوحة المصدر تم تطويرها بواسطة Microsoft وتعمل على تبسيط عملية إنشاء ونشر تطبيقات الويب التقدمية (PWAs).

٣ **أداة Web App Manifest Generator**: أداة مجانية تساعد المطورين على إنشاء ملف التكوين Web App Manifest، وهو ملف JSON يحدد الشكل الذي يجب أن يبدو عليه تطبيق PWA، وهو مكون رئيسي في تقنيات الويب التقدمية.

٤ **أداة Draw.io**: تطبيق ويب مجاني لإنشاء خرائط تدفق ومخططات ورسوم بيانية وخرائط ذهنية وتمثيلات مرئية أخرى، يسمح للمستخدمين بتخزين أعمالهم على السحابة أو على الخادم أو تحميلها على أجهزتهم.

٥ **أداة Lighthouse**: أداة مجانية مفتوحة المصدر مطورة من قبل شركة Google تقوم بمراجعة وتدقيق جودة وأداء صفحات الويب وتطبيقات الويب التقدمية (PWAs) من حيث الأداء وإمكانية الوصول وتحسين محركات البحث، وتقدم تقارير واقتراحات حول كيفية تحسين الأداء. وتقوم كذلك بقياس مؤشر السرعة Speed index، حيث تُصنف سرعة المواقع إلى ثلاث فئات (سريع: من ٠,٠ إلى ٤,٣) و(معتدل: من ٤,٤ إلى ٥,٨) و(بطيء: أكثر من ٥,٨).

٦ **أدوات DevTools**: اختصار لـ Developer Tools، ويشير إلى مجموعة من أدوات تطوير الويب وتصحيح الأخطاء المدمجة في متصفحات الويب الحديثة. تم تصميم هذه الأدوات لمساعدة المطورين في فحص صفحات الويب وتطبيقات الويب وتصحيح الأخطاء وتحسينها.

٧ **أداة Statcounter:** الصادرة عن Global Stats، وهي خدمة تتبع وتحليل لاستخدام المتصفحات وأنظمة التشغيل والأجهزة ومحركات البحث وتستند الإحصائيات التي تصدرها إلى بيانات مجمعة من شبكة تضم أكثر من ١,٥ مليون موقع ويب وهذه الخدمة تعمل منذ عام ١٩٩٩، وحصدت العديد من الجوائز الدولية.

٨ **أدوات LambdaTest وPerfecto:** منصات سحابية تتيح اختبار التطبيقات عبر المتصفحات وتطبيقات الهاتف المحمول على أجهزة ومتصفحات وأنظمة تشغيل حقيقية. وهي تسمح للمطورين والمختبرين بإجراء اختبار آلي ويدوي لتطبيقات الويب عبر مجموعة واسعة من المتصفحات وأنظمة التشغيل.

٩ **أداة SSL Security Test:** أداة مجانية مطورة من شركة ImmuniWeb تختبر أمان وتكوين خوادم وشهادات SSL/TLS. وتتحقق من نقاط الضعف والامتثال لأفضل الممارسات، وتقييم وتحدد مستوى المنتج.

١٠ **أداة SSLlabs:** خدمة سحابية مجانية مطورة من شركة Qualys Cloud تقوم بإجراء تحليل عميق لتكوين أي خادم ويب SSL على الإنترنت سواء في بيئة IPv4 أو IPv6.

٢/٥/١ قوائم المراجعة واختبار تجربة المستخدم:

١١ **قائمتي التحقق من الوظائف الأساسية والمثالية لتطبيقات الويب التقدمية:** عبارة عن مجموعة من المؤشرات لأفضل الممارسات عند إنشاء تطبيقات الويب التقدمية عالية الجودة. وتم تطوير قائمتي التحقق بواسطة خبراء الويب في Google والمساهمين من مجتمع Wev.dev. وهما قائمتي مراجعة، تصف قائمة التحقق الأساسية الحد الأدنى من متطلبات تطبيق الويب ليكون قابلاً للتثبيت والاستخدام من قبل جميع المستخدمين وتتكون من ٨ معايير، بينما تصف القائمة المرجعية المثالية أفضل الممارسات لإنشاء تطبيق PWA مثالي، والذي يبدو وكأنه تطبيق أصلي ويستفيد من كافة إمكانات الويب ويتكون من ٧ معايير. ويتم تحديث قائمة التحقق بانتظام لتعكس أحدث تقنيات الويب وتوقعات المستخدم.

١٢ **مصفوفة التوافق Compatibility matrix:** هو أسلوب منهجي يعتمد على تصميم جدول مقارن لقياس مدى توافق المتصفحات والأجهزة وأنظمة التشغيل المختلفة مع تطبيق أو إضافة في بيئة الويب Plug-in. وتساعد مصفوفة التوافق المطورين والباحثين في معرفة المتصفحات والأجهزة وأنظمة التشغيل التي تدعم تطبيق أو إضافة الويب، بما يساعد في تحديد وحل أي مشكلات أو أخطاء في التوافق قد تؤثر على تجربة المستخدم أو وظائف التطبيق.

١٣ **اختبار تجربة المستخدم (UEQ)**: أداة مصممة لقياس وتقييم تجربة المستخدم للمنتجات أو الخدمات التفاعلية. يتم استخدامه بشكل شائع في مجال التفاعل بين الإنسان والحاسب الآلي Human Computer Interaction (HCI) وكذلك في أبحاث سهولة الاستخدام، وتم تطويره في عام ٢٠٠٥ من قبل فريق من الباحثين الأكاديميين. وهو عبارة عن استبيان معياري يتكون من ٢٦ عنصر يهدف إلى تحليل انطباعات المستخدمين وتجاربهم الشخصية مع نظام معين أو موقع ويب أو برنامج أو منتجات تفاعلية أخرى مما يوفر فهمًا شاملاً لتصورات المستخدم. ويتوفر UEQ بأكثر من ٣٠ لغة وله إصدار قصير (UEQ-S) يحتوي على ١٢ عنصرًا، ويغطي ستة مقاييس مختلفة حيث يقيس كلاً من جوانب سهولة الاستخدام الكلاسيكية (الوضوح والكفاءة والاعتمادية) وجوانب تجربة المستخدم (الجاذبية والتحفيز والحداثة) وذلك على النحو الموضح في جدول رقم (١).

جدول رقم (١): مقاييس وعناصر اختبار تجربة المستخدم UEQ

م	المقياس	المستهدف	العناصر	
١	**الجاذبية**	جاذبية المنتج من الناحية الجمالية والتصميم.	ممتع/مزعج جيد/سيء مرضى/غير مرضى	مريح/غير مريح جذاب/غير جذاب واجهة استخدام سهلة/واجهة استخدام صعبة
٢	**الوضوح**	مدى قدرة المستخدمين على فهم المنتج واستيعابه.	مفهوم/غير مفهوم سهل التعلم/صعب التعلم	سهل/معقد واضح/مربك
٣	**الكفاءة**	مدى فعالية وكفاءة المنتج في تحقيق أهدافه.	سريع/بطيء فعال/غير فعال	عملي/غير عملي منظم/عشوائي
٤	**الاعتمادية**	مدى ثقة المستخدم في اعتماده على المنتج ومدى مصداقيته وأمنه.	متوقع/غير متوقع داعم/عائق	آمن/غير آمن يفي بالتوقعات/لا يفي بالتوقعات
٥	**التحفيز**	مدى اهتمام المستخدمين بالمنتج.	قيم/رديء مثير/ممل	شيق/غير شيق محفز/محبط
٦	**الحداثة**	تصور المستخدمين للمنتج على أنه شيء جديد أو مبتكر.	ابداعي/رجعي مستحدث/تقليدي	استشرافي/اعتيادي ابتكاري/محافظ

يقوم المشاركون بتقييم كل عنصر على مقياس يتراوح من -٣ إلى +٣، مما يشير إلى مستوى موافقتهم أو عدم موافقتهم على كل عبارة. ويُستخدم اختبار UEQ على نطاق واسع في الأبحاث التجارية والدراسات العلمية لقياس تجربة المستخدم حيث يوفر رؤى قيمة حول نقاط القوة

والضعف في المنتج أو الخدمة من وجهة نظر المستخدم. ويوفر الاختبار على صفحته الرسمية أداة تحليل إحصائي لنتائج الدراسة ويتم مقارنة النتائج بمجموعة بيانات Data Set تحتوي على نتائج ٤٦٨ دراسة مما يوفر فرص أفضل لتحليل أبعاد المنتج الجديد ومقارنته بمنتجات سابقة. (Schrepp, 2023, pp. 1–2)

واستخدمت الدراسة في نظام الاستشهاد وإعداد قائمة المصادر نظام APA7th والذي يُعد من أشهر أساليب الاستشهاد على مستوى البحث العلمي العالمي.

٦/١. حدود الدراسة:

١/٦/١. الحدود الموضوعية: تتناول الدراسة تنفيذ تطبيق ويب تقدمي لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية وتقييم أداء هذا التطبيق ثم اختبار تجربة المستخدمين له.

٢/٦/١. الحدود الجغرافية: تم توزيع وإجراء اختبار تجربة المستخدم في كليات ومعاهد جامعة الإسكندرية والبالغ عددها ٢٤ كلية ومعهد.

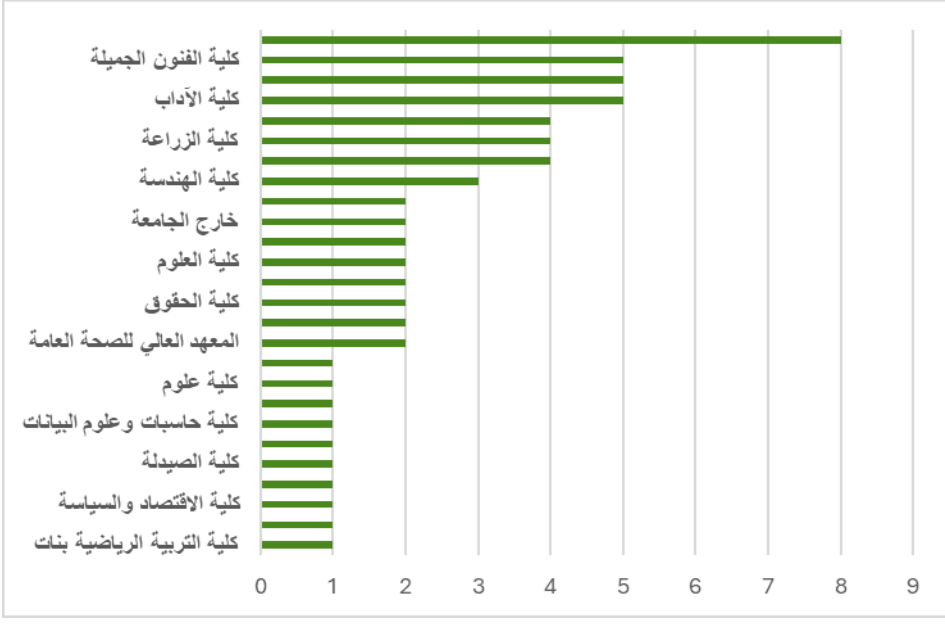
٣/٦/١. الحدود الفئوية: يتكون مجتمع الدراسة من كافة مستخدمي موقع المكتبة الرقمية ويشمل الباحثين الأكاديميين المنتمين لجامعة الإسكندرية، من أعضاء هيئة التدريس ومعاونيهم بمختلف درجاتهم العلمية (أستاذ – أستاذ مساعد – مدرس – مدرس مساعد - معيد)، وكذلك من طلاب الدراسات العليا بالجامعة وخارج الجامعة وأخصائيي المكتبات بالجامعة. ويخرج من إطار هذه الدراسة طلاب المرحلة الجامعية الأولى وذلك لأن الوحدة لا تقدم خدماتها لهذه الفئة.

٤/٦/١. الحدود الزمنية: تم تجميع بيانات اختبار تجربة المستخدم في الفترة ما بين يناير/ فبراير ٢٠٢٤.

٧/١. مجتمع وعينة الدراسة:

بما أن الهدف الأساسي من الدراسة هو تنفيذ وتقييم تطبيق ويب تقدمي لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية، فإن مجتمع الدراسة بطبيعة الحال هم الباحثون الأكاديميون من أعضاء هيئة التدريس والهيئة المعاونة وطلاب الدراسات العليا وكذلك أخصائيو المكتبات بجامعة الإسكندرية، ونظرًا لصعوبة الحصر الدقيق لأعداد هذه الفئات لجأت الباحثة إلى العينة العشوائية البسيطة Simple Random Sample، وهذا النوع من العينات يحقق تكافؤ الفرص لجميع عناصر مجتمع الدراسة لتكون أحد مفردات العينة، ويتطلب استخدام هذه الطريقة ضرورة حصر ومعرفة عناصر مجتمع الدراسة بالكامل، وحيث أن المجال الجغرافي للدراسة هو جامعة الإسكندرية فقد تم توزيع رابط الاختبار الإلكتروني المصمم على نماذج

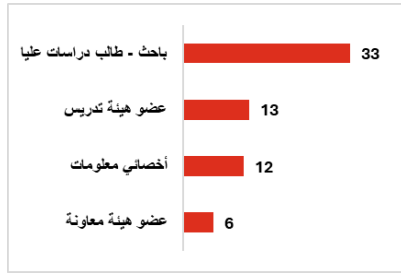
جوجل Google form على المنتسبين لكليات ومعاهد جامعة الإسكندرية البالغ عددها ٢٤ كلية ومعهد بالإضافة إلى العاملين في وحدة المكتبة الرقمية المركزية بالجامعة، وذلك من خلال توزيعه على المستفيدين في كافة مكتبات الجامعة (ماعدا المستفيدين في وحدة المكتبة الرقمية بالجامعة لعدم تضارب المصالح) وكذلك من خلال المجموعات الخاصة على شبكات التواصل الاجتماعي، وقد استجاب لإجراء الاختبار (٦٦) مشارك وتم استبعاد استجابتين لعدم استيفاء شروط الموافقة المستنيرة. ومن خلال تحليل الاستجابات تبين أنها تغطي مجتمع الدراسة مما دفع الباحثة إلى استكمال الدراسة حيث تُعد عينة الدراسة ممثلة للمجتمع ومؤهلة للخروج بمؤشرات صالحة. ويوضح شكل رقم (١) توزيع عينة الدراسة وفق كليات ومعاهد الجامعة وعلى الرغم من انخفاض أعداد المشاركين في بعض الكليات إلا أن كونها ممثلة في عينة الدراسة يُعد ظاهرة جيدة من أجل الاطمئنان لنتائج الدراسة خاصة أن أعداد المنتسبين لهذه الكليات منخفض مقارنة بباقي الكليات مثل كلية الطب والتي جاءت في الصدارة بنسبة بلغت (١٢,٥٪) ثم جاءت كلية الفنون الجميلة وكلية الأعمال والآداب في المركز الثاني بنسبة بلغت (٧,٨٪).



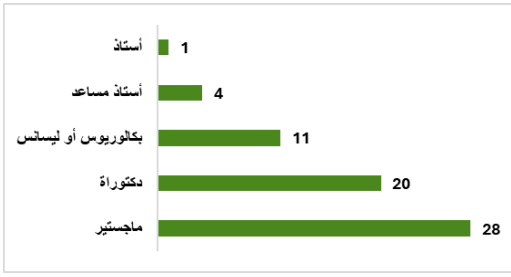
شكل رقم (١): توزيع عينة الدراسة على الجهات داخل الجامعة

أما فيما يتعلق بتحليل السمات الشخصية لعينة الدراسة يتضح من شكل رقم (٢) أن أكثر الفئات استجابة وفق التوزيع الوظيفي كانت فئة الباحثين وطلاب الدراسات العليا بنسبة بلغت (٥١,٥٪) ويمكن أن تصل النسبة إلى (٦٠,٩٪) إذا تم ضم فئة أعضاء الهيئة المعاونة

باعتبارهم طلاب دراسات عليا أيضًا، ثم أعضاء هيئة التدريس بنسبة بلغت (٢٠,٣٪) وأخيرًا فئة أخصائي معلومات بنسبة بلغت (١٨,٧٪). وفي ذات الإطار فإن شكل (٣) يوضح أن عينة الدراسة وفق الدرجة العلمية استأثر فيها المشاركين المسجلين على درجة الماجستير بأعلى نسبة وهي (٤٣,٧٪) ثم المشاركين المسجلين على درجة الدكتوراة بنسبة بلغت (٣١,٢٪) ثم الحاصلين على درجة البكالوريوس أو الليسانس (وجميعهم من أخصائيي المعلومات) بنسبة بلغت (١٧,٢٪) وجاءت أقل الفئات استجابة فئة أستاذ مساعد بنسبة (٦,٢٪) وفئة أستاذ بنسبة (١,٥٪).



شكل رقم (٢): توزيع عينة وفق الفئة الوظيفية



شكل رقم (٣): توزيع عينة الدراسة وفق الدرجة العلمية

٨/١. مصطلحات الدراسة:

اعتمد البحث التعريفات التالية لتوضيح المفاهيم الرئيسة ذات العلاقة بالدراسة:

١ **التطبيقات الأصلية Native Apps (NA):** مصطلح يطلق على التطبيقات التي تم تطويرها للعمل على نظام محدد من أنظمة الأجهزة المحمولة وذلك لضمان أفضل أداء للتطبيق والوصول إلى كافة إمكانيات الجهاز، مثل تطبيقات نظم iOS أو Android. ويتم إنشاء هذه التطبيقات باستخدام لغات وأطر برمجية خاصة بالنظام الذي سوف تعمل عليه، مثل لغة Swift أو Objective-C لتطبيقات iOS ولغة Java أو Kotlin لتطبيقات Android، ويتم تثبيتها يدويًا عن طريق متاجر التطبيقات مثل متاجر Windows Store، Google Play، Apple AppStore. تتمتع التطبيقات الأصلية بميزة الأداء الأمثل والوصول الكامل إلى ميزات الجهاز، ولكنها تتطلب جهود تطوير منفصلة لكل نظام. (Elfström, 2021, p. 8; Petcu et al., 2023, p. 255)

٢ **تطبيقات الويب المحمولة Mobile Web Applications (MWA):** هي تطبيقات تتم استضافتها على السحابة ولا يتم تثبيتها على الجهاز ويتم الوصول إليها من خلال (URL) وتعمل من خلال متصفح الويب فقط. يتم تشغيل تطبيق الويب من خلال خادم ويب يدير كافة العمليات على التطبيق؛ ولا يسمح هذا إلا بعرض واجهة المستخدم (UI) للمتصفح في حالة

عدم الاتصال بالإنترنت، ويجعله ذلك أبطأ بشكل ملحوظ من التطبيقات الأصلية ولا يتمتع بنفس مستوى مميزاتها، ويتوقف أداءه على سرعة الاتصال بالإنترنت. ويتم إنشاء تطبيقات الويب باستخدام لغات مثل HTML وCSS وJavaScript. (Elfström, 2021, p. 9)

٣ **التطبيقات المختلطة أو الهجينة (Hybrid Apps (HA):** تجمع التطبيقات الهجينة بين عناصر التطبيقات الأصلية وتطبيقات الويب. ويتم إنشاؤها باستخدام لغات مثل HTML وCSS وJS، ولكنها تتضمن في حاوية أصلية Shell تسمح بتوزيعها من خلال متاجر التطبيقات والوصول إلى ميزات الجهاز. وتتميز بأنها تسمح للمطورين بكتابة كود البرمجة مرة واحدة لكل الأنظمة حيث يتم عرضها على منصات متعددة من خلال Webview، إلا أنها لا تحقق نفس مستوى الأداء الذي تحققه التطبيقات الأصلية. (Elfström, 2021, p. 10; Petcu et al., 2023, p. 257)

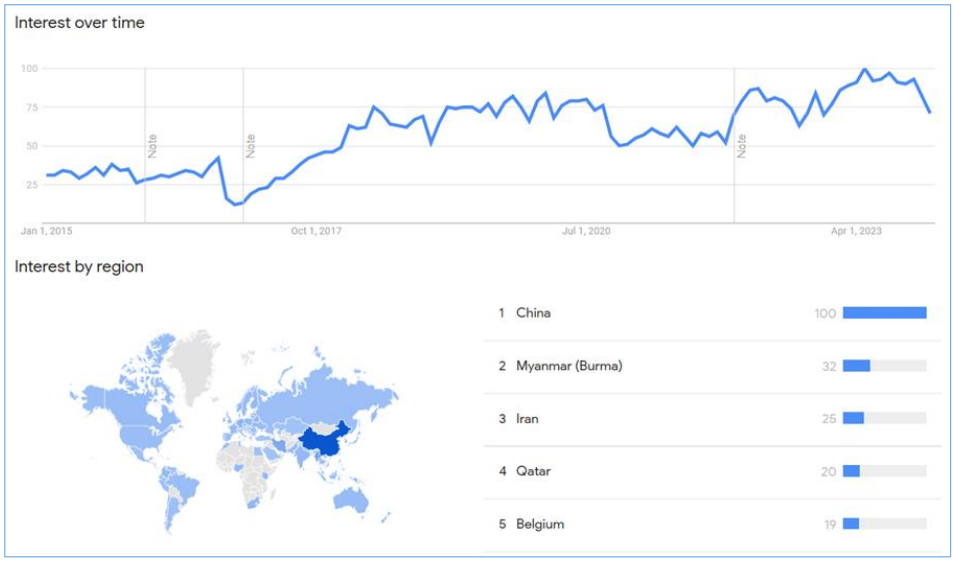
٤ **تطبيقات الويب المتجاوبة (Responsive Web Apps (RWA:** هي مواقع ويب مصممة لتوفير تجربة مستخدم متجاوبة مع مجموعة متنوعة من الأجهزة وأحجام الشاشات حيث يتم ضبط تخطيط الصفحة والمحتوى بناءً على حجم شاشة الجهاز المستخدم بغض النظر عن خصائص الموقع الفنية، وتصمم بالاعتماد على تقنيات HTML وCSS3. ويتم الوصول إليها من خلال متصفح الويب عبر URL ولا تحتاج إلى تنزيلها أو تثبيتها. ومع أنها توفر طريقة منخفضة التكلفة للوصول إلى المستخدمين على أجهزة مختلفة إلا أنه يعيبها وجود قيود من حيث الأداء والوصول إلى الميزات الخاصة بالجهاز مقارنة بالتطبيقات الأصلية. وبشكل عام يتوقف أداء التطبيقات المتجاوبة على سرعة الاتصال بالإنترنت (Magomadov, 2020, p. 3; Chavan et al., 2022).

٩/١. الاعتبارات الأخلاقية وتضارب المصالح:

تم عرض مقترح البحث على لجنة أخلاقيات البحث العلمي بجامعة الإسكندرية وحصل البحث على شهادة الموافقة الأخلاقية برقم مسلسل (AU-001-13-22/01/2024). التزمت الدراسة بإيضاح الغرض وخطوات ومدة المشاركة لكافة المتطوعين للإجابة على اختبار تجربة المستخدم وتم تصميم استمارات الموافقة المستنيرة إلكترونيًا في بداية الاختبار، لم يُجبر أي مشارك على المشاركة في الاختبار- ولم يتم تقديم أي عائد أو فائدة على المشاركة، وراعت الباحثة ألا تتعامل مع المشاركين بشكل مباشر وإيجاد وسيط للتعامل معهم لتجنب تضارب المصالح وضمان حيادية الاستجابة.

٢ المراجعة العلمية

تشـهد عمليات البحث عن تطبيقات الويب التقدمية ارتفاعًا مسـتمرًا وملحوظًا في مسـتوى الاهتمام وفقًا للخط الزمني الصـادر عن أداة (اتجاهات جوجل Google Trends) في شـكل رقم (٤). كما توضح خريطة التوزيع الجغرافي للاهتمام البحثي بالتقنية أن دولة الصين تتصدر دول العالم في هذا السياق يليها كلٍ من بورما وإيران وقطر وبلجيكا على الترتيب.



* سبب الانخفاض في الرسم البياني في نهاية ٢٠٢٣ يرجع إلى عدم وجود بيانات لبقية العام.

شكل رقم (٤): تردد البحث في موضوع (تطبيقات الويب التقدمية) من ٢٠١٥ وحتى ديسمبر ٢٠٢٣ (المصدر: Google Trends)

مع أن تقنية PWA تم ابتكارها في عام ٢٠١٥، إلا أن أول دراسـة علمية ذات صـلة بهذه التقنية ظهرت في محرك بحث Google Scholar وقواعد البيانات WoS وScopus تعود إلى عام ٢٠١٧. كما يجدر الإشـارة إلى أن الدراسـة الحالية لم تتمكن من العثور على أي دراسـة عربية تناولت هذه التقنية سـواء على المسـتوى النظري أو التطبيقي أو التجريبي أو حتى على مسـتوى قياس الأداء وتجربة المسـتخدم. لذا ومن أجل اكتسـاب فهم أعمق للبحوث والمناقشـات الحالية ذات الصـلة بموضـوع البحث عمدت الدراسـة إلى تقديم عرض تحليلي للدراسـات المباشـرة التي تناولت موضـوع تطبيقات الويب التقدمية PWAs، وتم ترتيب الدراسـات وفق خمسـة محاور رئيسة رُتبت داخلها المراجعات ترتيبًا تاريخياً من الأقدم إلى الأحدث.

١/٢ مصادر البيانات ومعايير البحث:

تم الاستعانة ببنك المعرفة المصري واتحاد مكتبات الجامعات المصرية، إلى جانب محرك بحث Google Scholar وقواعد البيانات التالية: Scopus, Springer, Web of Science, ERIC, Wiley, and Library and Information Science Abstracts (LISA). كما تم الاطلاع على قاعدة بيانات دار المنظومة للدراسات العربية. وفقاً لنطاق البحث Search Scope، تم صياغة عبارات البحث التي تتناسب مع أسئلة الدراسة وتغطي مختلف جوانبها لاستخدامها في البحث والاسترجاع. وتم البحث وفق معايير محددة بأن تكون ملخص الدراسات على الأقل بأحد اللغتين العربية والإنجليزية وأن يتوافر النص الكامل حتى تتمكن الدراسة من تحليلها وأن تقتصر على الدراسات العلمية وتستبعد غيرها.

٢/٢ محاور المراجعة:

١/٢/٢ دراسات تأصيلية تتعلق بالتقنية وخصائصها

استعرض **ماجومادوف Magomadov (٢٠٢٠)** دور تطبيقات الويب التقدمية في سياق تطورات الويب الحديثة. حيث يتناول البحث الأهمية المتزايدة لتلك التطبيقات ودورها المتنوع في تحسين تجربة المستخدم وتقديم أداء فعّال ومتقدم. وهدفت الدراسة إلى تحليل وفهم الدور الذي تلعبه تطبيقات PWAs في تحسين التفاعل بين المستخدم والويب، ويقارن البحث أيضًا بين تطبيقات الويب التقدمية بتطبيقات الويب الأخرى التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بها، مثل التصميم المتجاوب والتطبيقات الأصلية. ويسلط الضوء على أهم الاختلافات وأوجه التشابه بينهم. علاوة على ذلك، تناقش الورقة المزايا وكذلك القيود المحتملة لهذه التكنولوجيا. وتعتمد منهجية البحث على استعراض شامل لتطبيقات الويب التقدمية وتحليل أدائها، حيث تُظهر النتائج أن هذه التطبيقات تسهم بشكل كبير في تحسين سرعة التحميل والاستجابة، مما يعزز تجربة المستخدم بشكل فعّال. ويرى البحث أن تطبيقات PWA لديها إمكانات كبيرة لتصبح أداة لا تقدر بثمن في تطوير الويب على الرغم من عدم اعتمادها على نطاق واسع بعد من قبل المؤسسات (Magomadov, 2020).

