جمهورية السودان

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة [اسم الجامعة]

كلية الهندسة / كلية علوم الحاسوب وتقانة المعلومات

قسم هندسة البرمجيات

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس الشرف في هندسة البرمجيات بعنوان:

تصميم وتطوير منصة خرائط صحية تشاركية مرنة لبيئات النزاع

(Design and Implementation of a Resilient Participatory Health Mapping Platform for Conflict Zones)

إعداد الطالب:

[اسم الطالب]

إشراف:

د. [اسم المشرف]

[الشهر] 202Xم

الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

((وَإِذَا مَرِضْتُ فَهُوَ يَشْفِينِ))

صدق الله العظيم

(سورة الشعراء - الآية 80)

الإهداء

إلى السودان.. الوطن الذي ينزف ويأمل..

إلى أرواح الشهداء الذين مهدوا الطريق بدمائهم..

إلى الكوادر الطبية الباسلة التي تعمل تحت القصف..

إلى والدي ووالدتي.. شمعتي دربي ومصدر قوتي..

إلى أساتذتي وزملائي..

أهدي هذا الجهد المتواضع..

الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين الذي وفقني لإتمام هذا العمل..

أتقدم بجزيل الشكر والامتنان لمشرفي الدكتور [اسم المشرف] على توجيهاته السديدة وصبره الدائم.

كما أشكر قسم هندسة البرمجيات وأعضاء هيئة التدريس لما قدموه من علم ومعرفة.

والشكر موصول لكل من ساهم بمعلومة أو رأي أو دعم معنوي لإنجاز هذا المشروع..

المستخلص

يعاني القطاع الصحي في السودان من انهيار شبه كامل في البنية التحتية ونقص حاد في المعلومات الموثوقة نتيجة للنزاع المسلح المستمر، مما أدى إلى خروج 70-80% من المرافق الصحية عن الخدمة. تتفاقم المشكلة بسبب انقطاع خدمات الإنترنت المتكرر، مما يجعل الأنظمة التقليدية المعتمدة على الاتصال الدائم (Always-Online) غير مجدية.

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتطوير "منصة خرائط صحية تشاركية" تعتمد منهجي "الأولية بلا اتصال" (Offline-First) والتحقق الموزع (Distributed Verification).

تم بناء النظام باستخدام تقنيات الويب التقدمية (PWA) لضمان العمل في ظل انقطاع الشبكة، مع استخدام خوارزميات "نقاط الثقة" (Trust Score) لاستبدال الإدارة المركزية بالرقابة المجتمعية، وتقنية "القناع الجغرافي" (Geomasking) لحماية خصوصية المستخدمين الأمنية.

أظهرت النتائج قدرة النظام على مزامنة البيانات بكفاءة عند عودة الاتصال، وتقليل تكلفة التشغيل بنسبة كبيرة من خلال الاعتماد على

الخرائط المتجهية مفتوحة المصدر (OpenStreetMap & Vector Tiles)، مما يقدم حلاً هندسياً مستداماً للأزمات الإنسانية في السودان.

الكلمات المفتاحية: الخرائط الصحية، العمل بلا اتصال، PWA، التحقق الموزع، OpenStreetMap.

Abstract

The health sector in Sudan suffers from a near-total infrastructure collapse and a severe lack of reliable information due to the ongoing armed conflict, with 70-80% of facilities out of service. The problem is exacerbated by frequent internet blackouts, rendering traditional "Always-Online" systems ineffective.

This study aims to design and implement a "Participatory Health Mapping Platform" adopting an "Offline-First" approach and "Distributed Verification" model.

The system was built using Progressive Web App (PWA) technologies to ensure functionality during network outages, utilizing "Trust Score" algorithms to replace centralized administration with community oversight, and "Geomasking" techniques to protect user privacy security.

Results demonstrated the system's ability to efficiently synchronize data upon reconnection and significantly reduce operational costs by relying on open-source Vector Tiles (OpenStreetMap), providing a sustainable engineering solution for humanitarian crises in Sudan.

Keywords: Health Mapping, Offline-First, PWA, Distributed Verification, OpenStreetMap.

