

NAXÇIVAN DÖVLƏT UNIVERSITETİ
NAKHCHIVAN STATE UNIVERSITY

Təbii Resurslar İnstitutu
Natural Resources Institute

ELMI ƏSƏRLƏR JURNALI

SCIENTIFIC WORKS JOURNAL



Cild 1, Nömrə 1
Volume 1, Issue 1

NAXÇIVAN

İSSN: 2224-5529, 2224-0829, 2223-5124, 2222-940X

ELMİ ƏSƏRLƏR

№ 2 (135)

- *Tarix və antropologiya*
- *Filologiya elmləri*
- *Pedaqogika*
- *Psixologiya*
- *İqtisad elmləri*
- *Hüquq elmləri*
- *Riyaziyyat və mexanika*
- *Fizika və astronomiya*
- *Kimya*
- *Texnika elmləri*
- *Yer elmləri və coğrafiya*
- *Tibb və əczaçılıq elmləri*
- *Biologiya elmləri və aqrar elmlər*
- *Fəlsəfə və sosiologiya*
- *Siyasi elmlər*
- *Sənətsüinaslıq və memarlıq*

Naxçıvan Dövlət Universiteti. "Elmi əsərlər".
Jurnal 1997-ci il 13 fevral tarixdə
Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində
qeydiyyatdan keçmişdir. (Şəhadətnamə №550)

TƏSİSÇİ:

Naxçıvan Dövlət Universiteti

BAŞ REDAKTOR:

Elbrus İsayev

Naxçıvan Dövlət Universitetinin rektoru

REDAKTORLAR:

Elsevər Əsədov

Hüseyn İmanov

SAHƏLƏR ÜZRƏ REDAKTORLAR

Riyaziyyat və mexanika elmləri üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. Cavanşir Zeynalov (Azərbaycan)

Sənətsünaslıq və memarlıq elmləri üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. İnara Məhərrəmov (Azərbaycan)

Filologiya üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. Sədaqət Həsənova (Azərbaycan)

İqtisad elmləri üzrə sahə redaktoru:

Dos.Dr. Eltun İbrahimov (Azərbaycan)

Tibb və səhiyyə elmləri üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. İsa Abdullayev (Azərbaycan)

Fəlsəfə və hüquq elmləri üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. Məmməd Rzayev (Azərbaycan)

Tarix, antropologiya və siyasi elmlər üzrə sahə redaktoru:

Prof.Dr. Hacıfəxrəddin Səfərli (Azərbaycan)

Fizika üzrə sahə redaktoru:

Dos.Dr. Billurə Hacıyeva (Azərbaycan)

Pedaqogika, psixologiya, metodika üzrə sahə redaktoru:

Dos.Dr. Taleh Xəlilov (Azərbaycan)

Baytarlıq və kənd təsərrüfatı elmləri üzrə sahə redaktoru:

Dos.Dr. Mahir Məhərrəmov (Azərbaycan)

Hüquq və siyasi elmlər üzrə sahə redaktoru

PhD. Qəhrəman Behbudov (Azərbaycan)

Təbiət elmləri üzrə sahə redaktoru:

PhD. Ülviyyə İsgəndərova (Azərbaycan)

REDAKSİYA HEYƏTİ

Filologiya elmləri / Philological sciences / Филологические науки

Akad. İsa Həbibbəyli — Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası (Azərbaycan)
Akad. Kamal Abdullayev — Azərbaycan Dillər Universiteti (Azərbaycan)
Akad. Muxtar İmanov — Azərbaycan Dillər Universiteti (Azərbaycan)
Akad. Möhsün Nağısoylu — AMEA Dilçilik İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Mahirə Hüseynova — Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Əbülfəz Quliyev — AMEA Naxçıvan Bölməsi (Azərbaycan)
Prof.Dr. Ramazan Qorxmaz — Maltepe Universiteti (Türkiyə)
Dos.Dr. Arif Ağalarov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Pedaqogika və Psixologiya elmləri / Psychology and pedagogical sciences / Науки психология и педагогика:

Prof.Dr. İsmayıl Əliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Bəxtiyar Əliyev — Milli Məclisin Elm və Təhsil komitəsinin sədri (Azərbaycan)
Prof.Dr. Müseyib İlyasov — Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Erdal Bay — Qaziantep Universiteti, (Türkiyə)
Dos.Dr. Çapay Quliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Sənətsünnəşliq və memarlıq elmləri /Art criticism and architectural sciences / Современные искусствоведческие и архитектурные науки:

Prof. Dr. Cəfər Qiyasi — Azərbərpa Elmi-Tədqiqat Layihə İnstitutu (Azərbaycan)
Prof. Dr. Gülnaz Abdullazadə — Bakı Musiqi Akademiyası (Azərbaycan)
Prof. Dr. Mənsüm İbrahimov — Azərbaycan Milli Konservatoriyası (Azərbaycan)
Prof. Dr. Siyavuş Kərimi — Azərbaycan Milli Konservatoriyası (Azərbaycan)
Prof. Dr. Taryel Məmmədov — Bakı Musiqi Akademiyası (Azərbaycan)
Prof. Dr. Aynur Elhan Nayir — Nəcməddin Erbakan Universiteti (Türkiyə)
Prof. Səidə Məmmədova — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof. Dr. Ağaverdi Paşayev — Azərbaycan Milli Konservatoriyası (Azərbaycan)
Dos. Dr. Günay Məmmədova — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos. Dr. Gülnarə Qənberova — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos.Dr. Gülxarə Əhmədova — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Tarix, antropologiya / History, anthropology / История, антропология

Akad. İsmayıl Hacıyev — AMEA Naxçıvan Bölməsi (Azərbaycan)
Prof.Dr. İbrahim Ethem Atnur — Milli Müdafiə Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Kərim Şükürov — AMEA Tarix və Etnologiya İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Xəzər Hüseynov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Metin Ünver — İstanbul Universiteti (Türkiyə)
Dos.Dr. Emin Şıxəliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos.Dr. Şamxal Məmmədov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Fəlsəfə və hüquq və siyasi elmlər elmləri / Philosophy and law and political science in the sciences / Философия и право и политология в науках:

Prof.Dr. Əmir Əliyev — Bakı Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

NAXÇIVAN DÖVLƏT UNIVERSİTETİ

Prof.Dr. Vüqar Rəhimzadə — Bakı Slavyan Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Qərib Allahverdiyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Cavid Abdullazadə — Ankara Universiteti, (Türkiyə)
Məhəmməd Quluzadə (Azərbaycan) Hüquq və İnsan Haqları İnstitutu

İqtisad elmləri / Economic Sciences / Экономические науки

Prof.Dr. İmran Əkbərov — Cənub Universiteti (Rusiya)
Prof.Dr. Teymur Abbasov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof. Dr. Aslı Beyhan Acar — İstanbul Universiteti (Türkiyə)
Prof. Dr. Kutluk Kağan Sümer — İstanbul Universiteti (Türkiyə)
Prof. Dr. İbrahim Giritlioğlu — Qaziantep Universiteti (Türkiyə)

Tibb və Əczaçılıq elmləri / Medicine and Pharmaceutical Sciences / Медицина и фармацевтические науки:

Prof.Dr. Aziz Kubayev — Səmərqənd Dövlət Tibb Universiteti (Özbəkistan)
Prof.Dr. Qalib Qarayev — Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Erkut Attar — Yeditepe Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Cabbar Hacıyev — Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Çingiz Rəhimov — Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Cengiz Ara — Malatya Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Məhbubə Vəliyeva — Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Aslı Gürsoy — Ufuk Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Mehmet Sarper Erdoğan — İstanbul Universiteti-Cərrahpəşə (Türkiyə)
Prof.Dr. Tülin Öztürk — İstanbul Universiteti-Cərrahpəşə (Türkiyə)
Prof.Dr.ERCÜMENT KARASULU — Ege Universiteti-Cərrahpəşə (Türkiyə)
Dos..Dr. Müşviq Həsənov — Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
Dos.Dr. Gültəkin Əliyeva — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos.Dr. Elmar Rzayev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos. Dr. İlhamə Mustafayeva— Azərbaycan Tibb Universiteti (Azərbaycan)
PhD. İlhamə Cəfərli — Guys və St Thomas Evelina Uşaq Xəstəxanası (Böyük Britaniya)

Riyaziyyat, mexanika və texnika elmləri / Mathematics, Mechanics, and Engineering Sciences / Математика, механика и технические науки

Prof.Dr. Rafiq Əliyev — Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Məsud Əfəndiyev — "Helmholtz" Elmi-Tədqiqat Mərkəzi (Almaniya)
Prof.Dr. Sabir Mirzəyev — Bakı Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Yaqub Məmmədov — Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Klaus Haenssger — Leypsik Texniki Universiteti (Almaniya)
Dos.Dr. Cabir Əsədov — Rusiya Dövlət Aqrar Universiteti (Rusiya)
Dos.Dr. Hüseyn Qasımov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Fizika və astronomiya elmləri / On Physics and astronomy sciences / По физике и астрономии:

Akad. Arif Həşimov — Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Xəlil Kələntər — Global Optical Solutions şirkətinin baş tədqiqatçısı (Yaponiya)
Prof.Dr. Soltan Əliyev — AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu (Azərbaycan)
Dos.Dr. Məftun Əliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Dos. Dr. Ruslan Məmmədov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Biologiya, kimya və aqrar elmlər / Biology, Chemistry, and Agricultural Sciences / Биология, химия и сельскохозяйственные науки

Akad. Tariyel Talıbov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Qərib Mürşüdoğlu — York Universiteti (Böyük Britaniya)
Prod.Dr. Qasım Hüseynov — Bakı Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prod.Dr. İsa Özaydın — Kafkas Universiteti (Türkiyə)
Prof. Dr. İsmayıl Məmmədov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Səyyarə İbadullayeva — AR ETN Botanika İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Sevgi Kolaylı — Karadeniz Texnik Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Salah Akkal — University of Mentouri Constantine (Əlcəzair)
Prof.Dr. Oktay Yıldız — Gümüşhane Universiteti (Türkiyə)
Prof.Dr. Saleh Məhərrəmov — AMEA Genetik Ehtiyatlar İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Daşqın Qənbərov — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Tofiq Əliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
Prof.Dr. Hacı Nəcəfov — Kafkas Universiteti (Türkiyə)
Dos.Dr. Usman Zulfikar — The Islamia University of Bahawalpur (Pakistan)
Dr. Maxim Proshchalykin — Far East Branch of Russian Academy of Sciences (Rusiya)
Dr. Pərvin Quliyev — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

Coğrafiya və yer elmləri / Geography and soil science / География и почвоведению:

Prof.Dr. Zakir Eminov — AMEA Coğrafiya İnstitutu (Azərbaycan)
Prof.Dr. Nəriman Paşayev — Milli Aviasiya Akademiyası (Azərbaycan)
Prof.Dr. Faruk Yıldırım — Karadeniz Texniki Universiteti (Türkiyə)
Dos.Dr. Lətifə Novruzova — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)
PhD. Türkanə Əliyeva — Naxçıvan Dövlət Universiteti (Azərbaycan)

MÜNDƏRİCAT

HUMANİTAR ELMLƏR

Hacıfəxrəddin Səfərli, Fəxrəddin Eylazov Ordubad şəhərində orta əsr təhsil müəssisəsi – Mədrəsə	5-10
Sarjan Sadigova Comparative analysis of participles in English and Azerbaijani	11-16
Hasan Alisoy Linguostylistic features of Donald Trump's political discourse: a critical discourse analysis of the Fordow strike address (June 2025) and the United Nations General Assembly speech (September 2025)	17-23
Rugiyə Karimova Idiomatic expressions in media writing: news and journalism analysis	24-30
Fidan İbişli Mifoloji düşüncənin ədəbiyyata estetik transformasiyası	31-35
Ülviyyə İbrahimova Mövlud Süleymanlının "Ceviz qurdu" romanında leksik-semantik vahidlər	36-42

İCTİMAİ ELMLƏR

Anyinyo Norman Oyuga Exploring frameworks for the ethical deployment of artificial intelligence in higher education	43-49
Mehmet Teyfur, Taleh Xəlilov Azərbaycanın çoxvektorlu xarici siyasəti və avropa ilə strateji tərəfdaşlığın yeni arxitekturası	50-59
Günay İmanquliyeva Tükənmişlik sindromunun nəzəri təhlili və ali təhsil müəssisələrində akademik heyətə təsiri	60-66
Məsud Qəhrəmanov İbtidai siniflərdə interaktiv təlim metodları vasitəsilə idrak universal təlim fəaliyyətinin inkişafı	67-78
Ramil Axundov, Banu Rüstəmli Xüsusi təyinatlı obyektlərin fiziki mühafizəsində zaman əsaslı funksional yetərlik şərti	79-88
Fərqanə Məlikova Uşaq mətbu irsimizin "Qırmızı günəş"i	89-94
Günəl İsayeva Material and financial flows in the tourism market	95-100
Sayal Cəlilova Kreativ-yaradıcı turizmin iqtisadi-coğrafi effektivliyinin nəzəri paradigması	101-105
Rahibə Əbdülhəsənova Azərbaycanda investisiya siyasətinin formalaşdırılması modeli	106-116
Murad Teymurov Dövlət-özəl tərəfdaşlıqlarında süni intellekt əsaslı qərarvermə sistemlərinin dizaynı: Azərbaycan üçün konseptual çərçivə	117-122
Nərgiz Məcidova Qazax-Tovuz iqtisadi rayonunda məşğulluğun artırılması və işsizliyin aradan qaldırılmasının iqtisadi-coğrafi istiqamətləri	123-129