تُقدم الدراسة التي أجراها **تشافان Chavan وآخرون (٢٠٢٢)** نظرة عميقة على تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) مقارنة بتطبيقات الويب المتجاوبة (RWAs). تقارن الدراسة بين تلك التطبيقات لفهم ميزاتها وفوائدها، حيث يشكل الجدل حول استخدام تطبيقات الويب التقدمية أو التوجه إلى التطبيقات المتجاوبة نقطة أساسية في مجال تطوير الويب. اعتمد الباحثون في منهجية الدراسة على مقارنة أداء النوعين من التطبيقات وتحليل مميزات وعيوب كل نموذج. تتجلى أهم النتائج أن تطبيقات الويب التقدمية تُظهر أداءً متميزًا في بعض الجوانب

إلا جزئية اتصال https المطلوب لـــ PWA يؤدي إلى إبطاء جميع مقاييس أداء PWA في الزيارة الأولى. ومع ذلك مع تكرار الاستخدام، تصبح سرعة الأداء في تطبيقات PWA أفضل من RWA. ولذلك أوصى البحث بتشجيع المؤسسات على اعتماد تطبيقات الويب التقدمية في مشاريع التطوير، مع توخي الحذر وفحص الاحتياجات بعناية لاختيار النموذج الأكثر تناسبًا مع متطلبات المشروع (Chavan et al., 2022).

هدفت الدراسة التي قام بها **بيتكو Petcu وآخرون (٢٠٢٣)** إلى استكشاف التحولات التي شهدتها التطبيقات على مر الزمن، انطلاقًا من التطبيقات الأصلية ثم التطبيقات المبنية على الويب، ثم التطبيقات الهجينة وصولاً إلى التطبيقات التقدمية. وتعتمد منهجية البحث على تحليل تاريخي وتتبع تطورات التكنولوجيا، مما يسمح بفهم العوامل التي ساهمت في هذا التطور. أثمرت جهود الباحثين عن نتائج مهمة، حيث تم تسليط الضوء على تغير الاستخدامات والتطبيقات والاستراتيجيات على مر السنين. أظهرت الأرقام الموجودة في نتائج البحث أن الانتقال من التطبيقات الأصلية إلى التطبيقات التقدمية كان مصحوبًا بتحولات كبيرة في تفاعل المستخدمين مع التطبيقات وكذلك في مدى قدرتها على تلبية احتياجاتهم. وتوصلت الدراسة إلى استنتاجات تبرز أهمية التكنولوجيا والابتكار في تحسين تجربة المستخدم وتلبية متطلباته. وأن التحول إلى التطبيقات التقدمية يتطلب تخطيطًا وتنفيذًا دقيقًا، حيث ترى الدراسة أن فوائد هذا التحول تجعله مسعى جديرًا بالاهتمام للعديد من المؤسسات. كما أوصت الدراسة بأهمية الاستمرار في البحث والتطوير لضمان مواكبة التطبيقات للتحديات المستمرة والمتغيرة في بيئة تكنولوجية متطورة (Petcu et al., 2023).

يُقدم **بحث سروارعلي وآخرون (٢٠٢٣)** نظرة شاملة حول تطبيقات الويب التقدمية، حيث يهدف البحث إلى فحص الدور المحتمل الذي قد تلعبه تطبيقات الويب التقدمية كبديل للتجارب التقليدية على الهواتف المحمولة والويب، مع التركيز على الابتكارات التكنولوجية والفوائد المحتملة التي تقدمها. استخدم الباحثون منهجية تحليلية لاستعراض مزايا وعيوب تطبيقات الويب التقدمية، كما تم تحليل الدور الذي تلعبه تطبيقات الويب التقدمية في تحسين تجربة المستخدم والتغلب على القيود الموجودة في تصفح الهاتف المحمول والتطبيقات الأصلية. حيث قدم البحث معطيات تعزز فهم أداء هذه التطبيقات وكفاءتها بالمقارنة مع التقنيات التقليدية. أظهرت نتائج البحث تفوق واضح في أداء تطبيقات الويب التقدمية في مجالات مثل سرعة التحميل والاستجابة، مما يبرز إمكانياتها في تحسين تجربة المستخدم. بناءً على النتائج، قدم البحث توصيات حول استخدام تطبيقات الويب التقدمية كبديل للتقنيات

التقليدية، مع التأكيد على أهمية استمرار البحث والتطوير للحفاظ على تحديث التقنيات وتلبية تطلعات المستخدمين (Ali et al., 2023).

٢/٢/٢ دراسات تتعلق ببناء تطبيقات الويب التقدمي

هدفت الدراسة التي أُجراها **كيسو انتو Kiswanto وآخرون ٢٠٢٠** إلى تصميم سجل رقمي E-log Book لتسجيل عمليات صيد الأسماك في جميع أنحاء إندونيسيا باستخدام تقنية PWAs وذلك من أجل تحسين عمليات مراقبة صيد الأسماك في إندونيسيا لصالح الحفاظ على النظم البيئية البحرية، يحتوي هذا التطبيق على واجهتين للعرض، وهي مخصصة لمسؤولي الموانئ لمراقبة تقارير البيانات، وللصيادين من أجل إدخال بيانات تقارير الصيد. ويحتوي هذا التطبيق أيضًا على ميزة تحديد الموقع الجغرافي التي يمكنها مراقبة إحداثيات سفن الصيد في كل مرة يقومون فيها بتحميل تقرير عن كميات الصيد الخاصة بهم، لتقليل حدوث الصيد غير القانوني دون إبلاغ ودون تنظيم، وبحيث يمكن الوصول إلى هذا التطبيق حتى في ظروف الشبكات غير المستقرة. ومن أهم نتائج الدراسة ثبا أن هذا التطبيق جيد جدًا حيث حصل على ٩٢,٨٦ من أصل ١٠٠ درجة. كما تتطلب ميزة نظام تحديد المواقع العالمية (GPS) في التطبيق وجود إشارة إنترنت مستقرة لاسترداد مواقع تقرير الصيد لتكون أكثر دقة. ومن المأمول تطويره حتى يتمكن نظام GPS من العمل على النحو الأمثل (Kiswanto et al., 2020).

ركزت الدراسة العلمية التي أُجريت بواسطة **غوميلار Gumilar وآخرون (٢٠٢١)** على تحسين تجربة التعلم الإلكتروني في مجال لغة البرمجة بايثون باستخدام تطبيق الويب التقدمي. وهدفت الدراسة إلى تحليل تأثير تطبيق الويب التقدمي على تحسين نظم التعلم الإلكتروني، لسد الفجوة في عدم إتاحة نظم التعلم الإلكتروني بدون اتصال بالإنترنت بحيث يتم تعزيز تجربة الطلاب في دراسة لغة البرمجة في أي مكان، مع التركيز على تحسين الأداء وسهولة الاستخدام لتحفيز التعلم الفعّال. تظهر النتائج الرئيسية للبحث، أن تنفيذ تطبيق الويب التقدمي لتطوير نظام التعلم الإلكتروني قد أسهم بشكل إيجابي في تحسين تفاعل الطلاب مع المحتوى التعليمي. وتوصي الدراسة بتكامل تقنيات تطبيق الويب التقدمي مع النظم الحالية للتعلم الإلكتروني لزيادة فعالية وجاذبية التعلم (Gumilar et al., 2021).

اقترح **جيروم Jerome وآخرون (٢٠٢٣)** نظام مبنى على تطبيقات PWA ويوظف تقنيات معالجة اللغات الطبيعية (NLP) والتعلم العميق (DL) لاستخراج البيانات الصوتية وترجمتها إلى نص أثناء الاستشارات الطبية. يُظهر نموذج اختبار النظام أن حجم تثبيت تطبيق الويب التقدمي (١٠٤ كيلوبايت) أصغر بمقدار ٤٢ مرة من تطبيق Android الأصلي (٤,٣٧ ميغابايت).

فيما يتعلق بسرعة الأداء قدمت PWA نتائج متقدمة حيث يعمل التطبيق الأصلي في بيئة Android بعد ١٤٠٨ مللي ثانية من التشغيل، بينما يقوم تطبيق الويب التقدمي بتشغيل التطبيق خلال ٢٣٠ مللي ثانية، مع ذلك ترى الدراسة أنه حتى الآن لا توجد تقنية تعتبر متفوقة بشكل لا لبس فيه على التقنيات الأخرى. لكن تؤكد الدراسة أن تطوير تطبيقات الويب التقدمية تتمتع بميزات أفضل من تطوير التطبيقات الأصلية لذا توصي المطورين باعتماد هذه التقنية لتطوير التطبيقات لما لها من مكاسب ضخمة (Jerome C et al., 2023).

عمدت **دراسة الفاث Alfath وآخرون (٢٠٢٣)** إلى تطوير نموذج أولى لتطبيق يهدف إلى تحسين مهارة القراءة السريعة باللغة الإنجليزية باستخدام تقنية (PWA)، أطلق على النموذج "Speed Reader" حيث يهدف إلى تسهيل ممارسة القراءة السريعة الصامتة باستخدام المواد الإنجليزية وتحسين تفاعل المستخدم وقابليته للتعلم. أظهرت اختبارات التقييم توافق التطبيق مع كافة الأجهزة المحمولة والمتصفحات. حققت كل وظيفة معدل صلاحية ١٠٠٪ في اختبار الأداء. علاوة على ذلك، كشف اختبار الكفاءة عن وقت إنجاز يبلغ ٠,١٥٦ مهمة في الثانية. وأسفرت تقييمات رضا المستخدمين، التي أجريت باستخدام اختبار System Usability Scale (SUS)، عن درجة ٨٤، وتصنيفها على أنها درجة B وتعتبر مقبولة. ويمكن الاستنتاج أن التطبيق حقق أهدافه بنجاح (Alfath et al., 2023).

ركزت دراسة **هيرمان Herman وفريدريك Frederick في (٢٠٢٣)** على تطوير تطبيق ويب تقدمي باستخدام تقنيات React.js وطريقة scrum وأيضًا تحليل مدى قبول المستخدمين لتطبيقات الويب التقدمية من خلال المقابلات النوعية القائمة على نموذج النظرية الموحدة لقبول واستخدام التكنولوجيا Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) للطلاب ومحاضري علوم الحاسب الآلي بجامعة باتام الدولية Universitas Internasional Batam. تظهر نتيجة هذه الدراسة، بناءً على نقاط UTAUT، أن ردود الفعل إيجابية تجاه قبول تطبيقات الويب التقدمية. ومع التطور السريع للويب والمتصفحات، من المحتمل أن يكون لتطبيقات الويب التقدمية مستقبل واعد. أوصت الدراسة بمزيد من تحليل وجهات نظر أكثر تنوعًا (مثل الأطفال، والبالغين، والمسنين، وما إلى ذلك) والمزيد من الأبحاث المتعلقة بالأمان في استخدام تطبيقات الويب التقدمية (Herman & Frederick, 2023).

٣/٢/٢ دراسات تتعلق باختبار وقياس أداء التطبيقات

أجرى **الباحثان روميليوتيس Roumeliotis وتسيليكاس Tselikas (٢٠٢٢)** مراجعة متعمقة لإمكانيات الوصول التي توفرها تطبيقات PWA خاصة بالنسبة للأشخاص ذوي الاحتياجات

الخاصـــة، تم جمع وتحليل عينة تمثيلية مكونة من ٢٠ تطبيق PWA و٢٠ موقعًا إلكترونيًا تقليديًا، ثم تم مقارنة هذه التطبيقات والمواقع بواســطة ١٠ أدوات لتقييم إمكانية الوصــول. أظهرت النتائج تقدمًا كبيرًا في توافق إرشــادات إمكانية الوصــول للتطبيقات التي اعتمدت بنية PWA. وأن PWAs تشــكل تقنية جديدة تقدم ريادة في الأداء وتحســين محرك البحث وإمكانية الوصول (Roumeliotis & Tselikas, 2022).

تقارن **دراسة جاجاثا Jagatha وآخرون (٢٠٢٣)** بين البنية والأداء لتطبيقات الويب التقدمية (PWAs) والتطبيقات الأصــلية Native Apps عن طريق تحويل موقع ويب إلى كلا النظامين باســتخدام إطار عمل React. تقوم الدراســة بتقييم التحديات التي تمت مواجهتها والتعديلات التي تم إجراؤها أثناء عملية التحويل وتهدف إلى تزويد المطورين برؤى حول أفضــل الممارســات. تقدم الورقة إرشادات للمطورين لاتخاذ قرارات مستنيرة عند الاختيار بين التطبيقات التقدمية والتطبيقات الأصلية. من نتائج الدراسة أن تطبيقات PWA توفر توافقًا عبر الأنظمة المختلفة ويمكنها تقديم أداء مشــابه بين كافة بيئات التشــغيل الأســاســية، مما يجعلها خيارًا قويًا للمطورين الذين يهدفون إلى إمكانية الوصــول إلى الأجهزة على نطاق واســع. من ناحية أخرى، توفر التطبيقات الهجينة المبرمجة في إطار عمل React تجربة أكثر شــبهًا بالتطبيقات الأصــلية. يجب أن يتم الاختيار بين المنصــتين بمتطلبات المشــروع المحددة، مثل التفضــيلات المعمارية، واحتياجات الأداء، وأهداف تجربة المستخدم. بالإضافة إلى ذلك، تلعب اعتبارات مثل التكلفة والقيود الزمنية وتوافق النظام الأساسي المستهدف دورًا حاسمًا في عملية صنع القرار (Jagatha et al., 2023).

ركزت **دراســة روشــيم Rochim وآخرون (٢٠٢٣)** على مقارنة أداء تكنولوجيا التطبيقات الأصــلية Native والويب Web based والتقدمية PWA في زمن الاســتجابة وذلك باســتخدام ثلاث أدوات اختبار، وهي GTMetrix وLighthouse وChrome DevTool وذلك من خلال عدد مرات الوصــول إلى الصــفحة وفقًا لكمية بيانات ذاكرة التخزين المؤقتة بالإضــافة إلى توفر الشبكة المستخدمة أثناء الاختبار. تظهر نتائج هذه الدراسة أن حجم ملف الصفحة يؤثر على أداء تطبيقات الويب التقدمية. وجاء الحد الأدنى للتطبيق (PWA) بحجم ٢١٧ كيلو بايت مع وقت تحميل الصــفحة ٦٣٨ مللي ثانية، بينما الصــفحة المتوســطة جاءت ٤٣١ كيلو بايت مع وقت تحميل الصــفحة ٦٤٦ مللي ثانية، وعند الوصــول إلى الصــفحات الثقيلة كانت بحجم ٤١٧٠٠ كيلو بايت ووقت تحميل الصــفحة ٥٣٢ مللي ثانية. ولكن ثبت تحســن في الاســتجابة

عند الدخول إلى الصفحة أكثر من مرة حيث يمكن لتطبيق PWA أن يتفوق على أداء الويب الأصلي والويب المحمول إذا تم تحميل صفحة الويب أكثر من مرة (Rochim et al., 2023).

تقارن **دراسة بيرجرين Berggren (٢٠٢٣)** تطبيقات الويب التقدمية (PWA) مع تطبيقات الهاتف المحمول الأصلية Native applications. على الرغم من أن التطبيق الأصلي هو التطبيق الرائد حاليًا، إلا أنه يواجه تحديًا أكثر شمولاً من ذي قبل متمثلة في تطبيق PWA بسبب فعاليته وبساطته. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد الاختلافات الرئيسية بين نوعي التطبيقات، ركز التحليل على إظهار الجوانب الثلاثة الحاسمة، السرعة والأمان ووقت التطوير، أوضحت نتائج الدراسة أن PWA يعمل بشكل أفضل من حيث السرعة عند تحسينه، ولكن تطبيق الهاتف المحمول الأصلي لديه قاعدة وصول أكبر لتنفيذ الميزات (Berggren, 2023).

٤/٢/٢ دراسات تتعلق بتجارب المستخدم

أجرت **الباحثتان دي أندرادي كارديري de Andrade Cardieri وزينا Zaina (٢٠١٨)** دراسة تجريبية على ٨ مشاركين من خلال إجراء تحليل نوعي يقارن تجربة المستخدم أثناء تفاعله مع منصة من ثلاث تطبيقات مختلفة: تطبيق PWA، والمواقع المتجاوبة (RWD)، والتطبيق الأصلي وتم إجراء التجربة في بيئة تشغيل Android فقط. تم تحليل البيانات وفق منظورين، أولاً تم استكشاف وتسجيل تعليقات المشاركين. بعد ذلك، تم فحص تعبيرات وجه المشاركين أثناء التفاعل مع كل تطبيق بهدف تحديد المشاعر التي شعروا بها. وكان من أبرز نتائج الدراسة أنه لا يوجد أي تحيز يشير إلى أن أيًا من النظام الأصلي أو المواقع المتجاوبة وفر تفاعلات أكثر متعة من تطبيق PWA (de Andrade Cardieri & Zaina, 2018).

هدفت دراسة **إلفستروم Elfström (٢٠٢١)** إلى تحديد ما إذا كانت تطبيقات الويب التقدمية تستحق استخدامًا أوسع أو ما إذا كان المستوى المنخفض الحالي للاعتماد له ما يبرره. خلال المشروع، تم إجراء دراستين استقصائيتين. الاستطلاع الأول وجه إلى مطوري تطبيقات المحمول من الشركات في بلدان مختلفة عن أشياء مثل معرفتهم وخبرتهم وآراءهم بشأن PWA. طرح الاستطلاع الثاني أسئلة مماثلة، ولكن تم الرد عليها من قبل المحاضرين في التعليم العالي في السويد فقط. تظهر نتائج هذا المشروع أن متوسط مستوى المعرفة بـ PWA منخفض جدًا وأن آراء المطورين حول هذه التقنية سلبية، وتبين أنه على الرغم من القيود المفروضة على PWA قليلة إلا أنها تعوقها عن تحقيق اعتماد واسع النطاق (Elfström, 2021).

ركزت الدراسة العلمية التي قامت بها **بيرجرين Berggren (٢٠٢٢)** على اختبار تجربة المستخدم للتطبيقات التقدمية. حيث رأت الباحثة أن هناك فجوة في الإنتاج الفكري عن

تجربة المستخدم لهذه الفئة من التطبيقات حيث تظهر الدراسات السابقة أن هناك نقصًا عامًا في الأبحاث حول آراء المستخدمين لها. قامت الدراسة بإجراء اختبار نوعي معتمدة على المقابلة المرجعية مع ٦ طلاب تخصص هندسة بجامعة أوميو Umeå University، طلب منهم تثبيت كل من التطبيق الأصلي لتويتر ومن ثم تثبيت تطبيق PWA لتويتر أيضًا ومن ثم سجلت انطباعاتهم. أظهرت النتائج أن المستخدمين يفضلون عملية التثبيت التقليدية، وأن تثبيت PWA كان أكثر صعوبة وإرباكًا. علاوة على ذلك، تم الكشف عن أن المشاركين لم يكونوا على علم بتطبيقات PWA من قبل، ولم يفهم أي منهم أنه تم تثبيت التطبيق. وبناءً ذلك اقترحت الدراسة ضرورة إجراء مزيد من الأبحاث حول PWAs، وخاصة فيما يتعلق بالمستخدم النهائي وتجربته (Berggren, 2022).

تستكشف **دراسة سوزانتو Susanto وآخرون (٢٠٢٣)** مدى تحسن تجربة مستخدم موقع Omah Wayang Klaten (OWK) من خلال دمج تقنية (PWA) فيه. نظرًا لأن الموقع تم إنشاؤه باستخدام Word Press، فقد تم استخدام واجهة برمجة التطبيقات (API) لتنفيذ العملية، اعتمد الباحثون على طريقة النماذج الأولية كاستراتيجية للتطوير. بعد ذلك، تم تقييم النظام المقترح باستخدام اختبار تجربة المستخدم (UEQ) على ثلاثون (٣٠) مستجيبًا، كما تم قياس أداء التطبيق من خلال أداة Google's Lighthouse وقائمة المراجعة لتحديد جودة PWA. كشف التحليل أن موقع OWK نجح في تنفيذ PWA من خلال WordPress API. واستخدم اختبار UEQ لقياس تجربة المستخدم وأدى تحليل النتائج إلى أن تقنية PWA قد أسهمت بشكل فعال في تحسين سرعة تحميل الموقع واستجابته. كما زادت تجربة المستخدم بشكل واضح، مع تحسين في تفاعل المستخدم مع محتوى الموقع (Susanto et al., 2023).

٥/٢/٢ دراسات تتعلق بتوظيف التقنية في مو اقع المكتبات ومؤسسات المعلومات

عمدت الدراسة العلمية التي أجراها **الباحثان مارزيك Marzec وبيوتروفسكي Piotrowski في عام ٢٠١٨** إلى تقييم جودة مواقع المكتبات الأكاديمية في بولندا ومدى توظيف تطبيقات PWAs فيها. حيث هدف البحث إلى استخدام أداة Lighthouse كوسيلة لتقييم جودة هذه المواقع، بهدف فحص الأداء والتوجيهات التقنية لتحسين تجربة المستخدم. تبنت الدراسة المنهج التحليلي مستخدمة هذه الأداة لتقديم صورة شاملة لمواقع المكتبات الأكاديمية في بولندا. كان من أبرز نتائج الدراسة، أن التحليل الإحصائي المستخدم في الدراسة أظهر تفاوتًا في الأداء والجودة بين المواقع المختلفة. وأن مواقع المكتبات الأكاديمية البولندية واجهت صعوبات في الامتثال لمعايير PWA، ومن نتائج الدراسة أيضًا أن أداة Lighthouse فعالة في تقييم جودة

وأداء مواقع الويب، وأوصت الدراسة بضرورة توجه مواقع المكتبات الأكاديمية البولندية إلى توظيف النهج الجديد ومتمثلة في نموذج تطبيقات الويب التقدمية، وأوصت كذلك بتبني استخدام أداة Lighthouse كجزء من استراتيجيات تحسين تجربة المستخدم للمكتبات الأكاديمية في بولندا (Marzec & Piotrowski, 2018).

ركزت دراسة **أمينُ الدين Aminudin وآخرون (٢٠١٩)** على تصميم مستودع رقمي لمشاريع التخرج بكلية الهندسة بجامعة محمدية مالنج باستخدام تطبيقات (PWAs)، حيث هدفت الدراسة إلى تطوير مستودع لتسهيل وتحسين عمليات تخزين وإدارة مشاريع التخرج بهذه التقنية من أجل تحسين تجربة المستخدم وتوفير وصول فعال لمشاريع التخرج بحيث يمكن الوصول إلى التطبيق في وضع عدم الاتصال، ثم قام الباحثون بإجراء اختبارات أداء على التطبيق باستخدام أدوات قياس بالإضافة إلى قائمة مراجعة، أظهرت النتائج الرئيسية للدراسة أن التطبيق حصل على ٩٢,٤ من ٩٩ درجة حيث حصل على ١٤ من ١٥ متطلب لتنفيذ تطبيقات PWAs توضح هذه النتيجة أن تطبيق PWA يمكن تنفيذه بشكل صحيح على أنظمة مستودعات الأطروحات والمشروعات البحثية ومشاريع التخرج. حيث أسهم بشكل كبير في تسهيل عمليات التخزين وإدارة المشاريع. أوصى الباحثون بتبني PWA في تصميم المستودعات الرقمية لتعزيز الكفاءة وتحسين تجربة المستخدم في إدارة واسترجاع المشاريع والأطروحات بشكل أفضل من النظم التقليدية مثل DSpace أو EPrints (Aminudin et al., 2019).

اعتبر البحث الذي قدمه **الباحثان سينغ Singh ونارايان Narayan (٢٠٢١)** أن التطبيقات التقدمية وسيلة ذكية لبناء تطبيقات للمكتبات الأكاديمية، حيث هدف البحث إلى استكشاف كيف يمكن توظيف تقنية (PWAs) في تطوير تطبيقات تلبي احتياجات المستفيدين من المكتبات الأكاديمية بحيث يُمكن للمستخدمين الوصول إلى خدمات المكتبات من أي مكان دون الاعتماد على المكتبة الفعلية وموظفي المكتبة ودون الحاجة إلى الإنترنت، تتمثل الأهداف الرئيسية للبحث في تحليل إمكانيات تقنية (PWAs) في تحسين تجربة المستخدم وتوفير وصول سلس وفعال للخدمات المكتبية بالإضافة إلى انخفاض تكلفته. وأبرز البحث قدرات تقنية (PWAs) في إحداث تحسينًا ملحوظًا في تجربة المستخدم وأداء التطبيقات. وتطرق البحث إلى فوائد PWA مقارنة بالتطبيقات الأصلية والتطبيقات المختلطة في المكتبات الأكاديمية، وأوصى البحث بضرورة تبني تقنية PWAs كوسيلة ذكية وفعالة لتطوير تطبيقات الويب المحمولة في سياق المكتبات الأكاديمية (Singh & Narayan, 2021).

طور **حميد Hamid وآخرون (٢٠٢٢)** تطبيق فهرس متاح على الخط المباشر OPAC يمكن المستفيدين من الوصول إلى خدمات مكتبة جامعة العلوم الإسلامية مالانج (UMM) دون اتصال بالإنترنت باستخدام تطبيقات الويب التقدمية (PWAs)، ومن ثم هدفت الدراسة لتحليل قدرة تطبيقات PWA على تحسين فهارس المكتبات OPACs لجعلها أكثر فاعلية وكفاءة، مع التركيز على تحسين تجربة المستخدم وأداء الموقع. اعتمد الباحثون المنهج التطبيقي لإجراء الدراسة، ثم تم تقييم تأثير هذه التقنية على مستوى الخدمة وكفاءة الأداء. أظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق تقنية PWA على موقع UMM OPAC للجامعة قد أسهم بشكل كبير في تحسين تجربة المستخدم وتسريع أداء الموقع ومكن المستفيدين من الوصول إلى الفهرس دون اتصال بالإنترنت من أجهزة الهواتف الذكية وأجهزة سطح المكتب، حيث تم استخدام ميزة IndexedDB لحفظ البيانات في المتصفح على الرغم من عدم وجود اتصال وإرسالها بعد إعادة الاتصال بالشبكة. توصلت الدراسة أيضًا إلى أهمية استخدام تقنيات PWA في تطوير مواقع الويب لتحقيق تجربة مستخدم محسّنة حيث تم استيفاء نتائج اختبار الأداء باستخدام طريقة القائمة المرجعية وحصل التطبيق على درجة أعلى من ٩٠ من ١٠٠، أوصت الدراسة بتبني هذه التقنيات في المزيد من تطبيقات المكتبات لتعزيز فعالية الأداء وتحسين تفاعل المستخدم مع الخدمات الرقمية للمكتبات (Hamid et al., 2022).