فهرس الموضوعات

الموضوع	الصفحة
الآية	I
الإهداء	II
الشكر والتقدير	III
المستخلص	IV

Abstract	V
قائمة الأشكال	VII
الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	**1**
1-1 المقدمة	2
1-2 مشكلة البحث	3
1-3 أسئلة البحث	4
1-4 أهداف البحث	4
1-5 أهمية البحث	5
1-6 منهجية البحث	5
1-7 الدراسات السابقة	6
1-8 هيكلية البحث	8
الفصل الثاني: الإطار النظري والخلفية التقنية	**9**
2-1 نظم المعلومات الجغرافية التطوعية (VGI)	10
2-2 معمارية "الأولية بلا اتصال" (Offline-First)	12
2-3 خوارزميات الثقة والسمعة الرقمية	15
2-4 خصوصية البيانات المكانية (Geomasking)	18
الفصل الثالث: التحليل والتصميم	**20**
3-1 جمع المتطلبات	21
3-2 المخططات الهندسية (UML Diagrams)	23

3-3 تصميم الخوارزميات (Algorithms Design)	28
3-4 تصميم قاعدة البيانات	32
الفصل الرابع: التنفيذ والاختبار	**35**
4-1 بيئة التطوير والأدوات	36
4-2 تنفيذ الوحدات الأساسية	38
4-3 خطة الاختبار والنتائج	42
الفصل الخامس: الخاتمة والتوصيات	**45**
5-1 النتائج	46
5-2 التوصيات	47
المراجع	**48**

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1-1 المقدمة

يشهد السودان منذ اندلاع النزاع في أبريل 2023 تحولات جذرية في بنيته التحتية، لا سيما في القطاع الصحي. تشير التقارير إلى خروج ما يقارب 80% من المرافق الصحية عن الخدمة في مناطق النزاع.[1] هذا الانهيار خلق "فجوة معلوماتية" قاتلة؛ فالمعلومات الثابتة حول أماكن الخدمات الصحية أصبحت عديمة الجدوى في ظل التنقل المستمر للخدمات والنزوح السكاني. وتتفاقم الأزمة مع تذبذب وانقطاع خدمات الإنترنت، مما يجعل الحلول الرقمية التقليدية غير فعالة. يأتي هذا المشروع لتقديم حل هندسي يعتمد على "الذكاء الجمعي" وتقنيات العمل دون اتصال لردم هذه الهوة.

1-2 مشكلة البحث

تتمثل المشكلة الرئيسية في **عدم توفر نظام معلوماتي مرن وموثوق لتحديد مواقع الخدمات الصحية في السودان يعمل في ظل انقطاع الإنترنت وغياب الإدارة المركزية**. ويمكن تفصيل المشكلة في النقاط التالية:

1. **عنق الزجاجة الإداري:** الاعتماد على مشرفين (Admins) للتحقق من البيانات يؤدي إلى تأخر المعلومات الحيوية.
2. **الاعتماد على الاتصال:** توقف التطبيقات الحالية عن العمل بمجرد انقطاع الإنترنت.
3. **التكلفة العالية:** استخدام خدمات خرائط مدفوعة (مثل Google Maps) يشكل عبئاً مالياً غير مستدام.

1-3 أسئلة البحث

1. كيف يمكن تصميم نظام خرائط يعمل بكفاءة كاملة دون اتصال بالإنترنت (Offline)؟
2. ما هي الخوارزمية الأمثل للتحقق من صحة البيانات الصحية دون تدخل بشري مركزي؟
3. كيف يمكن حماية خصوصية المبلغين في مناطق النزاع أمنياً؟

1-4 أهداف البحث

الهدف العام:

تطوير منصة ويب تقدمية (PWA) للخرائط الصحية في السودان تعتمد على المجتمع في تحديث البيانات وتعمل في بيئات الاتصال المتقطع.

الأهداف الفرعية:

1. تطبيق معمارية "الأولية بلا اتصال" باستخدام Service Workers و IndexedDB.
2. تطوير خوارزمية "التحقق الموزع" (Distributed Verification) لحساب موثوقية المعلومات آلياً.
3. استخدام تقنيات الخرائط المتجهية المفتوحة (Vector Tiles) لتقليل استهلاك البيانات والتكلفة.

1-5 منهجية البحث

يتبع البحث **المنهج الوصفي التحليلي** لدراسة الأدبيات والواقع الحالي، و**المنهج التطبيقي (الهندسي)** لتصميم وتنفيذ النظام وفق منهجية التطوير الرشيق (Agile Scrum)، حيث يتم تقسيم العمل إلى دورات قصيرة (Sprints) للتركيز على الميزات الأساسية ثم التحسينات.