Ülviyə Cümşüdlü Azərbaycan Respublikasında son onilliyin əsas sosial islahatları	130-133
Elçin Əlibəyli Naxçıvan Muxtar Respublikasında dövlət maliyyəsi, dotasiya asılılığı və yoxsulluq riski	134-141
Şirin Məhəmməd Müharibə veteranlarının sosial reabilitasiyası və iqtisadi təminatında görülmə işlərin təhlili	142-150
Fərid Kazımov İnstitusional amillərin investisiya mühitinə təsiri: daşınmaz əmlak bazarı kontekstində	151-159
Seymur Rzalı Sabit əyrilikli həndəsənin botanika ilə bağlı bəzi məsələləri üçün alınan tənliklərin polyar koordinantlarla göstərişi	160-165
Ceyhun Səidov Azərbaycan Respublikası ilə İsrail dövləti arasındakı siyasi münasibətlərin səciyyəvi xüsusiyyətləri	166-172
Афат Фарзуллаева Культурное наследие в системе уголовного права: место и функции	173-179
Kəmalə Əfəndiyeva Mərkəzi Asiyanın türk dövlətləri və Ermənistan: regional nəqliyyat-enerji layihələrində məhdudiyyətlər və ikitərəfli əlaqələrin siyasi sərhədləri	180-185
Dinara Appasova Türk dövlətləri təşkilatının inkişafında Azərbaycan Respublikasının sistemli və strateji töhfələri	186-193

FİZİKA-RİYAZİYYAT VƏ TEXNİKİ ELMLƏR

Cavanşir Quliyev, Nahibə Əsqərova, Nurgün Oruçlu Sabit əyrilikli həndəsənin botanika ilə bağlı bəzi məsələləri üçün alınan tənliklərin polyar koordinantlarla göstərişi	194-200
Aygün Sultanova, Səma Babayeva Nanoelektronikanın sənaye tətbiqləri və iqtisadi potensialı	201-205
Sərkan Məmmədov IOT əsaslı ağıllı kitabxana mühitlərində sensor əhəmiyyətinin interpretasiyası və maşın öyrənməsi modellərinin hesablama səmərəliliyinin müqayisəli təhlili	206-217
Seyfəddin Cəfərov, Elgün Tağıyev Optoelektronik tətbiqlər üçün nadir torpaq elementi olan holmiumla (Ho) aşqarlanmış CdSe;0.5%Ho nanoquruluşların analitik tədqiqatları	218-224

TƏBİƏT VƏ TİBB ELMLƏRİ

Tünzalə İsmayılova Gəncə-Daşkəsən iqtisadi rayonunun toponimiyası və regionun tarixi-iqtisadi inkişaf xüsusiyyətləri	225-235
Səadət Məmmədova, Kazım Əliyev, Aytən Sultanova, Güntəkin Şükürova, Sevdə İsmayılova, Əhməd Əhmədov Nadir torpaq metalları (Dy, Eu, Ce) ionları ilə legirlənmiş sink telluridinin luminessensiyası	236-240

Ruslan Cəfərov	
Bio-ekoloji xüsusiyyətlərdən asılı olaraq buzovların neoaskaridozla yoluxmasının tədqiqi	241-245
İlqar Tağıyev	
İnəklərin südündə və ətində bəzi mikroelementlərin təyini	246-250
Orxan Xudiyev, Afiq Qaziyev, Xəybər Məmmədov	
Prenatal hipoksiya edilmiş dovşan balalarında sosial təcridolunma fonunda görmə və sensomotor beyin qabığının elektrofizioloji tədqiqi	251-257
Aygun Həghverdi	
Human activity and land degradation in the pirsatchay river basin	258-263

Article

A User-Centric Smart Library System: IoT-Driven Environmental Monitoring and ML-Based Optimization with Future Fog–Cloud Architecture

Sarkan Mammadov  and Enver Kucukkulahli * 

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce 81620, Türkiye; serkan236057@ogr.duzce.edu.tr