بينما هدفت دراسة **فوزان Fauzan وآخرون (٢٠٢٢)** إلى رسم خريطة معرفية بممارسات التطبيقات التقدمية من خلال مراجعة منهجية للأدبيات العلمية في الأبحاث التجريبية المنشورة بهذا الموضوع. بغرض تحليل الممارسات والمشكلات التي تواجه هذه التطبيقات، ولقد أجريت الدراسة على ٤٣ دراسة منشورة في الفترة من ١ يناير ٢٠١٥ إلى ٦ نوفمبر ٢٠٢١ من أصل ٣٥٥ ورقة بحثية تم استرجاعها وذلك بعد تطبيق معايير التضمين والاستبعاد المحددة لتحديد الدراسات ذات الصلة. ولقد حددت المراجعة ٣١ ورقة علمية تشتمل على دراسات تجريبية لتطبيقات PWA، وتوصل البحث إلى ست تحديات لتطوير تطبيقات الهاتف المحمول تم حلها بواسطة PWA، وسبعة تحديات تطرحها ممارسة PWA. (Fauzan et al., 2022)

ناقشت الورقة البحثية التي قدمها **باجينار Băjenaru وآخرون (٢٠٢٢)** التحديات التي تواجه حفظ التراث الأدبي الروماني وتقدم نظامًا مبتكرًا يعرف باسم Intellit للتغلب على هذه التحديات. يوفر هذا التطبيق منصة متكاملة مخصصة للأعمال الأدبية والمخطوطات وقواميس الأدب الروماني والعديد من الأعمال الأخرى. وظف الباحثون معايير تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) للاستفادة من ميزاتها المتنوعة في تطوير تطبيق Intellit، كأداة لتحسين

واجهة المستخدم وتحسين تجربة المستخدم في الوصول إلى المحتوى الأدبي أو الثقافي عبر الإنترنت. من خلال (PWAs) أصبح Intellit يتميز بالوصول دون اتصال بالإنترنت، وسرعة التحميل، وتفاعلية عالية، وقدرة على التثبيت على أي جهاز، وهي ميزات يمكن أن تسهم في تعزيز التجربة الرقمية لاستخدامه في مجال الثقافة والتراث. تظهر النتائج الرئيسية، أن منصة Intellit قد حققت نجاحًا في تحسين فعالية الحفاظ على التراث الأدبي الروماني. وتوصي الدراسة بمزيد من تطوير وتحسين نظام Intellit لضمان تكاملها بشكل أفضل مع التطورات التكنولوجية المستقبلية وتعزيز فاعليتها في الحفاظ على التراث (Băjenaru et al., 2022).

ركزت الدراسة التي أجريت بواسطة **أديتونجي Adetunji (٢٠٢٣)** على تطور طرق بيع الكتب عبر العصور، محللاً الانتقال من متاجر الكتب التقليدية إلى تبني تطبيقات الويب التقدمية في متاجر الكتب عبر الإنترنت. حيث يتمثل الهدف الرئيسي للبحث في فهم التحولات في متاجر الكتب عبر الزمن وكيف يمكن لتطبيقات الويب التقدمية تحسين إمكانيات مواقع وتطبيقات متاجر الكتب. اعتمد الباحثون منهجية تاريخية تحليلية لتطور تطبيقات متاجر الكتب على الإنترنت، ويركز التحليل حول الفوائد والتحسينات التي تُحدثها تطبيقات الويب التقدمية، مع تحديد الثغرات التي تمثل نقاط قوة في النموذج المقترح. من أبرز نتائج الدراسة أن استخدام تطبيقات الويب التقدمية في متاجر الكتب عبر الإنترنت يمكن أن يسهم بشكل كبير في تحسين تجربة المستخدم وزيادة كفاءة عمليات البيع. توصي الدراسة بتبني هذه التطبيقات كأداة حديثة للتسويق والبيع عبر الإنترنت، مع التركيز على الحاجة لمزيد من استكشاف وتطوير نموذج PWA لتحسين فعاليته وكفاءته (Adetunji et al., 2023).

٣/٢ تحليل المراجعة العلمية:

يعكس العرض السابق أبعاد أدبيات موضوع تطبيقات الويب التقدمية بوضوح وقد تم تصنيف الدراسات ذات العلاقة ضمن خمسة محاور رئيسة، وباستقراء المراجعة العلمية يتضح ما يلي:

١ أن الإنتاج الفكري العالمي حظي بدراسات متعددة وثرية خاصة في الدول الشرق أسيوية، وتنوعت الدراسات بين دراسات تأصيلية نظرية ودراسات تطبيقية وتجريبية بالإضافة لدراسات قياسات الأداء وتحليل تجارب المستخدمين.

٢ غياب الاهتمام العربي الأكاديمي بتطبيقات الويب التقدمية على كافة المستويات على الرغم من الاهتمام الشعبي وغير الأكاديمي بهذه التقنية ووجود العديد من المدونات العامة أو التقنية

العربية التي تناولتها بالشرح والتوضيح، مما يعكس ضرورة إثراء الإنتاج الأكاديمي العربي بالأبحاث والدراسات المتعلقة بهذا المجال.

٣ أغلب الدراسات اتفقت على أن توظيف PWA حسن من أداء الموقع مقارنة بالتطبيقات الأصيلة والتطبيقات المختلطة وأيضًا التطبيقات المبنية على بيئة الويب.

٤ أغلب الدراسات قدمت توصيات مشتركة بضرورة إجراء مزيد من الدراسات على تحليل تجارب المستخدمين ودعم تطوير هذه التقنية لما لها من فوائد عديدة.

٥ تناولت الدراسات المتعلقة بتوظيف التقنية في المكتبات إمكانية دمج التقنية مع نظم المكتبات مثل الفهارس OPAC أو نظم إدارة المستودعات الرقمية مثل DSpace مما يوفر فرصًا إضافية للمستفيدين.

تأسيسًا على ما سبق فإن الدراسة الحالية تأتي بأهمية كبيرة لعدة أسباب، أولًا لأنها تشكل نقطة بينية بين محاور الدراسات ذات العلاقة حيث عمدت الدراسة الحالية إلى التأصيل النظري للتقنية بوصفها أول دراسة عربية – على حد علم الباحثة – في هذا الموضوع، بالإضافة إلى قيام الدراسة الحالية بتنفيذ تطبيق PWA لوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية، ومن ثم قياس أداء التطبيق وأخيرًا تحليل تجربة المستخدم. ثانيًا تتميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة في البيئة التي أجري فيها تحليل تجربة المستخدمين والتي تختلف اختلافًا جذريًا عن البيئات السابقة وهو ما يُشكل تكامل مع النتاج الفكري العالمي في أدب الموضوع خاصة أن أغلب الدراسات السابقة أوصت بتحليل تجربة المستخدم في بيئات متعددة وهذا من شأنه أن يُعزز مكانة الدراسة الحالية ضمن أدبيات الموضوع محل الدراسة.

٣ تطبيقات الويب التقدمية وتوظيفها في مؤسسات المعلومات

١/٣ مفهوم تطبيقات الويب التقدمية:

تقنية تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) ليست نظامًا محددًا أو منتجًا معينًا، بل هي مجموعة من المفاهيم والتقنيات المتكاملة لتحسين تجربة المستخدم عبر الويب. ولقد ظهر مصطلح PWA لأول مرة في عام ٢٠١٥ عندما قام اليكس راسل Alex Russell وفرانسيس بريمان Frances Berriman بصياغة المصطلح في مدونة نشرت على الإنترنت تطرح الأفكار الأولية لتنفيذ مفهوم التطبيقات التقدمية. ووصفا في هذه المدونة تطبيقات PWAs كتطبيقات تقدم تجربة مستخدم شبيهة بتلك المتاحة في التطبيقات الأصلية مع التأكيد على ضرورة تميزها بمجموعة من الصفات الأساسية بما في ذلك أنها تطبيقات تقدمية وسريعة الاستجابة ومستقلة وآمنة وقابلة للاكتشاف وللتثبيت المباشر (Petcu et al., 2023, pp. 258–259).

وفي هذا الإطار سعت الدراسة إلى وضع تعريف إجرائي لتطبيقات الويب التقدمية حيث ترى بأنها

«تطبيقات مبنية في بيئة الويب توفر تجربة استخدام مشابهة للتطبيقات الأصلية Native Apps دون الحاجة إلى تثبيتها من خلال متاجر التطبيقات حيث يمكن الوصول إليها من خلال المتصفح، ويتم إنشاء هذه التطبيقات باستخدام تقنيات الويب المعروفة مثل لغات HTML وCSS وJavaScript وإطار عمل WebAssembly. وتعتمد معماريتها على تقنيات حديثة مثل نموذج هيكل التطبيق App Shell Model، وعمال الخدمة Service Workers، وملف التكوين Web App Manifest؛ وذلك لتمكين المستخدم من التفاعل معها في ظروف الاتصال بالإنترنت غير المستقرة وكذلك لدعم تكاملها مع مختلف المتصفحات ونظم التشغيل والأجهزة المختلفة دون الحاجة لتصميم تطبيق يتناسب مع كلٍ منها، ويتم تقديم تلك التطبيقات في بيئة مؤمنة بفضل اعتمادها على بروتوكول أمان طبقة النقل Transport Layer Security (TLS).» (Bachri et al., 2023, pp. 304; Ignacio & Punzalan, 2023, p. 4)

٢/٣ تاريخ ومستقبل تطبيقات الويب التقدمية:

شهدت تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) منذ عام ٢٠١٥ حتى يومنا هذا تطورات متلاحقة وقطعت خلال العشر سنوات الماضية مسافةً طويلةً، وبطبيعة الحال لم تكن التطبيقات التقدمية وليدة اللحظة، بل إن لها جذور تعود إلى بداية نشأة الإنترنت، ولذلك عمدت الدراسة إلى تصميم خط زمني يبرز رحلة التطبيقات التقدمية ضمن الخريطة الزمنية لتطور الويب وتطور تطبيقاته خاصة التي كان لها مردود واضح على التطبيقات التقدمية (Valkonen, 2019, pp. 3–6)، وجدول رقم (٢) يبرز المعالم المهمة في تاريخ تطبيقات الويب التقدمية على مدى الفترة من أوائل التسعينات حتى بداية عام ٢٠٢٤.

جدول رقم (٢): خط زمني لأبرز معالم رحلة تطبيقات الويب التقدمية

م.	الفترة الزمنية	الأحداث
١	أوائل ١٩٩٠	بدأ عهد صفحات الويب الثابتة بلغة HTML، والتي كانت في البداية مجرد مستندات نصية، ثم أصبح من الممكن إضافة صور وملفات صوتية وفيديو.
٢	١٩٩٥	ابتكار لغة JavaScript مما ساهم في تسريع تصفح المواقع وأضافت عناصر ديناميكية إلى صفحات الويب.
٣	١٩٩٦	ابتكار Macromedia Flash (حاليًا معروفة بـــ Adobe Flash)، والذي سمح بإثراء صفحات الويب بالرسوم المتحركة ونمو ألعاب الفيديو التفاعلية.

م.	الفترة الزمنية	الأحداث
٤	١٩٩٩	ظهر مفهوم تطبيق الويب في لغة الجافا، وأصبحت تستخدم في برمجة بعض تطبيقات الويب.
٥	٢٠٠٥	ابتكار Ajax مما يسمح بإمكانية العمل على متصفحات الويب بطريقة مشابهة للعمل على سطح المكتب.
٦	٢٠٠٧	ظهور التطبيقات الأصلية على يد Apple، وبدأ استخدامه في أجهزة iPhone.
٧	٢٠١٠	ابتكار التصميم المتجاوب Responsive Web Design.
٨	٢٠١٤	ابتكار لغة HTML5 التي طورت معايير HTML بحيث دعمت إضافة أنواع الوسائط المتعددة الجديدة وإنشاء تطبيقات الويب المستقلة عن المتصفحات والمنصات.
٩	٢٠١٥	**ابتكار تطبيقات الويب التقدمية PWAs على يد اليكس راسل وفر انسيس بريمان**
١٠	٢٠١٦	تبنت شركة Google التقنية واعتمدت PWA كمعيار جديد لتطوير الويب.
١١	٢٠١٧	أعلنت شركة Microsoft عن دعمها لتقنية PWA.
١٢	٢٠١٨	اعتمدت شركة Microsoft تقنية PWA كمعيار. أعلنت شركة Apple عن دعمها لتقنية PWA. مكنت شركة Microsoft من إضافة PWA إلى متجر Microsoft store. (Pflug et al., 2018)
١٣	٢٠١٩	طورت شركة Google معيار نشاط الويب الموثوق Trusted Web Activity، بحيث تمكن من دمج PWAs مع تطبيقات Android على متجر Google play.
١٤	٢٠٢٠	تحول Microsoft Edge إلى استخدام محرك Chromium، مما أدى إلى إمكانية تثبيت تطبيقات PWA على نظام التشغيل Windows.
١٥	٢٠٢١	دمج الكاميرا والتحكم الصوتي مع تطبيقات PWA، وتقنية QR Code، بالإضافة إلى إطلاق ميزة ظهور إشعار بأن الموقع له تطبيق PWA عند الدخول إليه.
١٦	٢٠٢٢	تطورات بالجملة في تحسين تطبيقات PWA، مع ميزات مثل الوضع الداكن وتباين الألوان وحجم الخط. ساعدت هذه الميزات المستخدمين ذوي التفضيلات والقدرات المختلفة على الاستمتاع بتطبيقات PWA، وأصبحت متاحة لفئات أوسع من المجتمع تشمل ذوي الاحتياجات الخاصة.
١٧	٢٠٢٣	تم دمج PWAs مع تقنيات الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR). تمكين PWAs من استخدام كاميرا الجهاز وأجهزة الاستشعار لاستخدام البيئات ثلاثية الأبعاد واستكشافها. أعلنت Microsoft عن دعم PWAs على Xbox، مما يسمح بتوزيعها من خلال متجر Xbox. وقد مكّن ذلك اللاعبين من الوصول إلى الألعاب مع ميزات مثل دعم وحدة التحكم والإنجازات وتعدد اللاعبين.

م.	الفترة الزمنية	الأحداث
١٨	٢٠٢٤	دعمت Apple الإشعارات الفورية والمزامنة في الخلفية في Safari، مما يمكّن تطبيقات PWA من إرسال التحديثات في الوقت المناسب والعمل بسلاسة حتى عند إغلاق التطبيق. توجه لدمج التقنية مع قطاعات إنترنت الأشياء IoT.

يتضح من العرض الزمني السابق، أن التطبيقات التقدمية متبناه بشكل أساسي من شركة Google، على الرغم من أن جميع الشركات العالمية الأخرى تدعمها من الناحية الفنية (‘The PWA Book’, 2023; Uryutin, 2018). ومع ذلك شهد عام ٢٠٢٣ دفعة كبيرة في دعم هذه التطبيقات من شركتي Apple وMicrosoft، وهذه إشارة واضحة إلى أن تقنية PWA تسير بقوة وتعزز مكانتها في سوق التكنولوجيا لعام ٢٠٢٤. ففي وقت سابق من عام ٢٠٢٣ أعلنت شركة Apple التزامها بتقنية PWA في إصدار iOS 16. ودعمت ميزة إرسال الإشعارات من تطبيقاتPWA. كما أضافت أيضًا واجهة برمجة لمتصفحات iOS/iPadOS تتيح ميزة "الإضافة إلى الشاشة الرئيسية". كما أعلنت بأن الإصدارات القادمة من Safari 17 وMacOS Sonoma سوف تقوم باحتضان أوثق لتقنية PWA وسوف تتضمن عددًا من الميزات والتحسينات المهمة. من ناحية أخرى، جاء دعم مايكروسوفت للتقنية في عام ٢٠٢٣ على مستوى الأعمال وليس على المستوى التقني فقط. حيث أعلنت في أغسطس ٢٠٢٣ عن اتاحة الفرصة لمستخدمي أداة PWABuilder الصادرة عن مايكروسوفت لنشر تطبيقات PWA على المتجر مجانًا. كما قامت الشركة بإجراء تحديث شامل لوثائق تطوير PWA (Pękala, 2023).

بالإضافة إلى ذلك فإن عمليات تحسين قدرات تطبيقات PWA تجرى على قدمًا وساق حيث يتم تطوير دعم تحديد الموقع الجغرافي ودعم الاتصال بالبلوتوث والتعرف الصوتي وهو خطوة مهمة خاصة في ظل التطورات الجارية في الذكاء الاصطناعي ومعالجة اللغة الطبيعية، وكذلك هناك توجه واضح في الدراسات البحثية على دمج تقنية PWA ضمن مظلة تقنيات IoT حيث يوجد العديد من الدراسات الناشئة تتناول هذا التوجه الجديد (Sachin et al., 2023; de la Calle Alonso et al., 2023; Caisapanta Analuisa, 2023).

وتعد كل هذه العلامات إشارات واضحة على أن صناع القرار في الشركات العملاقة مثل Google وApple وMicrosoft بالإضافة إلى الباحثين الأكاديميين يتوقعون مستقبلًا مشرقًا لتطبيقات PWA.

٣/٣ خصائص تطبيقات الويب التقدمية:

من العرض السابق يتضح أن تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) تتميز بمجموعة من الصفات والخصائص التي تميزها عن باقي التطبيقات وتجعلها أكثر قوة وفاعلية. ومن بينها:

١ **التقدمية Progressive:** القدرة على العمل بشكل جيد عبر مختلف الأنظمة مثل Android, iOS, Windows، وكذلك متوافق مع جميع المتصفحات مثل Chrome، Firefox.

٢ **سرعة الاستجابة Response speed:** التحميل الفوري والاستجابة السريعة، مما يحسن تجربة المستخدم.

٣ **التجاوب Responsiveness:** يمكن للمستخدمين الوصول إلى جميع الميزات وعرض التطبيق PWA بكامل هيكله على أي حجم من الشاشات.

٤ **الاتصال المستمر:** تطبيقات الويب التقدمية معززة بتقنية عمال الخدمة Service Workers مما يسمح للتطبيق بالعمل بشكل كامل أو جزئي حتى عندما يكون المستخدم خارج نطاق الاتصال بالإنترنت.

٥ **التشابه مع التطبيقات الأصلية**: استخدام نموذج App-shell وفر واجهة مستخدم تشبه التطبيقات الأصلية Native.

٦ **التحديث الدائم:** تطبيقات PWA تحدث بشكل فوري بفضل استخدام عمال الخدمة Service Workers، دون الحاجة إلى تنزيل إصدارات جديدة من متجر التطبيقات.

٧ **إرسال الإشعارات Push Notifications:** إمكانية إرسال إشعارات فورية للمستخدمين للإعلام بالمحتوى الجديد.

٨ **مساحة تخزين ضئيلة:** تستهلك تطبيقات الويب التقدمية مئات من الكيلوبايت فقط من مساحة التخزين على العكس منها تحتاج التطبيقات الأصلية إلى مساحة تخزين كبيرة.

٩ **الاتصال الآمن Secure Connections:** يتم إتاحة تطبيقات PWA عبر TLS لمنع التطفل والتأكد من عدم التلاعب بالمحتوى. ويتميز PWAs بالاتصال الآمن عبر بروتوكول HTTPS لضمان أمان المعلومات المنقولة.

١٠ **قابلة للاكتشاف وصديقة لمحركات البحث:** قابلية الفهرسة وتحسين تهيئة الموقع لمحركات البحث (SEO)، مما يزيد من فرص اكتشاف التطبيق. وذلك بفضل توفر بيانات W3C التي تسمح لمحركات البحث بالعثور على هذه التطبيقات.

١١ **قابلية وسهولة التثبيت:** يسمح للمستخدمين بالاحتفاظ بالتطبيقات التي يجدونها مفيدة للغاية على شاشتهم الرئيسية دون الحاجة إلى زيارة متجر التطبيقات.

١٢ **الوصول المباشر:** إمكانية الوصول إلى التطبيق عبر الرابط المباشر دون الحاجة إلى التوجه إلى متجر التطبيقات.

تلك الصفات والخصائص تجعل من تقنية PWA حلاً مبتكرًا وفعّالًا لتطوير تطبيقات الويب بما يضمن تقديم تجربة جذابة ومتقدمة للمستخدمين. (Ali et al., 2023, pp. 567-579; Mhaske et al., 2018, p. 310)

٤/٣ مكونات تطبيقات الويب التقدمية Components of PWA:

تقنية تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) تتكون من عدة تقنيات تساهم في جعل التطبيقات أكثر تشابهًا مع التطبيقات الأصلية، وتعمل على تحسين تجربة المستخدم وتعزيز كفاءة وأداء التطبيق، وفيما يلي المكونات الرئيسية للتقنية:

١ نموذج هيكل التطبيق App Shell Model:

نهج لتصميم تطبيقات الويب ويُعد App Shell مكون أساسيًا في تطبيقات PWA، يتلخص دوره الأساسي في فصل الواجهة الأمامية للتطبيق عن البيانات. ثم يتم تخزين هيكل التطبيق والمحتوى الثابت للتطبيق في الذاكرة المؤقتة على الجهاز، تتضمن المعلومات التي يتم اختزانها عناصر مثل شريط التنقل والصفحة الرئيسية وأزرار التنقل، والمحتويات الأخرى التي تظل ثابتة عبر كافة صفحات التطبيق. والبيانات المخزنة عادةً تشتمل على HTML، والحد الأدنى من عناصر CSS، وJavaScript. من خلال تخزين هذه العناصر بواسطة نموذج App Shell، يمكن توفير هيكل أساسي لتطبيق PWA دون اتصال بالإنترنت. ويعمل هذا الأسلوب على تقليل وقت تحميل التطبيق بشكل كبير، مما يضمن إمكانية وصول المستخدمين إلى الميزات الأساسية حتى في حالة الاتصال المنخفض أو المعدوم (Olowoniyi, 2023, p. 18; Adetunji et al., 2023, pp. 386–387).

٢ عامل الخدمة Service Worker: (تقنية أساسية):

يُعد عامل الخدمة نوعًا من السكربتات الخلفية Script أي التي تستمر في العمل حتى بعد إغلاق التطبيق. كما أنها تعمل بشكل منفصل عن التطبيق نفسه، حيث تقوم بالتحكم في الشبكة وتخزن الطلبات والاستجابات المتكررة في الذاكرة المؤقتة مما يحسن من سرعة استجابة التطبيق وتمكنه من العمل حتى في حالة عدم الاتصال بالإنترنت، وكذلك تتيح لتطبيق PWA إرسال إشعارات للمستخدمين، حتى عندما يكونون خارج التطبيق. وكذلك تسمح Service Workers بتحديث التطبيق بشكل آلي، مما يتيح للمستخدمين الاستفادة من أحدث الإصدارات دون الحاجة لإعادة تحميل التطبيق (Josephe et al., 2023, p. 3).

٣ ملف التكوين Manifest File:

يحتوي ملف Web App Manifest على بيانات التطبيق، وتكون منظمة بتنسيق JavaScript Object Notation (JSON)، ويعتبر JSON تنسيق لتبادل البيانات يعتمد على النصوص ويكون سهل القراءة للإنسان وسهل التحليل للأجهزة. ويقدم وصف للتطبيق، ويوضح جدول رقم (٣) أكواد ملف التكوين ووصفها:

جدول رقم (٣): أكود وخصائص ملف التكوين Manifest File (Rochim et al., 2023, p. 39; Roumeliotis & Tselikas, 2022, p. 355)

م.	الخاصية	الكود	الوصف
١	اسم التطبيق	name	يحدد اسم التطبيق عند طلب تثبيته
٢	الاسم المختصر	short_name	يحدد اسم التطبيق الذي يظهر أسفل أيقونة التطبيق في الصفحة الرئيسية.
٣	أيقونة التطبيق	icons	تعرض أيقونات التطبيق بأحجام مختلفة. يجب تضمين نوعها وأحجامها.
٤	رابط بدء التطبيق	start_url	تحدد للمتصفح عنوان URL الذي يفتح عند تشغيل التطبيق.
٥	لون الخلفية	background_color	تحدد هذه الخاصية لون خلفية التطبيق.
٦	العرض	display	تحدد خيار العرض: ملء الشاشة، ومستقل، والحد الأدنى، والمتصفح. يعرض كل خيار من هذه الخيارات التطبيق بشكل مختلف.
٧	المجال	scope	تحدد نطاق التنقل بين صفحات التطبيق.
٨	لون القالب	theme_color	تحدد هذه الخاصية لون شريط الأدوات.
٩	الاختصار	shortcuts	هذه الخاصية عبارة عن مجموعة من كائنات اختصارات التطبيق التي تهدف إلى توفير وصول سريع إلى المهام الرئيسية داخل التطبيق. لكل رمز، يجب تضمين قيم الاسم و URL.
١٠	الوصف	description	وصف يوضح طبيعة ووظائف التطبيق.
١١	لقطات الشاشة	screenshots	هذه الخاصية عبارة عن مجموعة من الصور التي تمثل التطبيق كلقطة شاشة في سيناريوهات الاستخدام الشائعة.
١٢	اتجاه التطبيق	orientation	يحدد طريقة عرض التطبيق مثل Landscape أو Portrait.

ويُستخدم ملف JSON بشكل رئيسي لغرض تحديد كيفية تثبيت التطبيق على الجهاز، وبدون هذا الملف لن يكون من الممكن تنزيل تطبيق الويب واستخدامه كتطبيق PWA (Ali et al., 2023, p. 569).

٤ التخزين المؤقت Caching:

التخزين المؤقت يسمح بتخزين نسخة من موارد الموقع، مثل الهيكل والصور والملفات والنصوص، على أجهزة المستخدمين. ويعمل التخزين المؤقت على تحسين الأداء والوظائف في حال عدم اتصال الإنترنت، كما أنه يقلل من وقت التحميل واستهلاك النطاق الترددي للموقع. ويوجد (٥) استراتيجيات للتخزين المؤقت، وهي:

أ. الوصول إلى الشبكة أولا، ثم ذاكرة التخزين المؤقت Network first, then Cache: وهذه الاستراتيجية تمكن المستخدم من الوصول إلى خادم الموقع، وإذا كان المستخدم متصل بالإنترنت، فإن الموقع يستجيب لطلبه بعرض المعلومات المطلوبة وكذلك يقوم بتحديث ذاكرة التخزين المؤقت. إذا فشل في الوصول إلى الإنترنت، يتم تحويل الطلب إلى ذاكرة التخزين المؤقت.

ب. ذاكرة التخزين المؤقت أولا، ثم الشبكة Cache first, then Network: تبحث هذه الإستراتيجية عن الاستجابة في ذاكرة التخزين المؤقت أولاً، وإذا تم العثور على الطلب مخزن مسبقًا في ذاكرة التخزين المؤقت، تسمح له بالوصول إليه (وتنهي العملية). إذا لم يكن الأمر كذلك، يتم الربط بالإنترنت للوصول للموقع وجلب المحتوى المطلوب وتقديمه للمستخدم ثم تخزينه مؤقتًا للمستقبل.