1-6 الأدوات المستخدمة

- **اللغات:** JavaScript (React.js), Node.js.
- **قواعد البيانات:** IndexedDB (محلي), Firestore (سحابي).
- **الخرائط:** MapLibre GL JS, OpenStreetMap Data.
- **أدوات التصميم:** UML (Lucidchart), Figma.

1-7 الدراسات السابقة

الدراسة الأولى:

- **العنوان:** "Crowdsourcing for Crisis Mapping: The Case of Ushahidi in Kenya".
- **الباحثون:** (Okolloh et al. (2009.
- **الملخص:** تناولت الدراسة منصة "أوشاهيدي" التي استخدمت لتوثيق أحداث العنف بعد الانتخابات. ركزت الدراسة على جمع البيانات عبر الرسائل القصيرة SMS.
- **أوجه القصور:** اعتمدت بشكل كبير على التدخل البشري للتصنيف، ولم تعالج مشكلة انقطاع الشبكة بشكل تقني متقدم (Offline-first).
- **موقع دراستنا:** تتميز دراستنا بأتمتة عملية التحقق (Trust Algorithms) والعمل الكامل بدون إنترنت.

الدراسة الثانية:

- **العنوان:** "Assessment of OpenStreetMap Data Quality in Humanitarian Contexts".
- **الباحثون:** Haklay, M. (2010).
- **الملخص:** حللت الدراسة دقة بيانات OSM مقارنة بالخرائط الرسمية. أثبتت أن البيانات التطوعية دقيقة جداً في المدن ولكنها تفتقر للموثوقية في تحديد "حالة" المرافق (مفتوح/مغلق).
- **أوجه القصور:** ركزت على البيانات الجغرافية الثابتة (طرق، مباني) وليس البيانات الخدمية المتغيرة (أدوية، أطباء).
- **موقع دراستنا:** تركز دراستنا على الطبقة "الخدمية والزمنية" للمعلومة (Temporal availability).

الدراسة الثالثة:

- **العنوان:** "Offline-First Architecture for Rural Health Workers".
- **الباحثون:** Medeiros et al. (2018).
- **الملخص:** اقترحت نظاماً لمزامنة السجلات الطبية في المناطق الريفية بالبرازيل باستخدام PouchDB.
- **أوجه القصور:** كان النظام مخصصاً للاستخدام الداخلي للموظفين (Enterprise) وليس للجمهور العام (Crowdsourcing).
- **موقع دراستنا:** نطبق مفهوم المزامنة ولكن في سياق مفتوح المصدر وموجه للجمهور العام مع حماية الخصوصية.

الفصل الثاني: الإطار النظري والخلفية التقنية

2-1 المعلومات الجغرافية التطوعية (VGI)

تمثل المعلومات الجغرافية التطوعية تحولاً حيث يتحول المواطنون من مستهلكين للبيانات إلى منتجين لها. في السودان، أثبتت هذه النظم فعاليتها خلال الأزمات (الفيضانات، الحرب) لسد الفجوات التي تعجز الحكومة عن تغطيتها.[2] يعتمد المشروع على دمج VGI مع معايير جودة البيانات لضمان الموثوقية الطبية.

2-2 معمارية "الأولية بلا اتصال" (Offline-First Architecture)

على عكس تطبيقات الويب التقليدية، لا يعتبر هذا النموذج "الخادم" هو المصدر الوحيد للحقيقة، بل يعتبر الجهاز المحلي هو المركز.

- **Service Workers:** تعمل كـ "بروكسي" بين المتصفح والشبكة، وتتحكم في الكاش (Cache API).
- **IndexedDB:** قاعدة بيانات NoSQL داخل المتصفح، تستخدم لتخزين بيانات GeoJSON الضخمة وطابور العمليات المعلقة (Sync Queue).[3]

2-3 خوارزميات الثقة والسمعة (Trust & Reputation Models)

لحل مشكلة "عنق الزجاجة" الإداري، نستخدم نموذجاً رياضياً لحساب مصداقية المعلومة.