ج. إعادة التحقق Stale While Revalidate: تتحقق هذه الإستراتيجية من طلب المستخدم في ذاكرة التخزين المؤقت. إذا كان متوفرًا، فسيتم تسليمه، وكذلك تقوم تلقائيًا بإعادة التحقق من حداثة ذاكرة التخزين المؤقت. إذا لم تكن محدثة UpToDate، يقوم عامل الخدمة بجلب المحتوى المحدث من الشبكة وتخزينه مؤقتًا.

د. ذاكرة التخزين المؤقت فقط Cache only: تستجيب هذه الإستراتيجية لطلب المستخدم من ذاكرة التخزين المؤقت فقط. ولا تعود إلى الشبكة. (حتى في حالة عدم حداثة المحتوى)

هـ. الشبكة فقط Network only: تستخدم هذه الإستراتيجية الشبكة فقط لجلب الطلبات ولا تعود إلى ذاكرة تخزين مؤقت (Karavashkin et al., 2023).

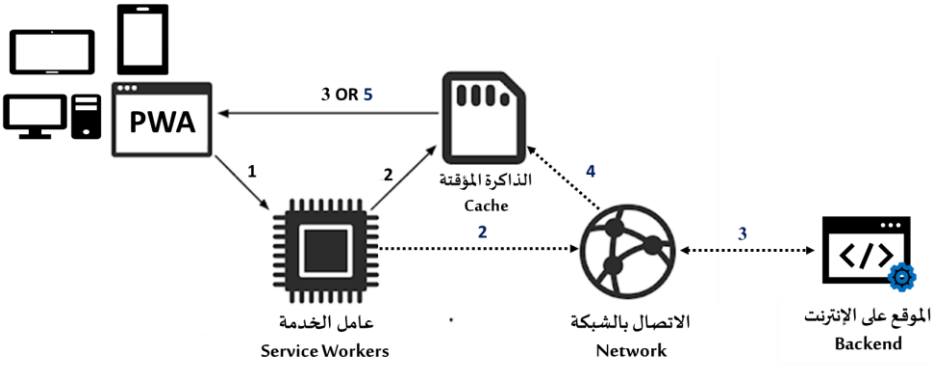
وجدير بالذكر بأنه حديثًا تم تمكين ذاكرة التخزين المؤقتة من خلال عامل الخدمة بتخزين ليس فقط المحتوى الثابت (الستاتيكي) ولكن أيضًا المحتوى الديناميكي Dynamic Content ويتم تحديثه أولًا بأول وفق الاستراتيجيات السابقة (Karavashkin et al., 2023)، ومن المميزات الهامة أيضًا أنه يمكن التخزين المؤقت للصفحات الخارجية External pages المرتبطة بالتطبيق.

٥ بروتوكول أمان طبقة النقل Transport Layer Security (TLS):

بروتوكول TLS هو معيار أمن لنقل البيانات بشكل موثوق بين تطبيقين أو بين التطبيق والخادم. يتطلب أمن البيانات استخدام بروتوكول HTTPS وتثبيت شهادة SSL على الخادم. لابد أن تكون جميع تطبيقات PWA مدعمة ببروتوكول أمان طبقة النقل (TLS) حيث يوفر الأمان من خلال طلب المصادقة بين الطرفين، ويشفر جميع البيانات، ويكتشف ما إذا تم تعديل أي بيانات أو إتلافها أثناء النقل. ويُعد HTTPS مطلبًا مهمًا لتطبيقات الويب التقدمية لأنه يوفر تجربة مستخدم أكثر أمنًا وموثوقية؛ بدون استخدام بروتوكول HTTPS سوف يقتصر التطبيق على نطاق محدود من الميزات (Ali et al., 2023, p. 571; Adetunji et al., 2023, p. 387).

٥/٣ معمارية تطبيقات الويب التقدمية PWA Architecture:

يوضح الشكل رقم (٥) طريقة عمل تطبيقات الويب التقدمية وتدفق البيانات والعمليات عند التعامل من خلاله، عندما يقوم مستخدم التطبيق بفتح PWA من على أي جهاز (سطح مكتب - هاتف ذكي - جهاز لوحي) يقدم التطبيق طلبًا لجلب المحتوى من خادم موقع الويب Backend، يذهب الطلب بدلاً من ذلك إلى عامل الخدمة Service Workers أولًا. حيث يتحقق عامل الخدمة من وجود المحتوى في ذاكرة التخزين المؤقت Cache؛ إذا كان المحتوى المطلوب موجود، يتم إعادته إلى التطبيق مباشرة ولن تكون هناك حاجة للاتصال بالشبكة والوصول لخادم موقع الويب. وعندما لا يكون المحتوى مخزن في الذاكرة المؤقتة (أو انتهت صلاحية ذاكرة التخزين المؤقتة)، ينتقل الطلب إلى خادم موقع الويب عبر الشبكة لجلب المحتوى المطلوب وتخزينه في الذاكرة المؤقتة لاسترجاعه بسرعة وبدون الحاجة إلى الاتصال بالشبكة عند الطلب. (Elfström, 2021, pp. 12-13)



شكل رقم (٥): معمارية تطبيقات الويب التقدمية PWA

٦/٣ مقارنة بين تطبيقات الويب التقدمية وبين التطبيقات ذات العلاقة

تتطور تطبيقات الأجهزة المحمولة من سنة إلى أخرى إما لتناسب احتياجات المستهلكين أو لزيادة الإنتاجية وتبسيط العمل للمطورين. ومع التطور السريع لتقنيات الويب، حدث دمج كبير بين تطبيقات الأجهزة المحمولة وتطبيقات الويب، وأصبحت هناك عدة أنواع من التطبيقات متاحة للمستخدمين النهائيين. من ضمنها ما يلي: **(١) التطبيقات الأصلية Native Apps**، والتي تمتد إلى تاريخ طويل يعود إلى الثمانينيات مع إصدار أول مساعد رقمي شخصي (PDAs) إلا أن ظهور متجر Apple App Store في عام ٢٠٠٨ كان بمثابة تغيير في قواعد اللعبة حيث اكتسبت هذه التطبيقات شهرة واسعة وشعبية كبيرة. **(٢) تطبيقات الويب المحمولة** Mobile Web Applications (MWA)، والتي ظهرت في أواخر التسعينيات مع نمو الإنترنت والأجهزة المحمولة، لكن لم يظهر الاهتمام الملحوظ بها إلا في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين أو نحو ذلك، بعد نجاح Google في تنفيذ التطبيقات المستندة إلى معيار HTML5 وهو معيار ويب يتيح الوسائط الغنية والتفاعل على الويب، دون الحاجة إلى مكونات إضافية أو تنزيلات. ثم ظهرت **(٣) التطبيقات المختلطة أو الهجينة** Hybrid Apps، وهي التي تجمع بين عناصر كل من التطبيقات الأصلية وتطبيقات الويب، ويعود الظهور الأول لها في أوائل عام ٢٠١٠، مع تطوير إطار عمل PhoneGap من شركة Adobe, ومنذ ذلك الحين، ظهرت العديد من إطارات العمل الأخرى مثل React Native وIonic وFlutter وغيرها. **(٤) تطبيقات الويب المتجاوبة** Responsive Web Apps (RWA)، والتي يمكنها التكيف مع أحجام واتجاهات الشاشات المختلفة، مما يوفر تجربة مستخدم مثالية عبر الأجهزة المختلفة. ظهرت في عام ٢٠١٠ مع نشر مقالة عن تصميم الويب المتجاوب من قبل إيثان ماركوت Ethan Marcotte. وأخيرًا، **(٥) تطبيقات الويب التقدمية** PWA، والتي ظهرت في عام ٢٠١٥ مع نشر مقالة عن تطبيقات الويب التقدمية من قبل أليكس راسل وفرانسوا بوفورت كما سبق وأشرنا (Petcu et al., 2023; Ma et al., 2018; Magomadov, 2020, p. 3; Chavan et al., 2022).

يوضح جدول رقم (٤) نتائج مقارنة هذه التطبيقات مع بعضها على شكل قائمة مراجعة، مع الأخذ في الاعتبار القيود والمزايا والعيوب الحالية لكلٍ منها. وفهم طبيعة هذه التطبيقات وكيفية ارتباطها ببعضها البعض وهو أمر مفيد لرسم صورة واضحة للتحديات التي تواجهها، مما يساعد على اتخاذ قرارات مستنيرة عند اختيار أفضل نظام للاعتماد عليه في بناء التطبيق المطلوب. (Elfström, 2021, p. 13; Singh & Narayan, 2021, pp. 9–10)

جدول رقم (٤): مقارنة ميزات تقنيات تطبيقات الهاتف المحمول المختلفة

م.	المعاملات	Parameters	Native	MWA	Hybrid	RWA	PWA
١	متعدد المنصات	Cross-platform	✗	✓	✓*	✓	✓
٢	قابلية التثبيت	Installable	✓	✗	✓	✗	✓
٣	ارسال الإشعارات	Push notifications	✓	✗	✓	✗	✓
٤	تحديد الموقع	GPS enabled	✓	✗	✓	✗	✓
٥	تكلفة التطوير	Development cost	مرتفعة	منخفضة	متوسطة	منخفضة	منخفضة
٦	قابلية الفهرسة	Indexed	✗	✓	✗	✓	✓
٧	قابلية الربط	Linkable	✗	✓	✗	✓	✓
٨	لا يتطلب تحديث يدوي	No manual updates	✗	✓	✗	✓	✓
٩	الأداء	Performance	Fast UI	متوسط**	متوسط**	متوسط**	Fast UI
١٠	يعمل دون اتصال	Offline access	✓	✗	✓	✗	✓
١١	متاح عبر المتاجر	Storefront distribution	✓	✗	✓	✗	✓*
١٢	الوصول إلى API	Full API access	✓	✗	محدود	✗	✓*
١٣	العمل في الخلفية	Background sync	✓	✗	✓	✗	✓
١٤	متوفر بسطح المكتب	Desktop availability	✗	✓	✗	✓	✓
١٥	طبقة الأمان	Security Layer	عالية	متوسطة	متوسطة	متوسطة	عالية
١٦	ميزات الهاتف	Mobile features	✓	✗	محدود	✗	✓***
١٧	تكلفة الصيانة	Maintenance Cost	مرتفعة	منخفضة	متوسطة	منخفضة	منخفضة
١٨	طرق التوزيع	Distribution	App store	URL	App store	URL	URL/ App store

* التطبيقات المختلطة يتم عرضها على منصات متعددة من خلال Webview.

** يتوقف أداء تطبيقات الويب والتطبيقات المتجاوبة على سرعة الاتصال بالإنترنت، بينما يتوقف أداء التطبيقات الهجينة على إطار العمل المستخدم.

*** يتوقف إتاحة PWA عبر المتاجر ومميزات الهاتف على بيئة العمل لأن iOS لا يدعم كافة الإمكانيات.

بشكل عام، نستنتج أن اختيار التطبيقات المناسبة لاحتياج المؤسسة يتطلب تخطيطًا وتنفيذًا دقيقًا، وأن التحول لتنفيذ تطبيقات PWA مسعى جديرًا بالاهتمام من قبل العديد من المؤسسات.

٧/٣ تحديات تطبيقات الويب التقدمية:

رغم كافة مميزات تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) السابق ذكرها فإن هذه الفئة من التطبيقات تواجه بعض التحديات، ومن بينها ما يلي:

١ **عدم دعم المتصفحات القديمة:** تطبيقا PWA تعمل بشكل جيد مع المتصفحات الحديثة ولا تتمتع المتصفحات القديمة بالكثير من الدعم. (Magomadov, 2020, p. 3)

٢ **الميزات المتقدمة غير المدعومة في نظام iOS:** بعض ميزات PWA غير متوفرة حاليًا على نظام iOS ونظام MacOS مقارنة بأنظمة Android وWindows، ومع ذلك، يوجد دعمًا لعامل الخدمة Service Worker، الذي يمثل العمود الفقري لمعظم وظائف PWA.

٣ **قيود في تجربة المستخدم:** نظرًا لأن Apple لا تدعم جميع الميزات المتقدمة لتطبيقات PWA، لذا قد تكون تجربة المستخدم مقيدة في بعض الظروف القليلة. حيث من غير الممكن استخدام Bluetooth أو Siri أو تجربة Face ID أو Touch ID مع تطبيقات PWA على أجهزة Apple حاليًا. (Ali et al., 2023, pp. 573-574)

٤ **صعوبة الفهرسة في متاجر التطبيقات:** إن عدم الاعتماد على متاجر التطبيقات يُعد كأحد مزايا تقنية PWA، ولكنه قد يكون أيضًا عائقًا في سياق مختلف. حيث قد يقلص عدم وجود تطبيقات PWAs في هذه المتاجر من فرص الوصول لها، حيث تعمل متاجر التطبيقات كدليل وفهرس للتطبيقات وتوفر للمستخدمين فرصة للوصول إلى التطبيقات الأكثر صلة وفقًا لبحثهم. وغالبية المستخدمين يبحثون عن التطبيقات مباشرة في هذه المتاجر ، ولهذا السبب قد تفوت المؤسسات التي تقدم تطبيق PWA بدلاً من تطبيق أصلي فرصة الوصول إلى بعض جمهورها المستهدف. وبالتالي، فإن عدم الظهور في متاجر التطبيقات قد يكون عيبًا في بعض الظروف (Magomadov, 2020, p. 3)، ومع ذلك بحلول عام ٢٠١٩ سمحت Microsoft وGoogle بنشر تطبيقات PWAs في متاجرهما، بينما متجر Apple يسمح بنشر بعض تطبيقات PWAs بعد مراجعتها وفق معايير محددة.

٥ **حجب الإعلانات وتتبع البيانات:** تواجه بعض تطبيقات PWAs وليس جميعها تحديات تتعلق بحجب الإعلانات وتقنيات تتبع البيانات، مما يمكن أن يؤثر على عائد الإعلانات.

٦ **ارتفاع استهلاك البطارية:** نظرًا لأن تطبيقات PWA عبارة عن كود ويب مدمج عالي المستوى، فأن الأجهزة قد تعمل بجهد أكبر لقراءة الكود وبالتالي تستهلك طاقة أكثر من التطبيقات الأصلية، ولكن هذا التحدي يخضع لكثير من التطوير حاليًا. وبعض الدراسات تشير إلى أن هذا التحدي ليس محددًا للتطبيقات PWAs فقط، بل هو تحدي يتأثر بشكل عام بتصميم وتنفيذ التطبيقات والخدمات الرقمية. للتغلب على هذا التحدي، يجب على مطوري PWAs تحسين أدائها وتصميمها بشكل فعال لتجنب الأنشطة والتحديثات غير الضرورية التي تستهلك البطارية. وبشكل عام، يجب أن يأخذ في الاعتبار أن هناك العديد من العوامل الأخرى

التي يمكن أن تؤثر على استهلاك البطارية، بما في ذلك كيفية تصميم التطبيق والأداء العام للجهاز. (Ali et al., 2023, pp. 573-574)

على الرغم من هذه التحديات، تتمتع تطبيقات PWAs بالعديد من المزايا مثل الوصول السريع وقابلية العمل دون اتصال بالإنترنت وأغلب هذه التحديات تقوم شركة Google بالعمل عليها وتوفير حلول سريعة لها.

٨/٣ فوائد توظيف تطبيقات PWA على مواقع المكتبات ومؤسسات المعلومات:

في ضوء ما سبق يمكن تلخيص الفوائد التي يتيحها توظيف تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) في المكتبات ومؤسسات المعلومات فيما يلي:

١/٨/٣ فوائد تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) على مستوى المستفيدين:

١ **تحسين تجربة المستخدم:** توفير تجربة مستخدم سلسة ومحسنة عبر مختلف الأجهزة، مما يجعل الوصول إلى المحتوى والخدمات أكثر سهولة وفعالية.

٢ **الوصول إلى التطبيق دون اتصال بالإنترنت:** إمكانية استخدام تطبيقات PWA بشكل كامل أو جزئي حتى في حالة عدم وجود اتصال بالإنترنت، مما يعزز تجربة المستخدم في الأماكن التي قد تكون الاتصالات غير مستقرة أو الضعيفة، وبذلك تحقق تطبيقات PWA أحد أهم مبادئ المكتبات في عصر الإنترنت وهو مبدأ إتاحة الوصول.

٣ **تحسين أداء التطبيق:** سرعة التحميل والاستجابة الفورية تسهم في تحسين أداء التطبيق وجعله أكثر جاذبية للمستفيدين، وذلك بفضل تقنيات التخزين المؤقت Cache.

٤ **توفير مساحة التخزين:** تطبيقات PWA لا تحتاج مساحات تخزين كبيرة على الأجهزة، مما يقلل من المتطلبات التقنية للمستفيدين. حيث تأخذ تطبيقات PWA الحد الأدنى من مساحة التخزين، مما يؤدي إلى تحميل الصفحة الرئيسية فوريًا.

٥ **تحسين أمان المستفيدين:** توفر تطبيقات PWA بيئة آمنة ومشفرة للمستخدمين، مع قدرة تحديثات الأمان التلقائية التي تعزز استقرار وأمان التطبيق، خاصة أن من متطلبات PWA استخدام بروتوكول HTTPS.

٢/٨/٣ فوائد تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) على مستوى المكتبات ومؤسسات المعلومات:

١ **انخفاض تكلفة التطوير:** ميزانية المكتبات عادةً ما تكون محدود للغاية، لذلك اختيار PWA بدلاً من التطبيقات الأصلية يقلل من التكاليف غير الضرورية مثل بناء عدة تطبيقات للمكتبة تناسب مختلف الأجهزة والأنظمة، فمن خلال تقنية PWA يمكن للمكتبة تطوير

تطبيق واحد يعمل على مختلف الأنظمة. وكذلك عدم الحاجة للدفع لكافة المتاجر لرفع التطبيقات عليها.

٢ **سهولة التحديث والصيانة:** إمكانية تحديث تطبيق PWA بشكل فعال وسريع دون الحاجة إلى متجر تطبيقات، مما يسهل عمليات الصيانة والتحديث.

٣ **تعزيز التواصل مع المستفيدين:** القدرة على إرسال إشعارات فورية ومشاركة التحديثات مع المستفيدين، مما يعزز التواصل وتفاعل المستفيدين مع المحتوى وخدمات المكتبة.

٤ **توسيع نطاق الوصول:** القدرة على الوصول إلى مجموعة أوسع من المستخدمين من خلال متصفح الويب فقط، بما في ذلك الأشخاص الذين لا يستخدمون تطبيقات المتاجر التقليدية أو ممن ليس لديهم هواتف متقدمة.

٥ **إمكانية تحليل بيانات المستخدم:** سهولة جمع البيانات وتحليلها بشكل فعال لفهم سلوك المستخدمين وتحسين تقديم الخدمات بناءً على احتياجاتهم.

باختصار، توفر تطبيقات الويب التقدمية فوائد متعددة تجعلها خيارًا جذابًا وموفرًا لتطوير وتقديم الخدمات والمحتوى في مجال المكتبات ومؤسسات المعلومات (Singh & Narayan, 2021, pp. 17-18; Susanto et al., 2023, p. 336).

٤ تنفيذ تطبيق الويب التقدمي لموقع المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية

بناءً على التحليل الإحصائي والملاحظات الميدانية، اتضح أن المستفيدين بالوحدة يعتمدون بشكل كبير على الأجهزة المحمولة للوصول إلى خدمات الوحدة، إلا أنهم يواجهون تحديات تقنية تتعلق بعدم توفر تطبيق هاتف محمول يلبي احتياجاتهم بفعالية وكفاءة وقادر على التلاؤم مع الاختلاف النوعي للمنصات والأجهزة والمتصفحات المستخدمة. لذلك اقترحت الدراسة تنفيذ هذا التطبيق بالاعتماد على نموذج الشلال Waterfall Model، وهو أقدم وأشهر نماذج دورة حياة تطوير النظم System Development Life Cycle (SDLC)؛ يُستخدم هذا النموذج على نطاق واسع في المشاريع الحكومية وفي الشركات الكبرى. الميزة الأساسية في هذا النموذج هي خطواته المتسلسلة حيث يتكون من خمس مراحل أساسية وهي: التحليل، ثم التصميم، ثم التطوير والتنفيذ، ثم الاختبار، ثم المراقبة والصيانة. علاوة على ذلك، هذا النموذج يتميز بقدرته على اكتشاف عيوب التصميم قبل تطوير المنتج. حيث إن مراحل التطوير في هذا النموذج ليست متداخلة، حيث تتدفق مراحله واحدة تلو الأخرى لأنه يبدأ وينتهي بمرحلة واحدة قبل البدء بالمرحلة التالية (Alshamrani & Bahattab, 2015, p. 106).

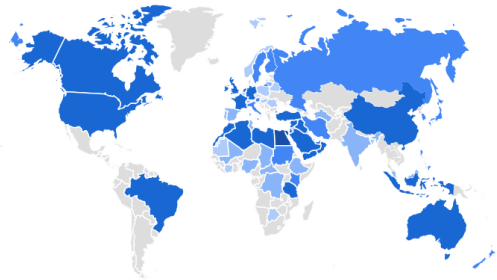
١/٤ المرحلة الأولى: التحليل وتحديد المتطلبات Requirements Analysis:

قامت الدراسة في هذه الخطوة بتحديد الجمهور المستهدف من تطبيق PWA، وتم كذلك تحديد الوظائف الأساسية للتطبيق والقيود والعقبات المتوقعة، وأيضًا تم تحديد المتطلبات الفنية والجدول الزمني وحساب التكلفة.

١/١/٤ تحديد الجمهور المستهدف وتحليل احتياجاته:

تم استخدام أداة إحصائيات جوجل Google Analytics لجمع البيانات حول زوار موقع وحدة المكتبة الرقمية لجامعة الإسكندرية وتحليل سلوكهم. وتم تحديد الفترة الزمنية للتحليل من ١ يناير ٢٠٢٣ إلى ٣١ ديسمبر ٢٠٢٣. وكان إجمالي عدد مستخدمي الموقع خلال هذه الفترة يصل إلى ٣٥ ألف مستخدم. وتوضح الخريطة التالية شكل رقم (٦)، التوزيع الجغرافي لمستخدمي الموقع، حيث تصدرت مصر قائمة البلدان الأكثر زيارة بعدد بلغ ٣٢ ألف بنسبة ٩١,٤٪، بينما جاءت السعودية في المرتبة الثانية يليها الولايات المتحدة والصين. وجاءت مدينة الإسكندرية بطبيعة الحال في المقدمة بنسبة زيارات بلغت ٦٠٪، ثم جاءت مدينة القاهرة في المرتبة الثانية، وبتحليل لغات الأجهزة التي تم استخدامها للوصول للموقع، جاءت اللغة الإنجليزية في المقدمة بنسبة ٦٧,٥٪، ثم اللغة العربية بنسبة ٢٨,٥٪، ثم جاءت اللغة الصينية والفرنسية والألمانية.

البلد	المستخدمون
Egypt	32 ألف
Saudi Arabia	624
United States	457
China	359
Kuwait	218
Iraq	209
United Kingdom	139



شكل رقم (٦): التوزيع الجغرافي لمستخدمي موقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية

وبتحليل طرق اكتساب الموقع للمستخدمين يتضح أن البحث عن الموقع عبر محركات البحث هو أكثر الطرق استخدامًا بنسبة بلغت ٤٢,٨٪، ثم بنسبة ٤٠٪ وصل المستخدمين للموقع مباشرة، بينما تم الإحالة إلى الموقع عبر صفحات المكتبة على الشبكات الاجتماعية بنسبة بلغت ٩,٧٪. وبتحليل مدى الارتباط النفسي للمستخدمين بالموقع فإن ٤٢,٨٪ من مستخدمين الموقع يكررون زيارته مرات أخرى، وجاء متوسط مدة التفاعل مع الموقع بثلاث دقائق و١١ ثانية لكل جلسة، ووصل عدد مرات مشاهدة الموقع إلى ٢٩٥ ألف زيارة و٧٣٥ ألف جلسة، وعدد مرات التفاعل مع الموقع وصل إلى ١٥٣ ألف مرة، وبلغت نسبة المستخدمين النشطون

يوميًا على الموقع ٦,٥٪، بينما ٢٤,٥٪ من المستخدمين نشطون أسبوعين، ٢٦,٨٪ نشطون شهريًا. وأكثر الصفحات زيارة كانت صفحة خدمات الوحدة بعدد ١٠٥ ألف زيارة، وأكثر الخدمات زيارة هي خدمة إيداع الخطط والرسائل البحثية تليها خدمة فحص النزاهة للرسائل والحصول على الموافقات الأخلاقية. ومتوسط مدة التفاعل مع صفحة حجز موعد تصدرت القائمة حيث بلغت ١٨ دقيقة وثانية واحدة لكل جلسة. ويوضح شكل رقم (٧) أن زيارات موقع المكتبة جاءت عبر الهواتف المحمولة بنسبة ٧٣,٧٪، وعبر سطح المكتبة بنسبة ٢٥,٥٪، وعبر الأجهزة اللوحية بنسبة ٠,٨٪، كما أظهرت الإحصائيات تفاوتًا في استخدام الموقع حسب نظم التشغيل، فقد بلغت الزيارات عبر نظام Android نسبة ٤٧٪، وعبر نظام iOS نسبة ٢٧٪، في مقابل نسبة ٢٣٪ لنظام Windows. وتعددت المتصفحات المستخدمة كذلك حيث تصدر متصفح Chrome القائمة ثم متصفح Safari، ثم تطبيق Android Webview.

شكل رقم (٧): مستخدمون موقع المكتبة الرقمية حسب فئة الجهاز/ نظام التشغيل/ المتصفح

٢/١/٤ تحديد الوظائف الأساسية المتوقعة للتطبيق:

بتحليل العرض السابق للجمهور المستهدف وسلوكياته واحتياجاته يمكن تحديد الوظائف الأساسية التي ينبغي أن يقدمها تطبيق PWA على النحو التالي:

- متعدد المنصات Cross-platform
- يدعم عامل الخدمة Service Worker
- استراتيجية التخزين المؤقت Caching Strategy
- يوفر التخزين المؤقت للمحتوى الديناميكي Dynamic content Caching
- يوفر ملف التكوين Web App Manifest
- يعمل دون اتصال Offline access
- نسخة سطح المكتب Desktop availability
- التحديث التلقائي Automatic Update
- إشعار تثبيت التطبيق Install notification
- وضع الشاشة الكامل وشاشة ترحيب Full Screen & Splash Screen
- إضافة روابط تتبع UTM Tracking
- مكشف في محركات البحث Indexed
- تفعيل طبقة الأمان Security Layer
- تفعيل إرسال الإشعارات الفورية Notifications

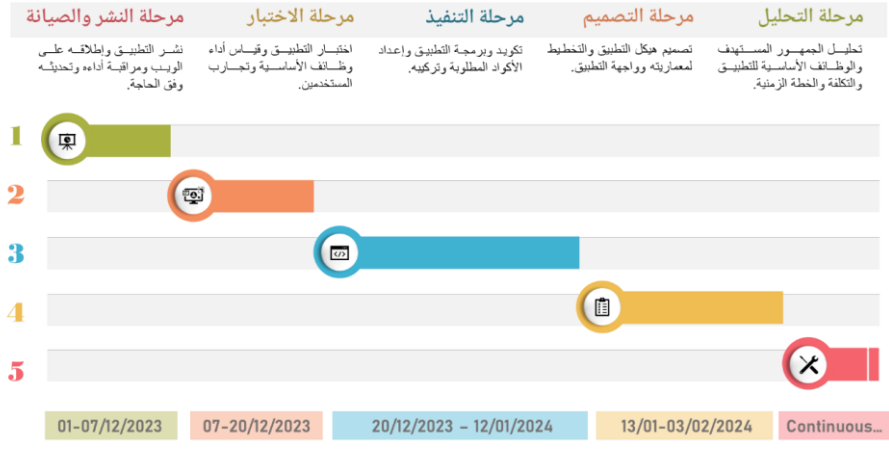
يتضح من تحليل الجمهور المستهدف ضرورة أن يكون تطبيق PWA متوافق مع منصات متعددة وذلك لتعدد النظم والمتصفحات والأجهزة التي يستخدمها جمهور الموقع، وكذلك ضرورة توفر نسخة سطح المكتب حيث مازال هناك نسبة ٢٥,٥٪ من مستخدمي الموقع يصلون إليه عبر سطح المكتب، ومن الوظائف الأساسية المتوقعة للتطبيق أن يعمل بشكل فعال دون اتصال بالإنترنت، بالإضافة إلى ذلك ينبغي أن يوفر التطبيق إمكانية التخزين المؤقت المسبق ليس لصفحات الموقع فقط، بل أيضًا للصفحات المرتبطة التي يتم الوصول إليها عبر التطبيق.

٣/١/٤ تحديد المتطلبات الفنية:

بناءً على الوظائف الأساسية المتوقعة من التطبيق فإن تطوير التطبيق تم في بيئة WordPress. وتم استخدام لغات HTML وCSS3، بالإضافة إلى Javascript لبرمجة Service Worker وتم الاستعانة بأداة Pwabuilder الصادرة عن مايكروسوفت، وكذلك عند إعداد ملف التكوين تم الاستعانة بأداة Web App Manifest Generator وأداة Pwabuilder أيضًا وهي أدوات مجانية.

٤/١/٤ تحديد التكلفة ووضع الخطة الزمنية:

ركزت الدراسة على تقليص ميزانية التطبيق لأقصى تقدير، تم استخدام برامج وأطر عمل مجانية فقط، بحيث أن التكلفة الوحيدة كانت قيمة رسوم شراء الدومين والمساحة التخزينية للموقع ذاته، وشكل رقم (٨) يوضح مخطط جانت Gantt chart لمراحل المشروع الخمسة من التحليل إلى النشر والصيانة، واستهلك تنفيذ كامل المشروع قرابة شهرين. وبطبيعة الحال، فإن مرحلة التنفيذ هي أكثر المراحل استهلاكًا للوقت، ويوضح الشكل أن مرحلة الصيانة تعتبر عملية مستمرة، وكما أوضحنا سابقًا أن تنفيذ المشروع تم وفق نموذج الشلال لذلك فإن مخطط جانت يوضح عدم تداخل مراحل المشروع.



شكل رقم (٨): مخطط جانت Gantt chart لتدفق مشروع تنفيذ تطبيق PWA لموقع المكتبة الرقمية

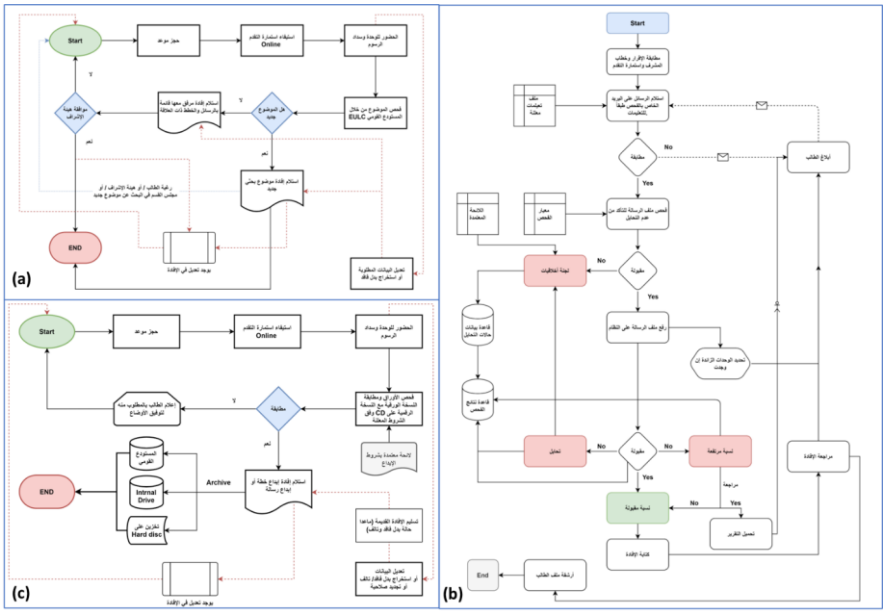
بذلك تأكدت **الفرضية الأولى** للدراسة بأن التطبيق المقترح بتقنية PWA يمثل خيارًا أقل تكلفة مقارنة بتطبيقات الأجهزة المحمولة الأصلية، بفضل دعم Google وMicrosoft للتقنية وتوفيرهما لبرامج وأطر عمل مجانية استخدمتها الدراسة في تنفيذ وتصميم التطبيق.

٢/٤ المرحلة الثانية: التصميم Design:

قامت الدراسة في هذه الخطوة بتصميم خرائط تدفق للعمليات التي تتم داخل كل خدمة تقدم للمستفيدين من المكتبة وكذلك تم تصميم مخطط لهيكل ومعمارية التطبيق ووحداته ومستويات العمل من خلاله، واستخدمت الدراسة WP-DBManager لإجراء نسخ احتياطي لقاعدة البيانات. وكذلك تم تصميم واجهة التطبيق الرئيسية وتحديد الأيقونات ونمط التطبيق وألوانه بحيث يكون محاكي تمامًا لموقع الويب وشبيه للتطبيقات الأصلية، على أن يكون ذلك متوافقًا مع إرشادات AppShell.

١/٢/٤ تصميم خرائط تدفق العمليات:

تم عقد اجتماعات مع فريق عمل وحدة المكتبة الرقمية لوضع خرائط التدفق للعمليات التي تتم داخل كل خدمة تقدم للمستفيدين من المكتبة، باستخدام أداة Draw.io، ويوضح الشكل رقم (٩) نماذج لخرائط تدفق لخدمات وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية.



شكل رقم (٩): خرائط التدفق للعمليات التي تتم داخل كل خدمة تقدم للمستفيدين من المكتبة

حيث خريطة (a) توضح تدفق عمليات خدمة فحص موضوع الخطط البحثية، بينما خريطة (b) تعكس تدفق العمليات في خدمة فحص النزاهة البحثية للرسائل العلمية، وخريطة (c)

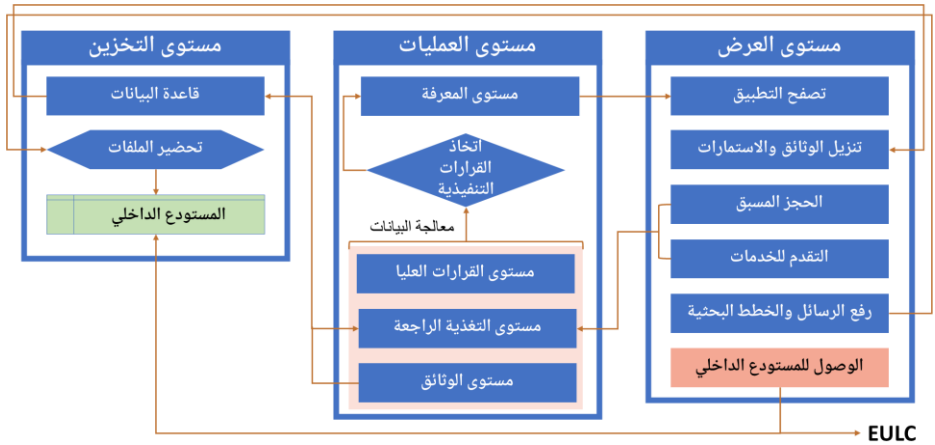
لتدفق عمليات إيداع الخطط البحثية والرسائل العلمية، وتعتبر هذه الخطوة مهمة في إعداد بنية التطبيق بحيث تمكن المستخدم من تنفيذ التعليمات والخطوات المطلوبة منه للحصول على الخدمة بسهولة ويسر.

٢/٢/٤ بناء مخطط لهيكل ومعمارية التطبيق:

تتكون بنية تطبيق وحدة المكتبة الرقمية App architecture من ٣ مستويات (١) مستوى العرض، و(٢) مستوى العمليات، و(٣) مستوى التخزين، لكل مستوى هيكله وتشعباته الخاصة ويعمل التطبيق في بيئة الخادم والعميل مع فصل مستوى التخزين. ويمكن تصور هذا الهيكل في الشكل رقم (١٠) حيث يوضح العلاقات بين الثلاثة مستويات ويوضح تدفق العمليات داخل وحدة المكتبة الرقمية.

- **مستوى العرض View Leve:** يتيح مستوى العرض (مستوى العميل) للمستفيدين الوصول إلى جميع صفحات التطبيق، وإمكانية الوصول إلى التعليمات المطلوبة للحصول على الخدمات، وكذلك تنزيل الوثائق والتقدم للخدمات واستيفاء الاستمارات بالإضافة إلى القيام بالحجز المسبق للحصول على موعد في الوحدة، وأيضًا إمكانية رفع الرسائل والخطط البحثية والأبحاث ليتم فحصها أو إيداعها. ومن ضمن الإمكانيات المتاحة في هذا المستوى إمكانية الوصول للمستودع الداخلي للرسائل العلمية والخطط البحثية وهي خاصية متاحة فقط لأخصائي المكتبات الرقمية بكليات ومعاهد الجامعة للتمكن من الحصول على ملفات الرسائل والخطط ومن ثم رفعها على المستودع القومي الرقمي بمنصة اتحاد المكتبات الجامعة المصرية EULC.
- **مستوى العمليات Operations level:** يحتوي مستوى العمليات على جميع العمليات المرتبطة بالتحقق من صحة البيانات، وتجميع البيانات والوثائق والتغذية المرتدة وتحليلها في ضوء القرارات العليا الواردة من المجلس الأعلى للجامعات أو من مجلس الجامعة أو من لجنة الأخلاقيات العليا بالجامعة، وفي ضوء ذلك يتم اتخاذ القرارات التنفيذية داخل الوحدة. ويتم الاستفادة من مخرجات هذا المستوى في المستويين الآخرين، حيث الاستفادة منها في مستوى العرض من خلال تحديث البيانات والتعليمات المتاحة على التطبيق للمستفيدين بشكل دائم لتواكب أحدث القرارات، وعلاوة على ذلك، يتم الاستفادة منها في مستوى التخزين من خلال إضافة المخرجات في قاعدة البيانات. ومن الناحية التكنولوجية فإن هذا المستوى يتمثل في (مستوى الخادم)

- **مستوى التخزين Storage level:** يعمل في بيئة (الخادم)، حيث يتم تخزين جميع المستندات المقدمة والوثائق المرفوعة من قبل المستفيدين على خوادم شركة مايكروسوفت وفق تعاقد الجامعة معها وليس على المساحة التخزينية المتوفرة للتطبيق. ويوفر هذا النهج مستوى أعلى من الأمان لأنه لا يوجد اتصال مباشر بين العميل والخادم ومستوى التخزين. وهذا يعني تقليل مخاطر الهجمات الضارة.



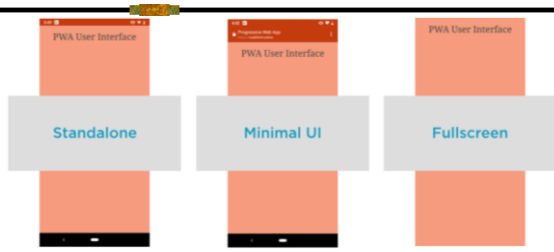
شكل رقم (١٠): معمارية تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية

٣/٢/٤ تصميم واجهة وسمة التطبيق:

تم تصميم واجهة التطبيق الرئيسية وتحديد الأيقونات ونمط التطبيق وألوانه بحيث يكون محاكي تمامًا لموقع الويب وشبيه للتطبيقات الأصلية، على أن يكون ذلك متوافقًا مع إرشادات AppShell؛ وهي مجموعة من التوجيهات نحو أفضل الممارسات لإنشاء تطبيقات الويب التي تستخدم بنية shell للتطبيق؛ بحيث يتكون هيكل التطبيق Application shell من الحد الأدنى من عناصر HTML وCSS وJavaScript لكي يعمل على تحميل واجهة المستخدم بسرعة، وتخزينها مؤقتًا، ويتمكن من عرض المحتوى ديناميكيًا. وتهدف إرشادات AppShell إلى توفير تجربة مستخدم موثوقة وسريعة وجذابة لتطبيقات الويب التقدمية (Rochim et al., 2023). وعلى ذلك تم مراعات المبادئ التالية عند تصميم التطبيق:

١/٣/٢/٤ استخدام وضع العرض المستقل:

تم استخدام وضع العرض المستقل Standalone display mode لمنح التطبيق نافذة مخصصة خاصة به، في تجربة أشبه ما تكون للتطبيقات الأصلية. كما في شكل رقم (١١).



شكل رقم (١١): وضع العرض المستقل (Nassour, 2023)

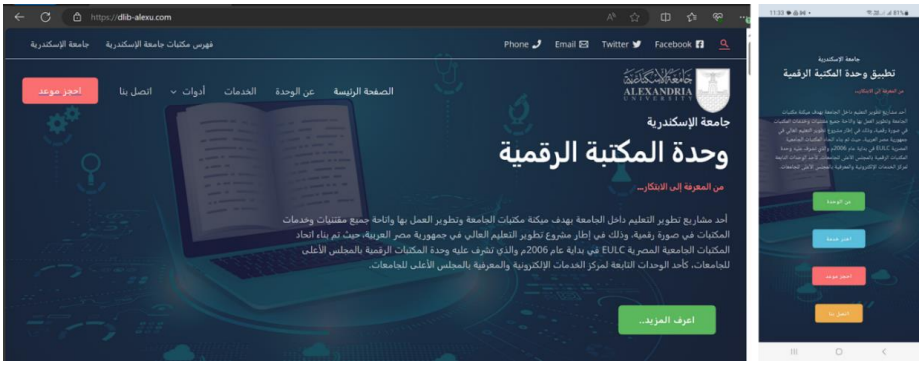
شكل رقم (١٢): أيقونة التطبيق

٢/٣/٢/٤ تحديد أيقونة التطبيق في ملف التكوين:

تم تحديد أيقونة التطبيق شكل (١٢) في ملف التكوين لتمكين المستخدمين من إضافة التطبيق إلى شاشتهم الرئيسية وتم تصميم الأيقونة بحجم ١٩٢*١٩٢ إنش وكذلك بحجم ٥١٢*٥١٢ إنش بامتداد PNG. وتم تصميم أيقونة خاصة تناسب بيئة iOS.

٣/٣/٢/٤ تصميم واجهة مستخدم واضحة وبسيطة:

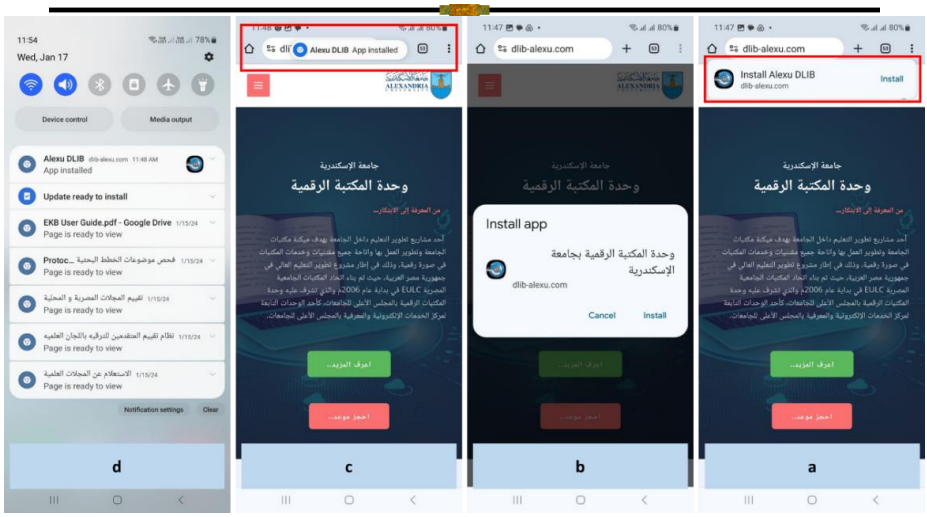
تم تصميم واجهة المستخدم بما يتوافق مع سمات موقع الوحدة ومع درجات ألوانه واتجاه تصميمه، وتم وضع أهم الروابط في الواجهة لسهولة الوصول والاستخدام، ويوضح شكل رقم (١٣) مدى المقاربة بين واجهة التطبيق وواجهة الموقع.



شكل رقم (١٣): مقاربة واجهة مستخدم التطبيق بواجهة موقع الوحدة

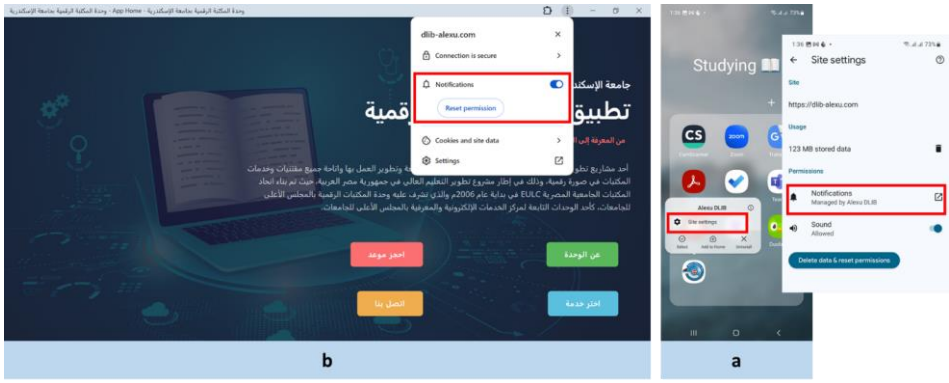
٤/٣/٢/٤ ارسال الإشعارات الفورية والتنبيهات:

حرصت الدراسة على تفعيل ارسال الإشعارات والتنبيهات عبر التطبيق لزيادة تفاعل المستخدم معه، ومن أهم هذه الإشعارات ما يظهر في شكل رقم (١٤) وهي الإشعارات التي توضح إمكانية وخطوات تثبيت التطبيق (a, b, c)، بالإضافة إلى إشعارات التحديثات وتنبيهات حفظ الوصول في حالة عدم الاتصال بالإنترنت (d).



شكل رقم (١٤): الإشعارات الفورية والتنبيهات بالتطبيق

ويمكن لمستخدم التطبيق سواء على الهواتف المحمولة أو على سطح المكتب تفعيل خيارات استقبال الإشعارات الفورية من عدمه وفق احتياجاته وتفضيلاته. ويوضح شكل رقم (١٥) طريقة التفعيل سواء على الهاتف المحمول (a) أو على سطح المكتب (b).



شكل رقم (١٥): تفعيل الإشعارات والتنبيهات بالتطبيق

٣/٤ المرحلة الثالثة: التنفيذ Implementation:

بالإضافة إلى الإرشادات السابقة، فإن إرشادات AppShell تشمل أيضًا الإرشادات التالية المتعلقة بكود التطبيق وقد تم الالتزام بها عند تنفيذ التطبيق، ومنها إعداد وتهيئة ملف التكوين، واستخدام عامل الخدمة، وتفعيل استراتيجية التخزين المؤقت للمحتوى سواء الستاتيكي أو الديناميكي، وكذلك تمكين بروتوكول HTTPS.

١/٣/٤ إعداد وتهيئة ملف التكوين:

يحتوي ملف Web App Manifest على بيانات تعريف التطبيق كما شرحنا سابقًا، وتكون منظمة بتنسيق JavaScript Object Notation (JSON)، وتم الاستعانة بأداة Web App Manifest Generator وكذلك أداة Pwabuilder أيضًا لإعداده. ويوضح الشكل رقم (١٦) ملف التكوين للتطبيق متضمنًا اسمه ووصفه والأيقونات المستخدمة بالإضافة إلى الألوان والسمات وطريقة العرض.

```
{
    "name": "وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية",
    "short_name": "Alexu DLIB",
    "description": "وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية",
    "icons": [
        {
            "src": "https://dlib-alexu.com/wp-content/uploads/2020/08/icon-removebg-preview.png",
            "sizes": "192x192",
            "type": "image/png",
            "purpose": "any maskable"
        },
        {
            "src": "https://dlib-alexu.com/wp-content/uploads/2020/08/icon-removebg-preview.png",
            "sizes": "512x512",
            "type": "image/png"
        }
    ],
    "background_color": "#D5E0EB",
    "theme_color": "#D5E0EB",
    "display": "standalone",
    "orientation": "portrait",
    "start_url": "/app-home/?utm_source=dlib-pwa&utm_medium=dlib-pwa&utm_campaign=dlib-pwa&utm_term=dlib-pwa&utm_content=dlib-pwa/",
    "scope": "/",
    "shortcuts": [
        {
            "name": "Home",
            "short_name": "Home",
            "description": "Home",
            "url": "/",
            "icons": [
                {
                    "src": "https://dlib-alexu.com/wp-content/uploads/2020/08/icon-removebg-preview.png",
                    "sizes": "192x192"
                }
            ]
        }
    ],
    "yandex": {
        "manifest_version": 1,
        "app_version": "2.1.19",
        "cache": {
            "resources": [
                "/style.css"
            ],
            "ignored_query_params": []
        }
    }
}
```

شكل رقم (١٦): ملف التكوين Manifest لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية

٢/٣/٤ استخدام عامل الخدمة:

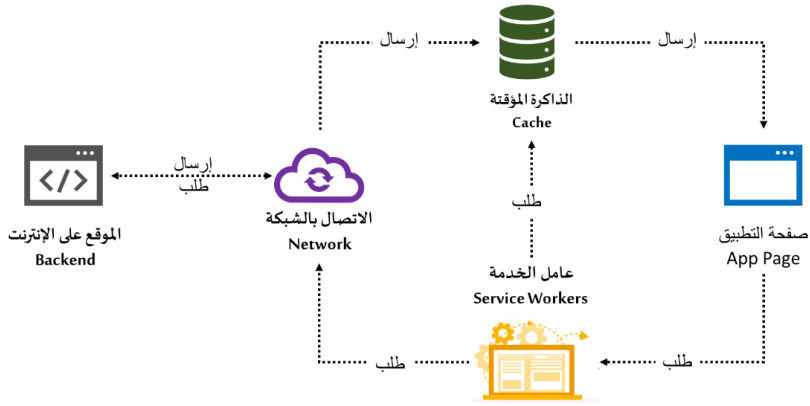
عامل الخدمة كما أوضحنا هو ملف JavaScript يتم تشغيله في الخلفية ويمكّن التطبيق التقدمي من العمل دون اتصال بالإنترنت والتعامل مع الإشعارات الفورية. ومن مهامه الرئيسية التخزين المؤقت لهيكل التطبيق والموارد الثابتة الأخرى، وللتعامل مع طلبات الشبكة وسيناريوهات عدم الاتصال أو الشبكات الضعيفة. بالإضافة إلى ذلك يوفر العديد من المميزات والوظائف وفق الحاجة. ويوضح الشكل رقم (١٧) جزء من كود الجافا لملف عامل الخدمة بتطبيق المكتبة.

```
'use strict';

const cacheName = 'dlib-alexu.com-2.1.19';
const startPage = 'https://dlib-alexu.com/app-home/';
const offlinePage = 'https://dlib-alexu.com/app-home/';
const filesToCache = [startPage, offlinePage];
const neverCacheUrls = [/\/wp-admin/,/\/wp-login/,/preview=true/]
    ;

// Install
self.addEventListener('install', function(e) {
    console.log('service worker installation');
    e.waitUntil(
        caches.open(cacheName).then(function(cache) {
            console.log('service worker caching dependencies');
            filesToCache.map(function(url) {
                return cache.add(url).catch(function (reason) {
                    return console.log('PWA: ' + String(reason) +
                        ' ' + url);
```

شكل رقم (١٧): جزء من كود جافا سكربت عامل الخدمة لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية

٣/٣/٤ تمكين التخزين المؤقت:

اعتمد التطبيق على نمط استراتيجية إعادة التحقق Stale While Revalidate من ضمن استراتيجيات التخزين المؤقت Caching Strategy المشار إليها سابقًا بحيث تقوم آلية هذه الإستراتيجية على جلب طلب المستخدم من ذاكرة التخزين المؤقتة إذا كان متوفرًا ثم تقوم في ذات الوقت بإعادة التحقق من حداثة الذاكرة المؤقتة من خلال فحص الموقع عبر شبكة الإنترنت إذا كان متاحًا. ويوضح الشكل رقم (١٨) آلية عمل هذه الاستراتيجية.



شكل رقم (١٨): استراتيجية إعادة التحقق Stale While Revalidate

وتم كذلك تفعيل استراتيجية التخزين المؤقت للمحتوى الديناميكي Dynamic Content بحيث يعمل أثناء انقطاع الاتصال بالإنترنت، وذلك لأن التطبيق يضم استمارات تقدم واستمارات اتصال واستمارات حجز مسبق، مع ملاحظة أن المحتوى الديناميكي لا يتم تخزينه في الذاكرة المؤقتة إلا من خلال الاطلاع عليه أثناء اتصال الانترنت لأول مرة. وكذلك تم تفعيل التخزين المؤقت للصفحات والروابط الخارجية في حال عدم الاتصال بالإنترنت مثل صفحة EKB وقاعدة تقييم المجلات المصرية والمحلية ونظام التقدم للترقية وموقع الجامعة وغيرها من الأدوات والمواقع ذات الصلة، ولكن بذات الشرط وهو أن يتم الاطلاع عليها لمرة واحدة أثناء الاتصال بالإنترنت. ويمكن مشاهدة فيديوهات توضيحية لهذه المميزات من خلال مسح كود شفرات الاستجابة السريعة QR Code المتاحة في الأشكال رقم (١٩-٢١).

شكل رقم (١٩): فيديو توضيحي لتثبيت تطبيق وحدة المكتبة الرقمية لجامعة الإسكندرية

شكل رقم (٢٠): فيديو توضيحي لفتح الروابط الخارجية ضمن التطبيق دون اتصال إنترنت

شكل رقم (٢١): فيديو لتوضيح فتح الصفحات الديناميكية وملفات PDFs دون اتصال

٤/٣/٤ تمكين HTTPS:

بروتوكول HTTPS هو بروتوكول آمن يقوم بتشفير الاتصال بين الخادم والعميل. ويُعد HTTPS أحد متطلبات PWAs، لأنه يضمن سلامة وخصوصية البيانات. وتم تمكين HTTPS للموقع والتطبيق من خلال الحصول على SSL من مزود موثوق وهو Let's Encrypt.