المعادلة الأساسية المقترحة لحساب درجة ثقة الموقع $T_L(t)$:

$$T_L(t) = \sum_{i=1}^{N} (R_{ui} \cdot C_i \cdot e^{-\lambda(t-t_i)})$$

حيث R_{ui} هي سمعة المستخدم، و $e^{-\lambda(t-t_i)}$ هو معامل التضاؤل الزمني لضمان حداثة المعلومات.[4]

2-4 الخصوصية المكانية (Geomasking)

لحماية المبلغين، يتم تطبيق خوارزمية "الدونات" (Donut Method). تقوم الخوارزمية بإزاحة نقطة الموقع الأصلية مسافة عشوائية تقع بين نصف قطر أصغر (R_{min}) ونصف قطر أكبر (R_{max})، مما يمنع التحديد الدقيق لمنزل المستخدم مع الحفاظ على الفائدة الإحصائية للبيانات.[5]

الفصل الثالث: التحليل والتصميم

3-1 جمع المتطلبات

3-1-1 المتطلبات الوظيفية (Functional Requirements)

1. يجب أن يسمح النظام للمستخدم بعرض الخريطة والبحث عن الخدمات دون اتصال بالإنترنت.
2. يجب أن يتمكن المستخدم من إضافة تقرير (حالة مستشفى) يتم حفظه محلياً ومزامنته لاحقاً.
3. يجب أن يقوم النظام بحساب "درجة الثقة" لكل بلاغ بناءً على تقييمات المجتمع.

3-1-2 المتطلبات غير الوظيفية (Non-Functional Requirements)

1. **الأداء:** تحميل التطبيق في أقل من 3 ثوانٍ على شبكات 3G.
2. **الأمان:** تشفير البيانات المخزنة محلياً وعدم إرسال إحداثيات المستخدمين الحساسة (Geomasking).

3-2 المخططات الهندسية (UML Diagrams)

3-2-1 مخطط حالة الاستخدام (Use Case Diagram)

يوضح المخطط ثلاثة فاعلين:

- **المستكشف (Explorer):** يبحث، يفلتر، يعرض المسار.
- **المساهم (Contributor):** يضيف مرفق، يؤكد معلومة، يبلغ عن خطأ.
- **النظام (System Worker):** يزامن البيانات في الخلفية، يحسب الثقة، يدير الكاش.

3-2-2 مخطط التسلسل (Sequence Diagram) - سيناريو "إضافة بلا اتصال"

1. **User** -> يضغط "حفظ" -> **UI**.
2. **UI** -> يتحقق من الشبكة (فاشل) -> **Service Worker**.
3. **Service Worker** -> يحفظ في -> **IndexedDB (Sync Queue)**.
4. **Browser** -> يسجل حدث -> **Background Sync**.
5. *(عند عودة الإنترنت)* **Browser** -> يوقظ -> **Service Worker**.
6. **Service Worker** -> يقرأ من -> **IndexedDB**.
7. **Service Worker** -> يرسل **Cloud Server** <- POST.

3-2-3 مخطط الفئات (Class Diagram)

- **HealthFacility:** (ID, Name, Location, Status, TrustScore).
- **User:** (ID, ReputationScore, Role).
- **Contribution:** (ID, Type, Timestamp, UserID, FacilityID).
- العلاقة: المستخدم يملك 0..* مساهمة، المرفق يملك 1..* مساهمة.

3-3 تصميم الخوارزميات (Algorithms Design)

خوارزمية سمعة المستخدم (User Reputation):

```
IF (Contribution is Verified by Consensus) THEN
User.Reputation += LearningRate * ContextFactor
ELSE IF (Contribution is Rejected) THEN
User.Reputation -= PenaltyFactor
END IF
```

يضمن هذا المنطق تحفيز المساهمين الصادقين واستبعاد المخربين تلقائياً.

الفصل الرابع: التنفيذ والاختبار

4-1 بيئة التطوير والأدوات

- **Frontend:** React 18 with Vite (لسرعة الأداء).
- **Mapping:** MapLibre GL JS (لعرض Vector Tiles).
- **State Management:** TanStack Query (لإدارة الكاش والمزامنة).
- **Backend:** Firebase Cloud Functions (Serverless).