وتنتهي مرحلة التنفيذ بنشر التطبيق Deployment وفي هذه الخطوة تم استخدام مكون إضافي وهو SuperPWA لإتاحة نشر التطبيق على موقع الوحدة من خلال منصة WordPress. ولم تُعن الدراسة برفع التطبيق على متاجر التطبيقات مثل متجر Google Play و Microsoft Store و App Store، على الرغم من توفر إمكانية رفعهما على متجر شركة Google و Microsoft بسهولة من خلال مساعدة أداة PWAbuilder إلا أن نشر التطبيقات بجميع المتاجر أصبح نظير رسوم؛ وهو ما رأت الدراسة أثناء مرحلة التخطيط عدم جدواه، حيث إن الجمهور المستهدف للتطبيق على علم مسبق بموقع المكتبة الرقمية ويمكنه تحميل التطبيق من خلاله بسهولة.

٤/٤ المرحلة الرابعة: الاختبار:

بعد نشر التطبيق وقبل إتاحته للمستخدمين تبدأ مرحلة الاختبار وفيها يتم إجراء اختبار التطبيق في حالات افتراضية مختلفة بحيث يمكن تجنب الأخطاء عند تشغيل التطبيق. استخدمت الدراسة (١٠) أدوات لإجراء الاختبارات، وتم إجراء الاختبارات بواسطة جهاز حاسب آلي محمول بمواصفات تفي بمتطلبات أدوات الاختبار الإلكترونية واليدوية. وكانت سرعة الشبكة عند الاختبار هي ٢٨,١٤ ميجابت في الثانية. وتم التحقق من أداء ووظائف التطبيق على النحو التالي:

١/٤/٤ التحقق من استيفاء معايير PWA:

استخدمت الدراسة أداة Lighthouse وأداة DevTools للتحقق من مدى استيفاء التطبيق لمعايير PWA مثل وجود ملف التكوين، وعامل خدمة، تجاوب واجهة التطبيق وسرعة التحميل والاتصال آمن، وغيرها من المعايير المطلوبة.

٢/٤/٤ اختبار ميزات تطبيق PWA ووظائفه:

استخدمت الدراسة قائمة التحقق للوظائف الأساسية Core وقائمة تحقق للوظائف المثالية Optimal لتطبيقات الويب التقدمية المطورتين من شركة Google لاختبار مميزات ووظائف التطبيق التقدمي، مثل وضع عدم الاتصال، وإرسال الإشعارات الفورية، والإضافة إلى الشاشة الرئيسية، والتخزين المؤقت وما إلى ذلك.

٣/٤/٤ اختبار التطبيق على الأجهزة والمتصفحات المختلفة:

تم استخدام طريقة مصفوفة التوافق Compatibility matrix لتجميع البيانات وتحليلها عن حالة عمل تطبيق وحدة المكتبة الرقمية على مختلف الأنظمة والبيئات الأساسية. وتم اختيار النظم والأجهزة والمتصفحات التي يتم إجراء الاختبار عليها وفق إحصائيات الاستخدام والحصة السوقية لها بواسطة أداة Statcounter. وذلك لأنها تعتبر مؤشرات تعكس شعبية وتفضيلات المستخدمين. وتعتبر هذه الإحصائيات مهمة لمطوري الويب ومصممي الواجهات ومالكي المواقع لتحسين تجربة المستخدم وتيسير وصول المستخدمين لمنتجاتهم. مع الوضع في الاعتبار مؤشرات استخدام موقع وحدة المكتبة الرقمية المشار إليها سابقًا. وكذلك تم استخدام أداة LambdaTest وأداة Perfecto لاختبار التطبيق افتراضيًا على نظام iOS17.1 ونظام MacOS باستخدام متصفح Safari ومتصفح Chrome سواء على الأجهزة المحمولة أو أجهزة سطح المكتب، وتم اختبار التطبيق يدويًا على نظام Android ونظام Windows وكذلك على سطح المكتب وباستخدام متصفح Edge وChrome.

٤/٤/٤ اختبار الأمان SSL/TLS:

تم استخدام أداة SSL Security Test من شركة ImmuniWeb لإجراء اختبار أمان SSL/TLS لمراجعة تنفيذ متطلبات الأمن لتطبيقات PWA. من خلال اختبار PCI DSS Compliance الخاص بمعايير أمن بطاقات الدفع الإلكتروني لحماية البيانات المالية من الاحتيال والسرقة، واختبار Industry Best Practices Test الخاص بمعايير تطوير البرمجيات وإدارة المشاريع لضمان أفضل الممارسات الصناعية. وتم استخدام أداة SSLlabs لمراجعة HTTPS للتطبيق سواء في بيئة برتوكول الإنترنت الإصدارة الرابعة أو الإصدارة السادسة. وكذلك تم استخدام أدوات DevTools لاختبار أمن التطبيق وشهادة SSL وتشفير الاتصال واختبار أمن كافة الموارد المتاحة من خلال التطبيق.

٥/٤ المرحلة الخامسة: المراقبة والصيانة Monitoring and maintenance:

مع الانتقال إلى مرحلة المراقبة والصيانة في تطوير تطبيق تقدمي للمكتبة الرقمية، تعين على الدراسة في هذه المرحلة تبني استراتيجيات فعالة للحفاظ على أداء التطبيق وتحسين تجربة المستخدم المستمرة. وتتيح هذه المرحلة فرصة لتحليل أداء التطبيق من وجهة نظر المستخدم، وتنفيذ التحسينات اللازمة. بالإضافة إلى ذلك، يُعد تحديث التطبيق بما يتناسب مع التطورات التكنولوجية جزءًا حيويًا من استراتيجية الصيانة للتأكد من أن التطبيق يظل في أعلى مستويات الأمان والأداء ولتلبية توقعات واحتياجات المستخدمين بشكل مستمر.

١/٥/٤ تحليل التطبيق من وجهة نظر المستخدمين وتقييم تجربة المستخدم:

تهدف الدراسة في هذه الخطوة إلى فهم تجربة المستخدم وتحسينها من خلال تحليل تفاعل المستخدمين مع التطبيق. وقامت الدراسة في هذه الخطوة باستخدام أداتين هما اختبار الصندوق الأسود Black-Box Test واختبار تقييم تجربة المستخدم (UEQ)، من أجل فهم احتياجات وتوقعات المستخدمين وتحسين تجربة الاستخدام.

٢/٥/٤ مراقبة أداء ووظائف التطبيق Monitoring:

في هذه الخطوة يتم التركز على متابعة أداء التطبيق وتحسينه بشكل مستمر؛ من خلال مراقبة أداء الخادم والتطبيق وتحليل الاستخدام لفحص سلوك المستخدمين داخل التطبيق وفهم الأنماط الشائعة. ومراقبة مواقع التواصل لفهم مدى إشادة المستخدمين أو تحدياتهم.

٣/٥/٤ تحليل الأخطاء وتحديث التطبيق:

يتم التركيز في هذه الخطوة على تحليل الأخطاء وتحسين التطبيق بشكل دوري من خلال متابعة السجلات وتصحيح الأخطاء وتنفيذ تحديثات الأمان وسد الثغرات الأمنية بسرعة. وتنفيذ

تحسينات للأداء بشكل دوري. بالإضافة إلى تحديث التقنيات المستخدمة في التطبيق بشكل مستمر مثل تحديث ملف عامل الخدمة وإستراتيجيات التخزين المؤقتة؛ تنفيذ هذه الخطوات بانتظام يضمن أن يبقى التطبيق التقدمي لوحدة المكتبة الرقمية في أفضل حالة ويستجيب بفعالية لاحتياجات وتوقعات المستخدمين والتطورات التكنولوجية. وبطبيعة الحال؛ فإن هذه المرحلة مستمرة لا تتوقف إلا بتوقف التطبيق عن العمل.

٥ نتائج ومناقشة الدراسة

يعرض ويحلل هذا القسم نتائج اختبارات أداء التطبيق التقدمي DLU-Alexu لموقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية من خلال الأدوات التي استخدمتها الدراسة وتم توضيحها سابقًا، ثم يشرح نتائج اختبار UEQ لقياس تجربة المستخدمين للتطبيق من حيث جاذبية التطبيق، والوضوح، والكفاءة، والاعتمادية، والتحفيز، والحداثة.

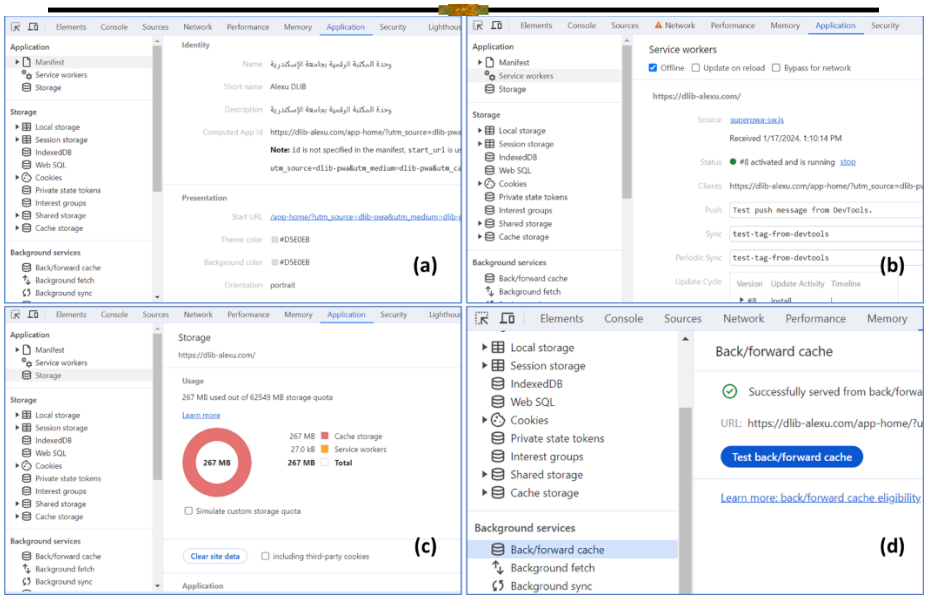
١/٥ نتائج اختبار أداء التطبيق

لاختبار أداء التطبيق تم قياس وفحص (٤) جوانب أساسية؛ أولها التحقق من استيفاء التطبيق لمعايير التطبيقات التقدمية، ثم اختبار وظائف PWA التي تم تنشيطها وتنفيذها ضمن تطبيق الوحدة، وبعد ذلك تم اختبار التطبيق على منصات ونظم ومتصفحات وأجهزة متعددة لضمان تكامله معها، وأخيرًا تم إجراء اختبارات الأمان SSL/TLS وتفعيل بروتوكول HTTPS في التطبيق.

١/١/٥ نتائج التحقق من استيفاء التطبيق لمعايير PWA:

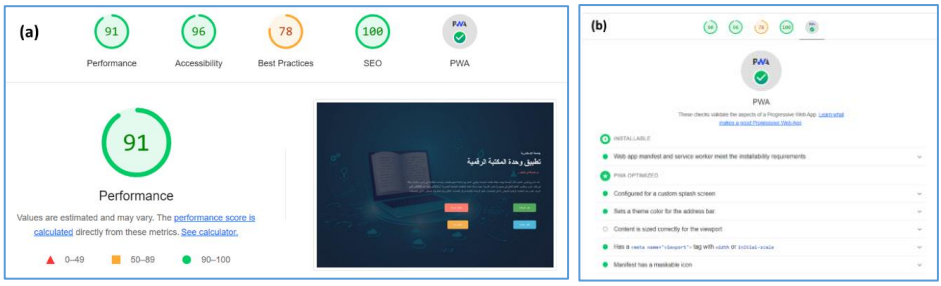
في هذه الخطوة استخدمت الدراسة أدوات DevTools وأداة Lighthouse للتحقق من استيفاء التطبيق للمعايير الأساسية للتطبيقات التقدمية ومنها وجود ملف التكوين، وعامل خدمة، تجاوب واجهة التطبيق وسرعة التحميل والاتصال آمن، وغيرها من المعايير المطلوبة. وجاءت النتائج على النحو التالي:

أولاً نتائج أداة DevTools: جاءت نتائج الاختبار تؤكد استيفاء التطبيق للمعايير الأساسية، ويوضح شكل رقم (٢٢) نتائج التحقق بهذه الأداة، حيث تم التحقق من وجود ملف التكوين (a)، والتحقق من أن عامل الخدمة فعال ونشط حتى في حالة عدم الاتصال بالإنترنت (b)، وتم التحقق من تفعيل الذاكرة العشوائية (c)، وأخيرًا التحقق من تفعيل إمكانية Back/forward cache والتي تعزز أداء تطبيقات PWA عن طريق حفظ حالة الصفحة بعد تركها (d)، بحيث يمكن استعادتها بسرعة عند العودة إليها من خلال زر الخلف أو الأمام في المتصفح. وهذا يقلل من زمن التحميل ويوفر استهلاك البيانات.



شكل رقم (٢٢): نتائج التحقق من استيفاء التطبيق للمعايير بأدوات DevTools

ثانيًا نتائج أداة Lighthouse: كشفت نتائج الاختبار باستخدام Lighthouse في الشكل رقم (a/٢٣) استيفاء جميع معايير تطبيق الويب التقدمي PWA بنسبة ١٠٠٪. كما حصل التطبيق أيضًا على درجة مرتفعة في ثلاثة معايير مثل تحسين محركات البحث SEO بنسبة ١٠٠٪، إمكانية الوصول Accessibility بنسبة ٩٦٪، وفي جودة الأداء بنسبة ٩١٪. بالنسبة لجودة الممارسات الفنية حصل التطبيق على نسبة ٧٨٪ وذلك لوجود صورة لم تستخدم HTTPS. وفي الوقت ذاته، جاء مؤشر السرعة Speed Index بقيمة ١,٦ ث وهو ما يؤكد على سرعة تحميل وتصفح التطبيق.



شكل رقم (٢٣): نتائج التحقق من استيفاء التطبيق للمعايير بأداة Lighthouse

وأظهرت نتائج أداة Lighthouse التزام تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بالمعايير المطلوبة. حيث يوضح الشكل رقم (b/٢٣) استيفاء ملف التكوين وعامل الخدمة لمتطلبات التثبيت بالإضافة

إلى التزامها بمعايير التطبيقات التقدمية المحسنة من توفير شاشة بداية وتخصيص شريط العنوان وتوفير ملف التكوين لبيانات الأيقونة القابلة للإخفاء Maskable icon.

٢/١/٥ نتائج اختبار وظائف التطبيق الأساسية والمثالية:

في هذه الخطوة تستخدم الدراسة أدوات يدوية عبارة عن قائمتين تحقق لاختبار مميزات ووظائف تطبيق الويب التقدمي لوحدة المكتبة الرقمية. وجاءت النتائج على النحو التالي:

أولًا نتائج قائمة التحقق للوظائف الأساسية بالتطبيق:

بالإضافة إلى اختبار أداة Lighthouse الآلي، فإن جوجل قامت بإعداد قائمة تحقق للوظائف الأساسية وقائمة تحقق للوظائف المثالية وذلك لاستكمال فحص ميزات ووظائف تطبيقات PWA ويتم العمل بهما بشكل يدوي، تستكشف قائمة مراجعة تطبيقات الويب التقدمية وظائف التطبيق لتضمن أنه قابلاً للتثبيت والاستخدام من قبل جميع المستخدمين، بغض النظر عن أي عوامل أخرى وتضم (٨) معايير. ويوضح جدول رقم (٥) نتائج اختبار تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بقائمة التحقق الأساسية.

جدول رقم (٥): نتائج اختبار التطبيق بقائمة التحقق الأساسية Core المطورة من شركة جوجل

م	أولاً معايير السرعة والاعتمادية Fast & Reliable	الحالة	م	ثانيًا معايير قابلية التثبيت Installable	الحالة
١	يتم تحميل التطبيق بسرعة فائقة على شبكات المحمول.	Passed	٥	قابل للتثبيت على العديد من الأجهزة	Passed
٢	تستجيب بعض المكونات عند عدم الاتصال بالإنترنت	Passed	٦	استخدام بروتوكول HTTPS	Passed
٣	يستجيب start_url عندما يكون غير متصل بالإنترنت	Passed	٧	تسجيل عامل الخدمة ويتحكم في الصفحة وstart_url	Passed
٤	يعمل على أي متصفح ويستجيب لأي شاشة	Passed	٨	يلبي ملف التكوين متطلبات التثبيت	Passed

ثانيًا نتائج قائمة التحقق الوظائف المثالية للتطبيق:

لإنشاء تطبيق ويب تقدمي جيد ويبدو وكأنه تطبيق أصلي Native App، فإنه يحتاج إلى أكثر من مجرد توفير الوظائف الأساسية. ولذلك وفرت شركة جوجل قائمة التحقق المثالية لتطبيقات الويب التقدمية وتضم (٧) معايير، ويوضح جدول رقم (٦) نتائج اختبار تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بقائمة التحقق من الوظائف المثالية.

جدول رقم (٦): نتائج اختبار التطبيق بقائمة التحقق من الوظائف المثالية Optimal المطورة من شركة جوجل

م	ثالثًا المعايير المحسنة PWA Optimized	الحالة
١	يتم إعادة توجيه حركة مرور HTTP إلى HTTPS	Passed
٢	يوفر تجربة مثالية في حالة عدم الاتصال بالإنترنت	Passed
٣	يوفر تجربة وصول كاملة Accessibility	Passed
٤	صديق لمحرك البحث وقابل للاكتشاف أثناء البحث	Passed
٥	يعمل بكفاءة مع كافة أدوات الإدخال (الماوس، ولوحة المفاتيح، والقلم، واللمس)	Passed
٦	يطلب إذن المستخدم للسماح بثبيته	Passed
٧	يتبع أفضل الممارسات الجيدة	Moderate

بناءً على النتائج السابقة، يتضح التزام تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بكافة الوظائف الأساسية والمثالية وفق توصيات شركة Google لتطبيقات الويب التقدمية حيث حقق التطبيق ١٤ معيار من أصل ١٥ معيار في القائمتين بنسبة وصلت إلى ٩٣,٣٪، حيث حصل التطبيق في معيار الممارسات الجيدة على ٧٨٪ في اختبار أداة Lighthouse وقد أوضحنا الأسباب حينها. (LePage & Richard, 2020; Rochim et la., 2023, pp. 40-41; Hamid et al., 2022, 134)

وعليه تم التحقق من **الفرضية الثانية** للدراسة وثبت أن التطبيق المقترح يلبي معايير تطبيقات الويب التقدمية، بناءً على نتائج اختبارات أداة Lighthouse، وقوائم التحقق الأساسية والمثالية التي أظهرت التزام التطبيق بكافة المعايير، ولكنه يحتاج إلى تحسين ممارساته الفنية.

٣/١/٥ نتائج اختبار التطبيق على الأجهزة والمتصفحات المختلفة:

تم تحليل بيانات الاستخدام والحصص السوقية لعام ٢٠٢٣ فقط بواسطة أداة Statcounter، حيث اتضح أن الأجهزة المحمولة تمثل أكثر من ٥٧٪ من إجمالي الوقت اليومي الذي يقضيه المستخدمين على الإنترنت، تليها أجهزة سطح المكتب بنسبة ٤٣٪. وأنظمة التشغيل الأكثر شيوعًا هي Android بنسبة ٤٢٪ ثم Windows بنسبة ٢٩٪، وiOS بنسبة ١٨٪ تقريبًا. وأن متصفح Chrome المتصفح الأكثر استخدامًا عبر جميع الأنظمة الأساسية، وتبلغ حصته أكثر من ٦٥٪ من السوق العالمية. ويُعد متصفح Safari ثاني أكثر المتصفحات شعبية، ويرجع ذلك أساسًا إلى حالته الافتراضية على أجهزة iOS، وتبلغ حصته ما يقرب من ١٩٪. ثم متصفح Microsoft Edge حيث يمتلك أقل من ٥٪ من حصة السوق.

بناءً على نتائج تحليل الحصص السوقية والتحليل السابق لجمهور موقع المكتبة الرقمية، فإن إجراء التجربة سوف يتم على أجهزة سطح المكتب والأجهزة المحمولة، على نظم تشغيل Android وWindows وiOS. بالإضافة إلى متصفحات Chrome وSafari وEdge. وعليه فقد تم

بناء مصفوفة التوافق Compatibility Matrix التالية لاختبار التطبيق كما في جدول رقم (٧). ويتضح من الجدول توافق التطبيق بشكل كامل مع أنظمة Android وWindows سواء على سطح المكتب أو الهاتف الذكي وباستخدام أي متصفح بنسبة بلغت ١٠٠٪، ويتضح وجود إشكاليات متوقعة كما أشرنا سابقًا في بيئة نظام iOS بنسبة توافق بلغت ٨٣,٣٪؛ بينما يعتبر نظام بيئة macOS باستخدام متصفح Safari أقل النظم والمتصفحات توافقًا حيث اقتصرت قابلية التثبيت على إضافة اختصار إلى Dock وفشلت وظائف إرسال الرسائل والعمل دون إنترنت والتخزين المؤقت بنسبة بلغت ٨,٣٪، ولم تستطع الأدوات المستخدمة توفير إمكانية التصفح في الوضع الكامل لاختبار هذه الوظيفة.

جدول رقم (٧) مصفوفة التوافق Compatibility Matrix لوظائف تطبيق وحدة المكتبة الرقمية

م	الجهاز	النظام	المتصفح	قابلية التثبيت	إرسال إشعارات	العمل دون إنترنت	التخزين المؤقت	وضع الشاشة الكامل	التجاوب	%
1	سطح مكتب	Windows 11	Chrome	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	100
2	سطح مكتب	Windows 11	Edge	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	100
3	سطح مكتب	macOS sonoma*	Safari	Moderate	Fail	Fail	Fail	Not Test	Fail	8.3
4	سطح مكتب	macOS sonoma*	Chrome	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	100
5	هاتف ذكي	Android 13	Chrome	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	100
6	هاتف ذكي	Android 13	Edge	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	100
7	هاتف ذكي	iOS 17*	Safari	Passed	Not Test	Passed	Passed	Passed	Passed	83.3
8	هاتف ذكي	iOS 17*	Chrome	Passed	Not Test	Passed	Passed	Passed	Passed	83.3
										84.4

* تم استخدام أداة LambdaTest وأداة Perfecto لاختبار التطبيق افتراضيًا على نظام iOS17.1 وmacOS باستخدام متصفح Safari وChrome

وفي هذا الإطار، تتفق نتائج اختبار التوافق مع ما توصلت إليه الدراسة النظرية من خلال استقراء أدبيات الموضوع مع استنتاجات بحث ميشال بيكالا Michal Pękala الاستكشافي لمستقبل تقنية PWA في عام ٢٠٢٤ والذي أكد على الدعم الكامل لتطبيقات PWA من شركة Google وشركة Microsoft، بينما شهد عام ٢٠٢٣ توجه شركة Apple بزيادة الدعم للتقنية خاصة على الهواتف الذكية بنظام iOS (Pękala, 2023). كما تتفق نتائج الدراسة مع ما توصلت إلى دراسة جاجاثا وآخرون من أن تطبيقات PWA توفر توافقًا عبر الأنظمة المختلفة ويمكنها تقديم أداء مشابه بين كافة بيئات التشغيل الأساسية، مما يجعلها خيارًا قويًا للمطورين الذين يهدفون إلى إمكانية الوصول إلى الأجهزة على نطاق واسع (Jagatha et al., 2023). وكذلك دراسة الباحثتان دي أندرادي كارديري والتي كان من أبرز نتائجها أنه لا يوجد

إشـارة إلى أن أيًا من النظام الأصـلي أو المواقع المتجاوبة وفر تفاعلات أكثر متعة من التطبيقات التقدمية (de Andrade Cardieri & Zaina, 2018).

وبناءً على هذه النتائج فقد تم التأكد من صحة **الفرضية الثالثة** للدراسة بأن التطبيق المقترح يتوافق مع منصـات متعددة حيث يتوافق بشـكل كامل مع أنظمة Android وWindows على الهاتف وسطح المكتب وباستخدام أي متصفح، ولكنه يواجه بعض المشاكل في بيئة iOS، بينما تعتبر بيئة macOS باستخدام متصفح Safari الأقل توافقًا.

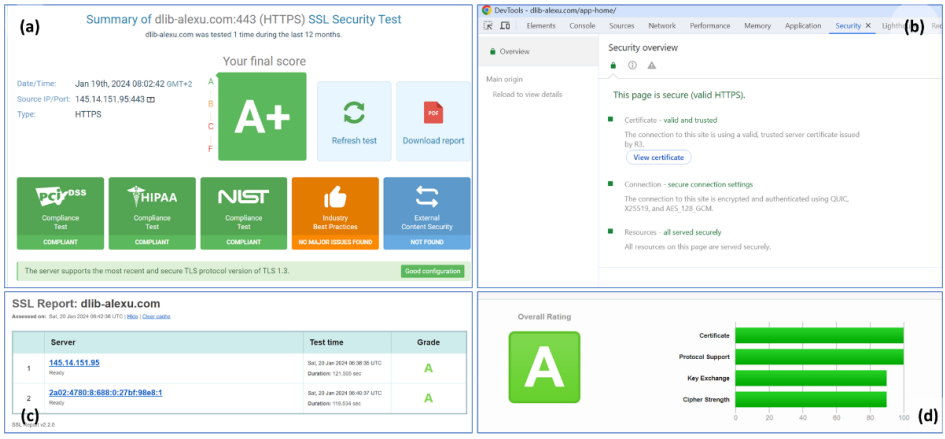
٤/١/٥ نتائج اختبار الأمان SSL/TLS:

جاءت نتائج اختبارات الأمان SSL/TLS لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية مرتفعة، ويظهر الشـكل رقم (٢٤) أربع لقطات تعرض نتائج اختبار الأمان من أدوات مختلفة، وذلك على النحو التالي:

١ تعرض اللقطة (a) ملخص اختبار الأمان من أداة SSL Security بأعلى تقييم وهو A+، وتبين أن الخادم يدعم أحدث وأكثر إصدارات بروتوكول TLS أمانًا وهو TLS 1.3.

٢ بينما تعرض اللقطة (b) نتائج اختبار الأمن من أدوات DevTools ويتضح أن التطبيق آمن تمامًا وأن بروتوكول HTTPS مفعل ويعمل بكفاءة، ويظهر أن شـهادة SSL صـالحة وموثوقة وإعدادات الاتصال آمنة وكافة الموارد مؤمنة.

٣ توضـح اللقطة (c) نتائج اختبار أداة SSLlabs لمراجعة HTTPS للتطبيق سـواء في بيئة برتوكول الإنترنت الإصـدارة الرابعة أو الإصـدارة السـادسـة وثبت أن التطبيق آمن في البيئتين بتقييم A. وتوفر لقطة (d) من نفس الأداة مدى كفاءة طبقة الأمن في التطبيق بتقييم A.



شكل رقم (٢٤): نتيجة اختبار الأمان SSL/TLS/HTTPS من أدوات اختبارات قياس الأمن المختلفة

وبذلك ثبتت صحة **الفرضية الرابعة** من فرضيات الدراسة؛ حيث جاءت نتائج اختبارات وقياسات الأمن مرتفعة، وحصل التطبيق على أعلى تقييم وهو A+ وA في كافة الاختبارات وتأكدت الدراسة أن التطبيق يوفر بيئة آمنة للمستخدمين.

٢/٥ نتائج تقييم تجربة المستخدم للتطبيق

على الجانب الآخر، بعد الانتهاء من اختبار التطبيق من جانب التطوير والتنفيذ؛ ولرسم صورة كاملة للتطبيق وبغرض التيقن من كفاءة واعتمادية وموثوقية التطبيق، كان ولا بد من إجراء اختبار وتقييم للتطبيق من جانب المستخدمين. فيما يلي عرض لنتائج اختبار الصندوق الأسود للتطبيق، ثم عرض نتائج استطلاع الرأي بشأن تقييم تجربة المستخدمين.

١/٢/٥ نتائج اختبار الصندوق الأسود:

يتعين النظر بعناية إلى أداء التطبيق والتحقق من نقاط قوته وضعفه من وجهة نظر المستخدم. وتعتبر اختبارات الصندوق الأسود حاسمة لفهم مدى تجاوب التطبيق مع مختلف الظروف والاستخدامات المحتملة (Fikri et al., 2023). يعكس جدول رقم (٨) تحليل مفصل للنتائج المتوقعة والنتيجة الفعلية للتطبيق وحالته في كل وظيفة من وظائفه، حيث يتم النظر في كل مؤشر بشكل فردي ومن ثم فحص أداءه الوظيفي للتأكد من مستوى التجربة العامة للمستخدم.

جدول رقم (٨): نتائج اختبار الصندوق الأسود لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية

الكود	العنصر المطلوب	كيفية الاختبار	النتيجة المتوقعة	النتيجة الفعلية	الحالة	الدرجة
A001	إشعار التثبيت	يُطالب التطبيق المستخدم بتثبيته على أجهزته	يظهر إشعار يطلب من المستخدم تثبيت التطبيق	ظهور الإشعار في متصفح Chrome وEdge فقط	Moderate	٠,٥
A002	تثبيت التطبيق من المتصفح	النقر على تثبيت التطبيق أو "إضافة إلى الشاشة الرئيسية"	يظهر رمز التطبيق على الشاشة الرئيسية	ظهر رمز تطبيق وحدة المكتبة الرقمية على الشاشة الرئيسية	Pass	١
A003	تشغيل التطبيق من الشاشة الرئيسية	الضغط على أيقونة التطبيق	يتم فتح التطبيق في وضع ملء الشاشة	يعمل التطبيق في وضع الشاشة الكاملة	Pass	١

الكود	العنصر المطلوب	كيفية الاختبار	النتيجة المتوقعة	النتيجة الفعلية	الحالة	الدرجة
A004	العمل أثناء وضع عدم الاتصال	إيقاف تشغيل اتصال الشبكة وإعادة تحميل التطبيق	يقوم التطبيق بتحميل المحتوى المخزن مؤقتًا ويعرض مؤشر عدم الاتصال بالإنترنت	تم تحميل المحتوى المخزن مؤقتًا دون اتصال بالإنترنت وعرض مؤشر عدم الاتصال	Pass	١
A005	إمكانية تفعيل استقبال الإشعارات	منح صلاحية استقبال الإشعارات من إعدادات التطبيق	يرسل التطبيق إشعارات إلى الجهاز	- تم منح الصلاحية - تم استقبال إشعارات	Pass	١
A006	تجاوب التطبيق مع الشاشات المختلفة	تدوير الجهاز أو تغيير حجم الشاشة	يتجاوب التطبيق مع اتجاه الشاشة ودقتها	التطبيق متجاوب مع عدة شاشات وكافة الأوضاع	Pass	١
A007	المحتوى الديناميكي يعمل أثناء عدم الاتصال	استيفاء استمارات التقدم أو حجز المواعيد أو استخدام نموذج الاتصال	التمكن من التفاعل مع النماذج وإدخال البيانات والضغط على زر الإرسال	تم التفاعل مع النماذج وإدخال البيانات عليها والضغط على زر الإرسال؛ بشرط استخدام النماذج مرة أثناء الاتصال.	Pass	١
A008	التزامن عن بعد في حال عدم الاتصال	ارسال بيانات من نماذج التقدم والحجز ونموذج الاتصال بدون انترنت	يتم ارسال البيانات بمجرد انتهاء المزامنة عند عودة الاتصال بالإنترنت	تم ارسال البيانات بمجرد عودة الاتصال لكن يُعطي إشارة خطأ قبل عودة الاتصال.	Moderate	٠,٥
A009	إمكانية التخزين المؤقت للروابط الخارجية	فتح روابط خارجية موجودة على الموقع بدون اتصال بالإنترنت	يتم فتح الروابط بكفاءة.	تم فتح الروابط بكفاءة بشرط أن يكون تم الاطلاع عليها مرة سابقة أثناء الاتصال.	Pass	١

الكود	العنصر المطلوب	كيفية الاختبار	النتيجة المتوقعة	النتيجة الفعلية	الحالة	الدرجة
A010	إمكانية تخزين الوسائط والملفات	فتح ملفات الوسائط موجودة على الموقع بدون اتصال.	يتم فتح الملفات واستخدامها بكفاءة.	تم فتح الملفات بشرط أن يتم فتحها مرة واحدة أثناء الاتصال.	Pass	١
A011	يمكن استخدامه من سطح المكتب	تثبيت وفتح التطبيق من على سطح المكتب	يعمل التطبيق بكفاءة بكافة وظائفه ويتجاوب مع الشاشة.	تم تثبيت وفتح التطبيق من على سطح المكتب ويوجد به كافة الميزات.	Pass	١
A012	إمكانية تثبيت عبر متاجر التطبيقات	فتح متاجر التطبيقات والبحث عن التطبيق وتثبيته	التطبيق متاح على المتاجر ويمكن تثبيته بسهولة	التطبيق غير موجود على أي من متاجر التطبيقات	N/A	٠
A013	يعمل مع كافة أدوات الإخال	يتم تجربة التعامل مع التطبيق من خلال الماوس / لوحة المفاتيح/ القلم/ اللمس	التطبيق يعمل عبر هذه الطرق بكل كفاءة ودون أي اختلاف	تم استخدام كافة الأدوات والتطبيق يستجيب لها بكفاءة	Pass	١
A014	يتوافق مع ميزات الهاتف وسطح المكتب	يتم تجربة التعامل مع الكاميرا والصوت وGPS والمايك من خلال التطبيق في أجهزة متعددة	- التطبيق يعمل بكفاءة مع كافة الميزات. - التطبيق يطلب السماح باستخدام هذه الميزات.	- تم تجربة الصوت فقط مع التطبيق لأن باقي الميزات غير مطلوبة. - التطبيق يطلب السماح لاستخدام هذه الميزات	Pass	١
A015	وضع التصفح Browser mode / Minimal-ui	يتم تجربة عناصر التحكم في التنقل داخل التطبيق مثل أزرار الرجوع والتحديث	التمكن من الرجوع للخلف وتحديث صفحات التطبيق مثل التطبيقات الأصلية	زر الرجوع للخلف يعمل بكفاءة ويمكن تحديث الصفحات بدون أي إشكاليات	Pass	١
				الإجمالي		١٣

يوضح الجدول رقم (٨) نتائج اختبار الصندوق الأسود لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية؛ حيث يظهر إنجازًا ملحوظًا في أغلب وظائف تطبيق الويب التقدمي حيث حصل على ١٣ درجة بنسبة بلغت (٨٦,٦٪). ويُعد تحقيق النجاح بالدرجة الكاملة في ١٢ معيار مؤشرًا إيجابيًا على جودة التطبيق وقدرته على تلبية توقعات المستخدم.

ومع ذلك، يظهر من خلال تحليل المؤشرات A001 وA008 وA012 النقاط التي تحتاج إلى اهتمام إضافي. فعلى سبيل المثال، على الرغم من تأكيد التثبيت بنجاح، تتطلب عملية التثبيت مزيد من التوسع في التوافق مع بيئة iOS وبيئة MacOS لتحسين تجربة المستخدم وهو أمر يعود إلى سياسة شركة Apple المتحفظة بشكل عام في تنفيذ أي تقنية جديدة دون دراسة لسنوات طويلة. ويُعَد مؤشر التزامن في حالة عدم الاتصال (A008)، أمرً يتطلب اتخاذ إجراءات فعّالة لتعزيز تزامن التطبيق دون ظهور رسائل عدم الاتصال للمستخدم. من الجهة الأخرى، فإن مؤشر (A012) المتعلق بعدم إتاحة التطبيق في متاجر التطبيقات فإن دراسة الجدوى المبنية على القيمة مقابل التكلفة وجدت عدم جدواه نظرًا للتكلفة المرتفعة. وبشكل عام تظهر نتائج تحليل اختبار الصندوق أداءً إيجابيًا للتطبيق مع الحاجة للتركيز على تحسينات محددة وقليلة لتحقيق تجربة مستخدم فعّالة وثابتة.

وبذلك ثبتت صحة **الفرضية الخامسة** من فرضيات الدراسة؛ حيث أظهرت نتائج اختبار الصندوق الأسود لتطبيق وحدة المكتبة الرقمية أن التطبيق يقدم أداءً مرتفعًا في أغلب وظائف تطبيقات الويب التقدمية وأن الوظائف التي لم يجتازها مثل التوافق مع أنظمة iOS أو MacOS ليس السبب فيها يعود إلى جودة التطبيق، بل إلى سياسة شركة Apple المتحفظة.

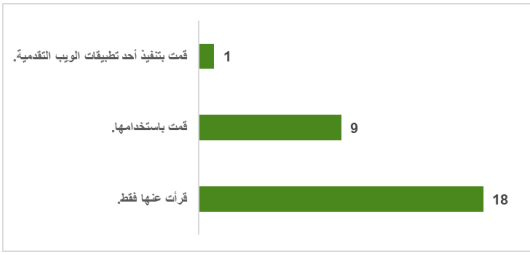
٢/٢/٥ نتائج اختبار تجربة المستخدم

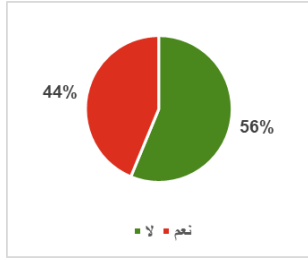
استخدمت الدراسة أداة UEQ المعتمدة لإجراء اختبار تجربة المستخدم على ٦٤ مشاركًا، حيث قيّم المشاركون ٦ مقاييس من خلال هذه الأداة وهي الوضوح والكفاءة والاعتمادية (مقاييس سهولة الاستخدام الكلاسيكية) والجاذبية والتحفيز والحداثة (جوانب تجربة المستخدم) كما أوضحنا في منهجية الدراسة.

أولاً مدى وعي عينة الدراسة بتقنية تطبيقات الويب التقدمي:

قبل بدأ الاختبار تم قياس مدى معرفة المشاركين لتقنية الويب التقدمي ويتضح من شكل رقم (٢٥) أن ٤٤٪ من عينة الدراسة (بعدد ٢٨ مشارك) فقط كانوا على دراية بالتقنية وأن (٦٤,٢٪) منهم قرأ عنها فقط بينما (٣٢٪) منهم استخدمها ومستجيب واحد فقط قام بتنفيذ أحد التطبيقات. وترى الباحثة أن معرفة ٤٤٪ من المشاركين بتقنية PWA أمرًا إيجابيًا حيث أظهرت

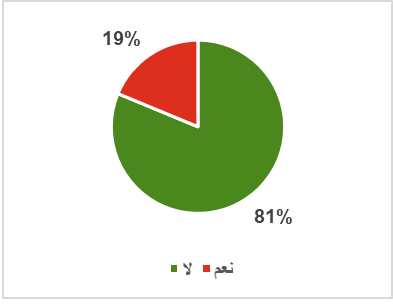
الإحصائية التي قامت بها شركة SearchNode التي تقدم حلول تكنولوجية لشركات التجارة الإلكترونية في أمريكا الشمالية وأوروبا أن ٢٥٪ من صناع القرار في هذه الشركات لم يكن لديهم معرفة مسبقة بتقنيات PWA. وهذا يؤكد أن من أبرز العقبات التي تواجهها هذه التقنية عدم إلمام مستخدمين الإنترنت بها (SearchNode, 2021, p. 22).



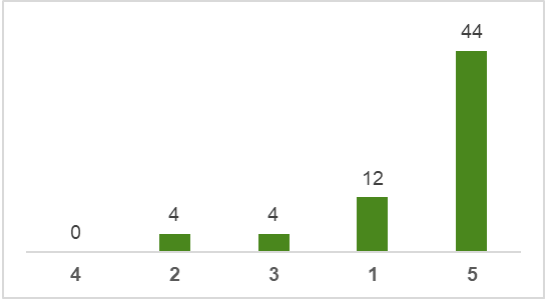


شكل رقم (٢٥): معرفة المشاركين المسبقة بتقنية PWA

وفي ذات السياق، فإن أشكال رقم (٢٦-٢٧) يوضح أن نسبة (٨١٪) من عينة الدراسة رأت عدم الحاجة إلى شرح طريقة تثبيت التطبيقات التقدمية، حيث قيم (٦٨,٧٥٪) من المشاركين تثبيت التطبيق بمقياس ٥ نقاط، بينما وجد (١٨,٧٥٪) من المشاركين أن تثبيت التطبيق صعب للغاية حيث تم تقييمه بمقياس نقطة واحدة فقط. وهذه النتيجة تختلف مع ما توصلت إليه دراسة بيرجرين حيث أظهرت النتائج أن تثبيت PWA كان أكثر صعوبة وإرباكًا من طرق التثبيت التقليدية. علاوة على ذلك، تم الكشف عن أن المشاركين لم يكونوا على علم بتطبيقات PWA من قبل (Berggren, 2022). وعلى كل الأحوال، قامت الباحثة بإعداد فيديو (مدته ٤٥ ثانية) لشرح طريقة تثبيت التطبيق تيسيرًا على المشاركين.



شكل رقم (٢٦): شرح طريقة التثبيت



شكل رقم (٢٧): سهولة تثبيت التطبيق

ثانيًا نتائج تجربة المستخدم لكل عنصر في اختبارUEQ:

توفر نتائج تجربة المستخدم تفاصيل ثرية عن تقييم المشاركين لكل جانب، حيث يمكن ملاحظة أن التطبيق يحظى بتقييم إيجابي بشكل عام، وتُظهر النتائج التطبيق بكونه سريع وسهل التعلم ويمكن الاعتماد عليه إلا أن هناك بعض النقاط التي يحتاج إلى تحسينها. حيث

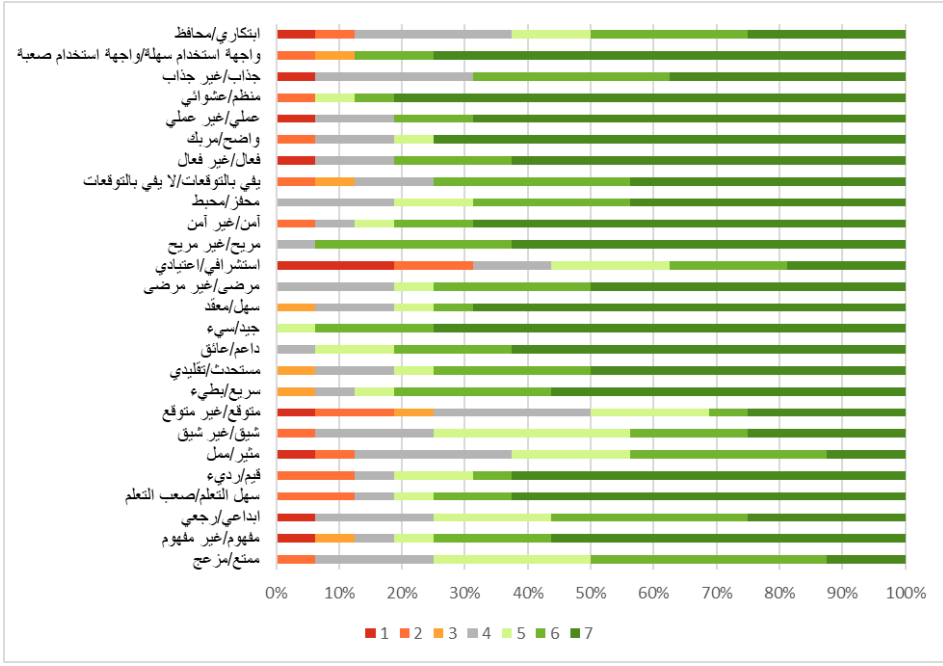
يوضح الشكل رقم (٢٨) متوسط النقاط التي حصل عليها التطبيق في كل عنصر من ستة وعشرون عنصرًا، بالإضافة إلى الانحراف المعياري والتباين لكل عنصر.

م.	العنصر	المقياس	المتوسط	التباين	الانحراف المعياري
1	ممتع/مزعج	الجاذبية	1.3	1.6	1.3
2	مفهوم/غير مفهوم	الوضوح	1.9	3.0	1.7
3	رجعي/ابداعي	الحداثة	1.4	2.4	1.5
4	صعب التعلم/سهل التعلم	الوضوح	1.9	3.0	1.7
5	رديء/قيم	التحفيز	1.9	3.0	1.7
6	مثير/ممل	التحفيز	0.9	2.7	1.6
7	شيق/غير شيق	التحفيز	1.3	1.9	1.4
8	متوقع/غير متوقع	الاعتمادية	0.6	3.6	1.9
9	بطيء/سريع	الكفاءة	2.2	1.4	1.2
10	تقليدي/مستحدث	الحداثة	2.0	1.7	1.3
11	داعم/عائق	الاعتمادية	2.4	0.9	0.9
12	سيء/جيد	الجاذبية	2.7	0.3	0.6
13	سهل/معقد	الوضوح	2.2	1.8	1.3
14	مرضي/غير مرضي	الجاذبية	2.1	1.3	1.2
15	استثنائي/اعتيادي	الحداثة	0.3	4.8	2.2
16	مريح/غير مريح	الجاذبية	2.5	0.6	0.8
17	غير آمن/آمن	الاعتمادية	2.3	2.0	1.4
18	محبط/محفز	التحفيز	1.9	1.3	1.2
19	لا يفي بالتوقعات/يفي بالتوقعات	الاعتمادية	1.8	2.5	1.6
20	فعال/غير فعال	الكفاءة	2.1	2.7	1.7
21	مربك/واضح	الوضوح	2.2	2.3	1.5
22	عملي/غير عملي	الكفاءة	2.1	2.8	1.7
23	عشوائي/منظم	الكفاءة	2.5	1.7	1.3
24	غير جذاب/جذاب	الجاذبية	1.6	2.8	1.7
25	واجهة استخدام صعبة/واجهة استخدام سهلة	الجاذبية	2.3	2.3	1.5
26	ابتكاري/محافظ	الحداثة	1.1	3.1	1.8

شكل رقم (٢٨): متوسط النقاط لكل عنصر في اختبار تجربة المستخدم

بتحليل شكل رقم (٢٨) يتضح أن القيمة المتوسطة لجميع عناصر الاختبار تخطت قيمة ١< ماعدا ثلاثة عناصر فقط وأنه لا يوجد أي عنصر حصل على نقاط صفر أو أقل. مع ذلك هناك بعض العناصر يمكن تطويرها لتحسين تجربة المستخدم بشكل أكبر مثل عنصر (متوقع/ غير متوقع) بلغت القيمة المتوسطة (٠,٦)، وعنصر (استشرافي/اعتيادي) بلغت القيمة المتوسطة (٠,٣)، ومثير/ممل بلغت القيمة المتوسطة (٠,٩). ويُلاحظ أن انخفاض متوسطات هذه العناصر قد يكون لها جانب إيجابي أيضًا وهو ما سوف يتم توضيحه فيما بعد. ويعكس الجدول أيضًا اختلاف الانحراف المعياري والتباين من عنصر لآخر؛ حيث تُظهر بعض العناصر انحرافًا معياريًا منخفضًا، مما يشير إلى اتفاق عام بشأن تقييم تلك العناصر، بينما تظهر عناصر أخرى انحرافًا معياريًا أعلى، مما يشير إلى وجود تباين في الآراء بشأن تلك العناصر. وأكثر العناصر التي تباينت الآراء حولها هي ذات العناصر منخفضة المتوسط. بشكل عام، تعتبر هذه النتائج مفيدة لفهم مدى فاعلية التطبيق الحالي وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين لتلبية احتياجات المستخدمين بشكل أفضل.

ويتضح ذلك بشكل أكثر تفصيلاً من خلال الشكل رقم (٢٩) الذي يرصد توزيع النقاط لكل عنصر في الاختبار من خلال مقياس ثنائي من ١ إلى ٧، حيث يمثل الرقم ١ أداءً سلبيًا للتطبيق، بينما يمثل الرقم ٧ أداءً إيجابيًا للتطبيق.



شكل رقم (٢٩): توزيع النقاط لكل عنصر في اختبار تجربة المستخدم

يُبين الشكل رقم (٢٩) توزيع تقييمات المشاركين في كل عنصر على حدة. لتحديد عدد العناصر التي حصلت على تقييمات إيجابية عالية (٧ أو ٦) من أكثر من نصف المشاركين، تم اتباع الخطوات التالية:

- حساب مجموع التقييمات ٧ و٦ لكل عنصر.
- حساب النسبة بين هذا المجموع وعدد المشاركين لكل عنصر.
- مقارنة هذه النسبة بالقيمة ٠,٥ وتعني (نصف عدد المشاركين)
- اعتبار العنصر مقبولاً إذا كانت النسبة أكبر من أو تساوي ٠,٥

باستخدام هذه الطريقة، تبين أن ٢٢ عنصرًا من أصل ٢٦ عنصرًا أي بنسبة بلغت (٨٤,٦٪) حصلوا على تقييمات إيجابية عالية من أكثر من نصف المشاركين. وهذا يدل على رضا المشاركين عن التطبيق في هذه العناصر. بالمقابل، لتحديد عدد العناصر التي حصلت على تقييمات سلبية عالية (١ و٢) من أكثر من نصف المشاركين، تم اتباع الخطوات نفسها مع

استبدال التقييمات (٧ أو ٦) بالتقييمات (١ أو ٢). وتبين عدم وجود أي عنصر حصل على تقييمات سلبية عالية من أكثر من نصف المشاركين. وهذا يدل على جودة التطبيق وتقديمه تجربة لائقة للمستخدمين.

وتم حساب مقياس رضا المستخدمين لكل عنصر بطرح عدد التقييمات السلبية (١ و٢) من عدد التقييمات الإيجابية (٦ و٧) وقسمتها على عدد المشاركين بحيث تتراوح النتيجة بين -١ و١، وتعني القيم السالبة عدم رضا المشاركين عن التطبيق والقيم الموجبة تعني رضا المشاركين، بينما القيمة صفر تعني الحياد. الصيغة الرياضية لمقياس الرضا هي:

$$S = \frac{(N_6 + N_7) - (N_1 + N_2)}{N}$$

حيث:

- S هو مقياس الرضا لعنصر معين.
- N_1 هو عدد الإجابات ١ لذلك العنصر.
- N_2 هو عدد الإجابات ٢ لذلك العنصر.
- N_6 هو عدد الإجابات ٦ لذلك العنصر.
- N_7 هو عدد الإجابات ٧ لذلك العنصر.
- N هو عدد المشاركين في الاستبيان.

وبتطبيق هذه المعادلة على ٢٦ عنصر يتضح أن أفضل العناصر هي العناصر التي لها أعلى قيمة لمقياس الرضا، وهي العناصر (سهولة الفهم) و(الجودة) و(التنظيم) بقيمة رضا بلغت (٠,٣٧٥) لكل عنصر، و(الدعم) و(الوضوح) بقيمة رضا بلغت (٠,٣١٢٥) لكل منهما، هذه العناصر تعبر عن الجوانب الإيجابية للتطبيق. أما أقل العناصر هي العناصر التي لها أدنى قيمة لمقياس الرضا، وهي العناصر (التوقع) و(الاستشراف) بقيمة رضا تساوي صفر (الحياد) بينما لا يوجد أي عنصر حصل على قيم سالبة.

ثالثًا نتائج تجربة المستخدم لمقاييس الاختبار:

لترجمة تلك النتائج إلى تقييم ملموس، تم توزيع العناصر الستة وعشرون على ستة مقاييس هي الجاذبية والوضوح والكفاءة والاعتمادية والتحفيز والحداثة، ويوضح الجدول (٩) متوسط تقييم المستخدمين للتطبيق والانحراف المعياري ومجال الثقة بنسبة ٩٥٪ لكل مقياس من مقاييس التقييم على حدة.

جدول رقم (٩): المتوسط والانحراف المعياري لمقاييس تجربة المستخدم

المقياس	المتوسط	الانحراف المعياري	ن N	الخطأ المعياري	مدى الثقة ٩٥٪	
الجاذبية	2.063	0.827	64	0.203	1.860	2.265
الوضوح	2.047	1.401	64	0.343	1.704	2.390
الكفاءة	2.219	0.996	64	0.244	1.975	2.463
الاعتمادية	1.734	1.167	64	0.286	1.449	2.020
التحفيز	1.500	1.244	64	0.305	1.195	1.805
الحداثة	1.188	1.146	64	0.281	0.907	1.468

* معامل خطأ Alpha = 0.05 لكل مقياس

وبتحليل الجدول رقم (٩) يتضح أن:

١ المقياس الذي حصل على أعلى متوسط هو الكفاءة بقيمة بلغت (٢,٢١٩)، وهذا يعني أن المشاركين يعتقدون أن التطبيق يتيح لهم إنجاز مهامهم بسرعة وسهولة.

٢ المقياس الذي حصل على أدنى متوسط هو الحداثة بقيمة بلغت (١,١٨٨)، وهذا يعني أن المشاركين لا يعتقدون أن التطبيق يقدم لهم شيئًا مبتكرًا أو غير متوقع.

٣ المقياس الذي حصل على أدنى انحراف معياري هو الجاذبية (٠,٨٢٧)، وهو ذات المقياس الذي حصل على أضيق مدى ثقة ٩٥٪ بقيمة (٠,٤٠٥). وهذا يعني أن هناك توافقًا نسبيًا بين المشاركين حول مدى جاذبية وقيمة التطبيق.