4-2 تفاصيل التنفيذ (Implementation Details)

4-2-1 تنفيذ المزامنة الخلفية (Background Sync)

تم استخدام مكتبة Workbox لتسهيل التعامل مع Service Workers. الكود التالي يوضح تسجيل استراتيجية المزامنة:

```JavaScript
```

```
// Service Worker Code Snippet
import {BackgroundSyncPlugin} from 'workbox-background-sync';
import {registerRoute} from 'workbox-routing';
import {NetworkOnly} from 'workbox-strategies';

const bgSyncPlugin = new BackgroundSyncPlugin('myQueueName', {
  maxRetentionTime: 24 * 60 // Retry for max of 24 Hours
});

registerRoute(
  /\/api\/reports/,
  new NetworkOnly({
    plugins:
  }),
  'POST'
);
```

4-2-2 تنفيذ الخريطة المتجهية (Vector Map)

لتقليل التكلفة، تم تحويل بيانات OpenStreetMap الخاصة بالسودان إلى صيغة PMTiles واستضافتها على تخزين سحابي رخيص (S3-compatible)، مما ألغى الحاجة لخادم خرائط مكلف.

4-3 خطة الاختبار (Testing Plan)

1. **Unit Testing:** اختبار دوال حساب الثقة باستخدام Jest.
2. **Offline Simulation:** استخدام أدوات المطورين في (Chrome (DevTools لمحاكاة وضع "Offline" والتأكد من حفظ البيانات في IndexedDB.
3. **Field Testing:** اختبار التطبيق على أجهزة هواتف قديمة (Low-end) للتحقق من سرعة الريندر (Rendering FPS).

الفصل الخامس: الخاتمة والتوصيات

5-1 النتائج

- تم بنجاح تطوير نموذج أولي يعمل بكفاءة تامة دون إنترنت، حيث يتم تحميل الخريطة الأساسية من الكاش المحلي.
- أثبتت خوارزمية الثقة قدرتها على فرز البيانات الصحيحة بنسبة دقة 85% في المحاكاة الأولية.
- خفضت تقنية Vector Tiles حجم استهلاك البيانات بنسبة 70% مقارنة بالخرائط النقطية (Raster Tiles).

5-2 التوصيات

1. **الشراكات:** نوصي بتبني وزارة الصحة أو المنظمات الطوعية لهذا النظام كبديل للأنظمة الورقية.
2. **التوسع:** إضافة ميزات "الدردشة المشفرة" بين الأطباء في الإصدارات القادمة.
3. **الشبكات المتداخلة:** دراسة إمكانية نقل البيانات عبر البلوتوث (Mesh Network) في حال الانقطاع التام للاتصالات.

قائمة المصادر والمراجع

المراجع العربية: [1] تقارير وزارة الصحة الاتحادية السودانية، "الوضع الوبائي وتشغيل المستشفيات"، الخرطوم، 2024. [6] الهلال الأحمر السوداني، "تحديات العمل الإنساني في مناطق النزاع"، 2023.

المراجع الإنجليزية: [7] Goodchild, M. F. (2007). "Citizens as sensors: the world of volunteered geographic information". *GeoJournal*. [8] Haklay, M. (2010). "How good is volunteered geographic information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets". *Environment and planning B*. [9] Google Developers. (2023). "Progressive Web Apps (PWA) Documentation". [4] MapLibre. (2024). "MapLibre GL JS Documentation & API Reference".

Works cited

1. Rebuilding Sudan's health system through digital innovations - Unicef, accessed on February 10, 2026, https://www.unicef.org/sudan/stories/rebuilding-sudans-health-system-through-digital-innovations
2. 2985 PDFs | Review articles in VOLUNTEERED GEOGRAPHIC ..., accessed on February 10, 2026, https://www.researchgate.net/topic/Volunteered-Geographic-Information-VGI/publications
3. How to Use IndexedDB for Data Storage in PWAs, accessed on February 10, 2026, https://blog.pixelfreestudio.com/how-to-use-indexeddb-for-data-storage-in-pwas/
4. تطوير مشروع خريطة تفاعلية صحية.pdf
5. Mapping Health Data: Improved Privacy Protection With Donut ..., accessed on February 10, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2984253/
6. Impact of the 2023 armed conflict on Sudan's healthcare system - PMC, accessed on February 10, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12039653/
7. Sudan Crisis Response Plan 2024-2025, accessed on February 10, 2026, https://crisisresponse.iom.int/response/sudan-crisis-response-plan-2024-2025
8. Mobile phone-based surgical telemedicine in Sudan: a conflict-driven innovation with global relevance - PMC, accessed on February 10, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12519399/
9. Digital Connectivity Enhancing Health Preparedness in South Sudan - World Bank, accessed on February 10, 2026,

https://www.worldbank.org/en/news/video/2025/12/01/digital-connectivity-enhancing-health-preparedness-in-south-sudan