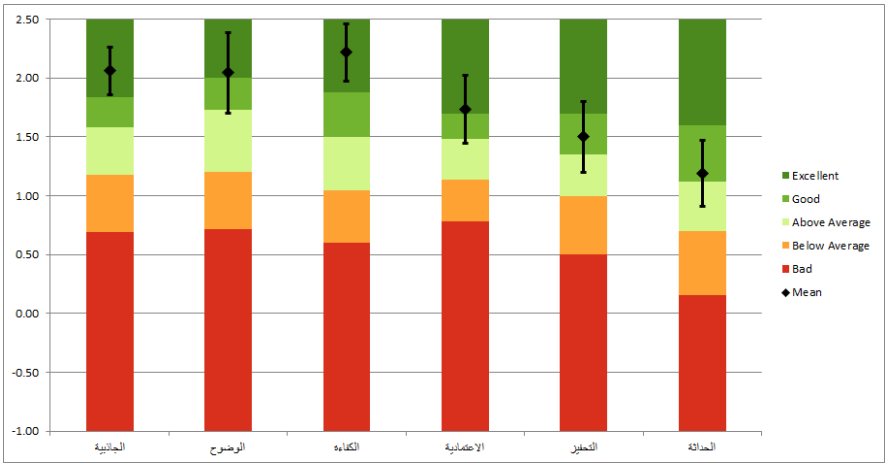
٤ المقياس الذي حصل على أعلى انحراف معياري هو الوضوح بقيمة بلغت (١,٤٠١)، وهو ذات المقياس الذي حصل على أوسع مدى ثقة ٩٥٪ بقيمة بلغت (٠,٦٨٦). وهذا يعني أن هناك تباينًا في آراء المشاركين حول مدى وضوح التطبيق.

وتظهر هذه النتائج أن متوسطات عناصر التقييم تتراوح من ١,١٨٨ في مقياس الحداثة إلى ٢,٢١٩ في مقياس الكفاءة، مما يبين ارتفاع معدل رضا المستخدمين عن التطبيق. وتتراوح قيم الانحراف المعياري بين ٠,٨٢٧ و١,٤٠١ مما يدل على تجانس آراء المشاركين نسبيًا وينعكس ذلك أيضا على قيم الخطأ المعياري حيث كانت قيمتها القصوى ٠,٣٤٣ في مقياس الوضوح وقيمتها الأدنى في مقياس الجاذبية ٠,٢٠٣.. لفهم هذه النتائج بشكل سليم كان ولابد من إجراء مقارنة للتطبيق مع المنتجات المناظرة وهو ما يُعرف المقارنة المرجعية Benchmarking.

رابعًا المقارنة المرجعية للتطبيق Benchmarking:

تعتبر نتائج اختبار تجربة المستخدم هي آراء وانطباعات المشاركين في التجربة عن التطبيق وللحكم على النتائج المستخرجة من التجربة بشكل علمي، وفرت أداة UEQ مجموعة بيانات Data Set تضم نتائج ٤٦٨ دراسة تتعلق بمنتجات مختلفة (برامج، صفحات الويب، متاجر

الويب، الشبكات الاجتماعية) تم تجميعها من ٢١١٧٥ مشاركًا. تُمكن مقارنة نتائج تقييم التطبيق التقدمي لوحدة المكتبة الرقمية مع النتائج السابقة من رسم صورة محايدة للجودة النسبية للتطبيق الحالي مقارنة بالمنتجات الأخرى. يعكس شكل رقم (٣٠) نتيجة المقارنة المرجعية للتطبيق مع نظراءه موضحًا التقييم في المقاييس الستة للوقوف على مدى قبول المشاركين للتطبيق محل الدراسة.



شكل رقم (٣٠): نتيجة المقارنة المرجعية للتطبيق مع Benchmark

يوضح الشكل رقم (٣٠) متوسط التقييم لكل مقياس ومجال الثقة بنسبة ٩٥٪ (الخطين العلوي والسفلي) على خط متدرج الألوان من الأحمر إلى الأخضر ممثلا للقيم المرجعية من الدراسات السابقة. ويتضح أن نتائج درجات التطبيق محل الدراسة لمقاييس الجاذبية والكفاءة يقعان بالكامل في منطقة "ممتاز". وأن درجات التطبيق لمقاييس الوضوح والاعتمادية يقع متوسطها في منطقة "ممتاز" ويصل الحد الأدنى لمجال الثقة لها إلى أعلى منطقة " فوق المتوسط". في حين أن درجات مقاييس الحداثة والتحفيز يقع متوسطهما في منطقة "جيد" وتمتد مجالات الثقة لهما من منطقة "فوق المتوسط" إلى منطقة "ممتاز". ويدل ذلك على رضا المشاركين عن التطبيق بشكل كبير مقارنة بالقيم المرجعية من الدراسات السابقة.

شكل رقم (٣١): أهمية التطبيق وفق آراء المشاركين

وتدعم النتائج ما يبينه شكل رقم (٣١) من أهمية التطبيق وفق آراء المشاركين، حيث ذهب ثلاثة أرباع المشاركين (٧٥٪) بما يعادل ٤٨ مشاركًا من عينة الدراسة إلى أن التطبيق مفيد لسهولة الوصول إلى المعلومات والوثائق المطلوبة ويمكن تصفحه دون الحاجة إلى اتصال بالإنترنت. بينما ربع المشاركين (٢٥٪) يختلفون في رأيهم بين ضرورة إنشاء تطبيق أصلي للمكتبة يوفر مزايا أكثر وبين الاستغناء عن أي تطبيق والاكتفاء بموقع المكتبة الإلكتروني وأنه لا فائدة من إنشاء تطبيق سواء أصلي أو تقدمي.

وبتحليل كافة نتائج تجربة المستخدم، يمكن التأكيد بصحة **الفرضية الخامسة** للدراسة بأن التطبيق المقترح يحسن تجربة المستخدمين، حيث حصلت جميع عناصر الاختبار على قيم مرتفعة عدا ثلاثة عناصر فقط من أصل ٢٦ عنصر، وجاءت متوسطات عناصر التقييم للتطبيق مرتفعة في جميع المقاييس فقد كانت الحداثة أقلها بقيمة (١,١٨٨) والكفاءة أعلاها بقيمة (٢,٢١٩). وجاءت آراء المشاركين متجانسة نسبيًا، مما يعكس رضا المشاركين عن التطبيق مقارنة بالتطبيقات المماثلة.

٦ استنتاجات الدراسة

١ ابتكرت تقنية تطبيقات الويب التقدمية PWAs على يد اليكس راسل وفرانسيس بريمان في ٢٠١٥، وتبنت شركة Google معيار تطبيقات الويب التقدمية منذ عام ٢٠١٧ كمعيار جديد لتطوير الويب. وكذلك أعلنت شركة مايكروسوفت في ٢٠١٧ دعمها للتقنية، بينما أعلنت شركة آبل دعمها للتقنية في عام ٢٠١٨. وشهد عام ٢٠٢٣ دفعة كبيرة في دعم هذه التطبيقات من شركتي Apple وMicrosoft. إلا أن التقنية لا تزال في مرحلة التطوير والتحسين، وقد تواجه بعض التحديات في بعض البيئات والمنصات، خاصة MacOS. لذلك لابد من القيام بالاختبارات والتجارب اللازمة قبل توظيف هذه التقنية.

٢ تتباين الأجهزة والمتصفحات والنظم التي يستخدمها زوار موقع وحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية للوصول إلى خدمات الوحدة. وهذا يعني أن تطوير تطبيق أصلي للوحدة قد يكون مكلفًا ومعقدًا ولا يضمن تغطية جميع المستخدمين. لذلك من الأفضل البحث عن حلول بديلة توفر تجربة مستخدم محسنة ومتجانسة وتدعم منصات متعددة.

٣ تعتبر تقنية تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) حلاً اقتصاديًا ومناسبًا لتطوير تطبيقات الأجهزة المحمولة لمؤسسات المعلومات، حيث تقلل من التكلفة والتعقيد وتزيد من الفعالية والكفاءة. وأسفرت المقارنة المنهجية لتقنيات تطبيقات الهاتف المحمول المختلفة عن أن

تطبيقات الويب التقدمية هي الخيار الأمثل لوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية لأنها تمثل خيارًا مميزًا ومنافسًا لتحسين تجربة المستخدمين وتلبية احتياجاتهم.

٤ تطبيق PWA المقترح لوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية يتوافق بمؤشرات إيجابية مرتفعة مع معايير تطبيقات الويب التقدمية الأساسية والمثالية التي حددتها شركة Google. وحقق التطبيق إنجازًا ملحوظًا في أغلب وظائفه وكذلك في اختبارات الأمان، مما يدل على أن أداء التطبيق مرتفع ويوفر بيئة آمنة. ومع ذلك، يحتاج التطبيق إلى بعض التحسينات في ممارساته الفنية.

٥ يتميز التطبيق المقترح بمستوى عالٍ من التوافق مع معظم الأجهزة والمتصفحات المستخدمة من قبل مستفيدي الوحدة. حيث يعمل التطبيق بشكل سلس ومريح على أنظمة Android وWindows ومتصفحات Chrome وSafari وEdge. ومع ذلك، يحتاج التطبيق إلى بعض التطوير والتحسين في بيئة iOS وخاصة في بيئة macOS باستخدام متصفح Safari. إذ قد تتأثر تجربة المستفيدين الذين يستخدمون هذه البيئات.

٦ تتمتع عينة الدراسة بمستوى متوسط من الدراية بتطبيقات الويب التقدمية (PWAs)، حيث إن نصف المشاركين قد قرأ أو سمع عن هذه التقنية، وثلثهم قد جربوها بأنفسهم. ويعني هذا أن عينة الدراسة لديها اهتمام وفضول بشأن هذه التقنية وما تقدمه من مزايا وفوائد.

٧ يحسن التطبيق المقترح تجربة المستخدمين بشكل ملحوظ، حيث حصلت معظم عناصر اختبار تجربة المستخدم على تقييمات إيجابية عالية من قبل المشاركين، وحصلت العناصر المتعلقة بسهولة الفهم والجودة والتنظيم والوضوح على أعلى قيم رضا. وأن آراء المشاركين كانت متجانسة نسبيًا. ويدل هذا على أن التطبيق يلبي احتياجات وتوقعات المستخدمين.

٨ يتفوق التطبيق المقترح على معظم التطبيقات المماثلة في مقاييس الجاذبية والكفاءة والوضوح والاعتمادية، حيث حقق التطبيق تقييم "ممتاز" في هذه المقاييس مقارنة بمجموعة بيانات تضم نتائج ٤٦٨ دراسة تتعلق بمنتجات مماثلة. ويدل هذا على أن التطبيق يقدم تجربة مستخدم متميزة عن غيره من التطبيقات.

٩ يحقق التطبيق المقترح أحد أهم أهداف تقنية تطبيقات الويب التقدمية (PWAs) وهو توفير سهولة الوصول والتصفح دون اتصال، حيث اعتبر ٧٥٪ من المشاركين التطبيق مفيدًا لهذا السبب، بينما ٢٥٪ منهم اختلفوا بين الحاجة إلى تطبيق أصلي أو الاكتفاء بموقع المكتبة.

١٠ يتمتع تطبيق وحدة المكتبة الرقمية بنقاط قوية في الجاذبية والوضوح والكفاءة والاعتمادية، ولكنه يفتقر قليلًا إلى الحداثة والتحفيز. هذا يعني أن التطبيق يوفر تجربة

مستخدم جيدة من حيث القابلية والاعتمادية للاستخدام، ولكنه لا يوفر تجربة مستخدم ممتعة أو مثيرة. ويمكن التركيز على إضافة بعض العناصر الابتكارية أو المحفزة للتطبيق من أجل تحسين تجربة المستخدم. مع ضرورة التأكيد أن التطبيق ليس من ضمن أهدافه الرئيسية تقديم تجربة ممتعة بقدر تقديم فرص إضافية للوصول إلى المعلومات والوثائق المطلوبة للحصول على خدمات وحدة المكتبة الرقمية.

١١ ستلعب تقنية PWA دورًا مهمًا في مستقبل تطوير التطبيقات. إلا أنها لن تحل محل التطبيقات الأصلية بشكل كامل، حيث لا يزال هناك العديد من السيناريوهات التي تكون فيها التطبيقات الأصلية أكثر منطقية.

٧ توصيات الدراسة

أولاً توصيات موجهة للمجتمع الأكاديمي (الجامعات والمكتبات والباحثين):

١ ضرورة اتخاذ خطوات جادة من جانب المكتبات ومؤسسات المعلومات العربية نحو توظيف تقنيات تطبيقات الويب التقدمية في مؤسساتهم خاصة في ضوء انخفاض تكلفتها بشكل ملحوظ وسهولة تحديثها وصيانتها وقدرتها على تعزيز التواصل مع المستفيدين وتوسيع نطاق الوصول ودعمها لبيئات متعددة.

٢ يُنصح بقيام المكتبات بتعزيز برامج التعليم والتدريب لتشمل تقنية تطبيقات الويب التقدمية، وتكثيف الجهود نحو تثقيف وتوعية المستخدمين لفوائد وتحديات استخدام تطبيقات الويب التقدمية.

٣ يُفضل أن تشجع الجامعات والجهات المانحة البحث والابتكار في مجال تطوير تطبيقات الويب التقدمية من خلال دعم المشاريع والبرامج البحثية المتعلقة بهذه التقنية.

٤ على الباحثين في مجال المعلومات استكشاف فرص توظيف تطبيقات الويب التقدمية لتعزيز الخدمات والعمليات وتحسين تجربة المستخدم في المكتبات ومؤسسات المعلومات من خلال القيام بالدراسات التطبيقية لاستثمار فوائد هذه التقنية.

ثانيًا توصيات موجهة لوحدة المكتبة الرقمية بجامعة الإسكندرية:

٥ يُلزم على وحدة المكتبة الرقمية التركيز على تحسين تجربة المستخدم عبر تضمين ميزات جديدة ومبتكرة في التطبيق، مما يساهم في جعل التطبيق أكثر جاذبية وفائدة للمستخدمين.

٦ ينبغي على وحدة المكتبة الرقمية بالجامعة القيام بعمليات تقييم دورية ومستمرة لأداء التطبيق ورضا المستخدم، واستخدام هذه البيانات لتحديث وتحسين التطبيق بشكل مستمر لضمان استمرار جودته وملائمته لاحتياجات المستخدمين.

ثالثًا توصيات موجهة للشركات الداعمة للتقنية والمطورين:

٧ توصى الدراسة بمواصلة شركة جوجل تبني وتطوير معيار تطبيقات الويب التقدمية وتوفير المزيد من الأدوات والموارد للمطورين لتسهيل عملية تطوير وتحسين هذه النوعية من التطبيقات.

٨ تشجيع العمل على توفير حلول فعّالة للتحديات التقنية التي قد تواجه تقنيات PWA والتأكيد على جودة وتوافق التطبيقات مع البيئات والنظم والمتصفحات المتعددة.

٩ ضرورة تواصل الشركات الداعمة لتقنية PWA مع مطوري التطبيقات والمجتمع العلمي والمستخدمين لفهم وتحليل احتياجاتهم وتطلعاتهم وتوجيه الجهود نحو تلبية هذه الاحتياجات.

١٠ توصى الدراسة شركة آبل بالعمل على تعزيز توافق تقنيات PWA مع متصفح Safari وأنظمة تشغيل iOS وMac لتحقيق تجارب متميزة للمستخدمين عبر منصات متعددة أسوة بشركتي جوجل ومايكروسوفت.

الشكر: تشكر الباحثة جامعة الإسكندرية للسماح لها بإجراء البحث، كما تتوجه بالشكر للعاملين بالمكتبات الرقمية بكليات ومعاهد الجامعة وبالأخص أستاذة إيمان رجب صديق للمساعدة في توزيع اختبار تجربة المستخدم وتجميع الاستجابات بما يضمن عدم تضارب المصالح.

٨ المراجع:

Adetunji, O., Awoniyi, A., & Abel, S. (2023). Evolving book sales: From scrolls to progressive web apps in online bookstores. *European Modern Studies Journal*, *7*(4), 380–389. https://doi.org/10.59573/emsj.7(4).2023.34

Alfath, M. F., Fanani, L., & Kharisma, A. P. (2023). Pengembangan aplikasi berlatih membaca cepat berbahasa inggris berbasis progressive web app dengan metode prototyping. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, *10*(7), 1461–1468. https://doi.org/10.25126/jtiik.1077982

Ali, S., Grover, C., & Chaudhary, R. (2023). Progressive web apps (Pwas)—Alternate to mobile and web. In P. Dutta, S. Chakrabarti, A. Bhattacharya, S. Dutta, & V. Piuri (Eds.), *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security* (Vol. 491, pp. 565–576). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4193-1_55

Alshamrani, A., & Bahattab, A. (2015). A Comparison Between Three SDLC Models Waterfall Model, Spiral Model, and Incremental/Iterative Model. *I International Journal of Computer Science Issues*, *12*(1), 106–111. https://www.ijcsi.org/papers/IJCSI-12-1-1-106-111.pdf

Aminudin, A., Basren, B., & Nuryasin, I. (2019). Perancangan sistem repositori tugas akhir menggunakan progressive web app(Pwa). *Techno.Com*, *18*(2), 154–165. https://doi.org/https://doi.org/10.33633/tc.v18i2.2309

Bachri, S., Sumarmi, S., Irawan, L. Y., Masruroh, H., Hakiki, A. R. R., Hidiyah, T. M., Billah, E. N., Putri, N. R. C., Prastiwi, M. R. H., & Zimo, H. (2023). Developing geoweb semeru based on progressive web app to improve disaster awareness of elementary school students in semeru volcano area. In A. Nugroho Widiadi, S. Osman, I. Idris, & A. Mohd Tayeb (Eds.), *Proceeding of the 3rd: Change and Continuity in Southeast Asia* (Vol. 800, pp. 303–320). Atlantis Press SARL.

https://doi.org/https://doi.org/10.2991/978-2-38476-168-5_27

Băjenaru, L., Marinescu, I. A., Giura, I., & Simion, E. (2022). Innovative system for preservation and valorization of the romanian literary heritage: Intellit platform. *Romanian Cyber Security Journal*, *4*(2), 71–84. https://doi.org/10.54851/v4i2y202208

Berggren, L. (2022). The User Experience of the Installation Process of Progressive Web Applications: A User Test. In L. Jiang, A. Jonsson, & V. Lois (Eds.), *Proceedings of Ume˚a's 25th Student Conference in Computing Science* (pp. 1–14). Department of Computing Science - Umeå University. https://webapps.cs.umu.se/uminf/reports/2022/001/part1.pdf#page=7

Berggren, W. (2023). *An analysis and comparison of the Native mobile application versus the Progressive web application* [Degree of Bachelor, Mid Sweden University, Faculty of Science, Technology and Media, Department of Computer and Electrical Engineering]. https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:miun:diva-49506

Caisapanta Analuisa, J. A. (2023). *Aplicación web progresiva (Pwa) con IOT para el monitoreo de mascotas en tiempo real en la ciudad de Quito* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales e Informáticos].

https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/37502

Ceci, L. (2023, December 18). *Mobile internet usage worldwide statistics*. Statista: Mobile Internet & Apps - 2023; Statista. https://www.statista.com/topics/779/mobile-internet/

chapter 1: Introduction to progressive web apps. (2023). In *The PWA book* (second edition). divante.

https://www.divante.com/reports/pwabook/what-are-progressive-web-apps

Chavan, R. C., Bhatkar, S. D., & Muley, K. (2022). Progressive web apps vs responsive web apps. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 211–214. https://doi.org/10.48175/IJARSCT-5668

de Andrade Cardieri, G., & Zaina, L. M. (2018). Analyzing user experience in mobile web, native and progressive web applications: A user and hci specialist perspectives. *Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, 1–11. https://doi.org/10.1145/3274192.3274201

de la Calle Alonso, R., García, M. G., & Murciego, Á. L. (2023). Working attendance control for construction industry based on low-cost iot technologies and pwa applications. In D. H. de la Iglesia, J. F. de Paz Santana, & A. J. López Rivero (Eds.), *New Trends in Disruptive Technologies, Tech Ethics and Artificial Intelligence* (pp.

304–311). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38344-1_29

Elfström, A. (2021). *The State of Progressive Web Applications: An investigation of the experiences and opinions of developers in the industry* [bachelor's degree Project, Linnaeus University, Faculty of Technology, Department of computer science and media technology (CM)]. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1567730&dswid=7394

Fauzan, R., Krisnahati, I., Nurwibowo, B. D., & Wibowo, D. A. (2022). A systematic literature review on progressive web application practice and challenges. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, *33*(1), 43. https://doi.org/10.12962/j20882033.v33i1.13904

Fikri, M. A., Primajaya, A., & Jajuli, M. (2023). Penerapan progressive web app pada pembuatan website magang studi kasus prodi informatika unsika. *INFOTECH Journal*, *9*(2), 563–578. https://doi.org/10.31949/infotech.v9i2.7059

Gumilar, M. D., Sembiring, F., & Erfina, A. (2021). Implementasi progressive web app pada sistem informasi e-learning untuk pembelajaran bahasa pemrograman python. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, *10*(2), 309–318. https://doi.org/10.35889/jutisi.v10i2.658

Hajian, M. (2019). An app manifest and installable angular app. In M. Hajian, *Progressive Web Apps with Angular* (pp. 141–168). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4448-7_6

Hamid, M. B. J. A., Nuryasin, I., & Sari, Z. (2022). Penerapan Progressive Web Application Pada website Online Public Access Catalog (OPAC) UMM. *REPOSITOR*, *4*(2), 125–136. https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2855603

Herman, H., & Frederick, F. (2023). Progressive web apps: Pengembangan dan studi penerimaan pada mahasiswa indonesia menggunakan scrum dan utaut. *Jurnal Teknologi Terpadu*, *9*(1), 22–28. https://doi.org/10.54914/jtt.v9i1.603

Ignacio, C., & Punzalan, D. L. (2023). *Incourt: A web-based court reservation and scheduling application for barangay kalaklan, olongapo city using progressive web framework*. https://easychair.org/publications/preprint/TsdT

Jagatha, V., Khamesipour, A., & Chung, S. (2023). Cross-Platform App Development: A Comparative Study of PWAs and React Native Mobile Apps. *Proceedings of the ISCAP Conference*, *9*, 1–10. https://iscap.us/proceedings/2023/pdf/5944.pdf

Jerome C, O., Onyekachi A., A., Bethran C, A., Vc, A., & Imo state University, Owerri. (2023). Effective cross-platform mobile app development using progressive web apps, deep learning and natural language processing. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, *7*(9), 14–20. https://doi.org/10.33564/IJEAST.2023.v07i09.003

Josephe, A. O., Chrysoulas, C., Peng, T., Boudani, B. E., Iatropoulos, I., & Pitropakis, N. (2023). Progressive web apps to support (Critical) systems in low or no connectivity areas. *2023 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/GlobConET56651.2023.10150058

Karavashkin, L., Molodyakov, S., & Medvedev, B. (2023). Caching data in a web audio service using progressive web apps technologies. In D. G. Arseniev & N. Aouf (Eds.), *Cyber-Physical Systems and Control II* (Vol. 460, pp. 372–380). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20875-1_34

Kiswanto, N. P., Paturusi, S. D. E., & Tulenan, V. (2020). Aplikasi e-log book penangkapan ikan menggunakan progressive web app. *Jurnal Teknik Informatika*, *15*(2), 93–100. https://doi.org/10.35793/jti.15.2.2020.29597

LePage, P., & Richard, S. (2020, January). *What makes a good progressive web app?*. Web.Dev; Google. https://web.dev/articles/pwa-checklist

Ma, Y., Liu, X., Liu, Y., Liu, Y., & Huang, G. (2018). A tale of two fashions: An empirical study on the performance of native apps and web apps on android. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, *17*(5), 990–1003. https://doi.org/10.1109/TMC.2017.2756633

Magomadov, V. S. (2020). Exploring the role of progressive web applications in modern web development. *Journal of Physics: Conference Series*, *1679*(2), 022043. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1679/2/022043

Marzec, P., & Piotrowski, M. D. (2018). Narzędzie analityczne Lighthouse w ocenie jakości wybranych serwisów internetowych bibliotek akademickich w Polsce. *PTINT Praktyka i Teoria Informacji Naukowej i Technicznej*, *26*(2), 25–46. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-ad93167e-374d-4718-b048-9ae6c292ceb9

Mhaske, A., Bhattad, A., Khamkar, P., & More, R. (2018). Progressive Web App for Educational System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, *5*(1), 310–312. https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I166.pdf

Nassour, W. (2023, November 21). Config PWA in your next app. Wnassour. https://www.wnassour.com/Config-PWA-n-your-next-app

Olowoniyi, F. (2023). *Design and implementation of a PWA for ordering taxi* [bachelor's thesis, Turku University of Applied Sciences - Information and Communications Technology].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/803935/Olowoniyi_Frank.pdf

Pękala, M. (2023, September 19). *Should you invest in a PWA in 2024?* Cloudflight; Divante. https://www.divante.com/blog/should-you-invest-in-pwa-in-2024

Petcu, A., Frunzete, M., & Stoichescu, D. A. (2023). Evolution of applications: From natively installed to web and decentralized. In O. Gervasi, B. Murgante, A. M. A. C. Rocha, C. Garau, F. Scorza, Y. Karaca, & C. M. Torre (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops* (Vol. 14104, pp. 253–270). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37105-9_18

Pflug, K., Chinnathambi, K., Gustafson, A., & Shahid, I. (2018, February 6). *Welcoming progressive web apps to Microsoft edge and windows 10* [Blog]. Microsoft Edge Blog; Microsoft.

https://blogs.windows.com/msedgedev/2018/02/06/welcoming-progressive-web-apps-edge-windows-10/

Rochim, R. V., Rahmatulloh, A., El-Akbar, R. R., & Rizal, R. (2023). Performance Comparison of Response Time Native, Mobile and Progressive Web Application Technology. *Innovation in Research of Informatics (INNOVATICS)*, *5*(1), 36–43. https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/innovatics/article/view/7045

Roumeliotis, K. I., & Tselikas, N. D. (2022). Evaluating progressive web app accessibility for people with disabilities. *Network*, *2*(2), 350–369. https://doi.org/10.3390/network2020022

Sachin, K., Santhosh, K., Srinivas Karthik, D., Vaseekaran, M., Felicia Lilian, J., & Suganthi, P. (2023). I-pwa: Iot based progressive web application for visually impaired people. *2023 3rd International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICIPTM57143.2023.10117909

Schrepp, M. (2023). *User Experience Questionnaire Handbook: All you need to know to apply the UEQ successfully in your projects* (11th ed.). UEQ-Online. https://www.ueq-online.org/Material/Handbook.pdf

SearchNode. (2021). *Ecommerce trends 2021* (p. 46) [Survey report]. SearchNode. https://www.scribd.com/document/593472978/Ecommerce-Trends-2021-SearchNode

Singh, A. K., & Narayan, R. (2021). Progressive Web Apps: A Smart Way to Build Mobile-Web Apps for Academic Libraries. In *Applying Mobile Technologies in Transformation of Library Services* (First edition, p. 307 pages). Social Development Federation. https://www.researchgate.net/publication/368719480

Susanto, B., Virginia, G., Proboyekti, U., & Ester, J. C. D. (2023). Progressive web app implementation in omah wayang klaten website. In S. Shakya, G. Papakostas, & K. A. Kamel (Eds.), *Mobile Computing and Sustainable Informatics: Proceedings of ICMCSI 2023* (pp. 333–348). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0835-6_24

Uryutin, O. (2018, September 13). A brief history of web app. *Medium*. https://oleg-uryutin.medium.com/a-brief-history-of-web-app-50d188f30d

Valkonen, V. (2019). *Lessons learned developing a large-scale progressive web application* [Bachelor of Engineering, Metropolia University of Applied Sciences]. http://www.theseus.fi/handle/10024/170039