* Correspondence: enverkucukkulahli@duzce.edu.tr

Abstract: University libraries are essential academic spaces, yet existing smart systems often overlook user perception in environmental optimization. A key challenge is the lack of adaptive frameworks balancing objective sensor data with subjective user experience. This study introduces an Internet of Things (IoT)-powered framework integrating real-time sensor data, image-based occupancy tracking, and user feedback to enhance study conditions via machine learning (ML). Unlike prior works, our system fuses objective measurements and subjective input for personalized assessment. Environmental factors—including air quality, sound, temperature, humidity, and lighting—were monitored using microcontrollers and image processing. User feedback was collected via surveys and incorporated into models trained using Logistic Regression, Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNNs), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), and Naive Bayes. KNNs achieved the highest F1 score (99.04%), validating the hybrid approach. A user interface analyzes environmental factors, identifying primary contributors to suboptimal conditions. A scalable fog–cloud architecture distributes computation between edge devices (fog) and cloud servers, optimizing resource management. Beyond libraries, the framework extends to other smart workspaces. By integrating the IoT, ML, and user-driven optimization, this study presents an adaptive decision support system, transforming libraries into intelligent, user-responsive environments.

Keywords: university library; environmental quality; IoT; machine learning; user feedback; KNN; fog–cloud architecture



Academic Editors: Andrea Prati and Alexander N. Pisarchik

Received: 1 March 2025

Revised: 24 March 2025

Accepted: 25 March 2025

Published: 30 March 2025

Citation: Mammadov, S.; Kucukkulahli, E. A User-Centric Smart Library System: IoT-Driven Environmental Monitoring and ML-Based Optimization with Future Fog–Cloud Architecture. *Appl. Sci.* **2025**, *15*, 3792. <https://doi.org/10.3390/app15073792>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The effective management of environmental factors such as temperature, light, humidity, air quality, and occupancy is essential for an efficient working environment. Research has shown that optimizing these factors has positive effects on concentration, productivity, and overall performance [1]. In contrast, external environmental factors—such as air pollution and extreme temperatures—have negative impacts on human health and work performance [2]. Additionally, the extremities of indoor temperatures are highlighted as having adverse consequences on productivity and general health [3].

Elevated CO₂ levels in indoor air can lead to a decline in cognitive functions, difficulty concentrating, and overall fatigue. Inadequate ventilation can exacerbate these effects, while regular ventilation is critical for maintaining indoor air quality [4]. Additionally, exposure to noise has been found to disrupt teaching and learning processes, with noise levels influencing the perceived learning performance of students [5].

The quality of the learning environment also plays a crucial role in academic performance. Natural light, in particular, has been shown to improve health, satisfaction, attention, and performance for students and staff [6]. Moreover, lighting such as blue-toned white light has been found to enhance cognitive function and reduce eye fatigue, benefiting environments where long periods of reading and research occur, such as libraries [7].

Today, university libraries have evolved into dynamic, technologically advanced spaces that support academic and social development. In this context, fog computing plays a vital role. Fog computing is a distributed computing paradigm that processes data at the network's edge, reducing latency and improving efficiency. The low latency and mobility support offered by fog computing in real-time applications, such as IoT devices and smart cities, also provide significant benefits in managing environmental factors in library settings [8].

By enabling real-time data processing from sensors, fog computing allows for the effective monitoring of environmental factors such as temperature, humidity, and air quality in library spaces, enhancing user productivity [9]. Furthermore, combining fog and cloud computing offers an ideal solution for managing large-scale data processing and storage needs in libraries, improving efficiency and reducing costs [10].

University libraries, as fundamental pillars of higher education, serve as central spaces for access to information, learning, and research processes for students, academics, and researchers [11]. These libraries are public spaces that play a crucial role in providing access to information, supporting learning, and facilitating research activities for both students and academic staff [12]. Today, these spaces are defined not only as providers of information but also as dynamic structures that support academic and social development, responding to changing needs [13]. Therefore, the design and management processes should be organized in a way that aligns with the institution's educational goals and addresses the evolving needs of users. In recent years, rapid advancements in educational technologies and changes in learning habits have led to significant transformations in libraries [14].

Although the focus of this research is specifically on university libraries, this choice is not arbitrary. Libraries present a unique context for environmental optimization due to their distinct characteristics, such as their diverse user base, fluctuating occupancy rates, and the need for a conducive atmosphere for study and research. Unlike other settings like offices, restaurants, or industrial environments, libraries face specific challenges in creating an optimal environment that supports both individual and group activities, making them an ideal case study for this research. Additionally, the integration of the IoT and AI technologies in a library setting offers valuable insights that could be transferable to other environments in the future. This targeted approach allows for a more nuanced exploration of how environmental factors impact user experience in academic settings, which could serve as a model for broader applications.

The central challenge of this study lies in accurately modeling the complex relationships between environmental factors in university libraries and user productivity and satisfaction, with limited data and potential noise from sensor readings. Traditional machine learning algorithms often struggle with small datasets and class imbalance, which can lead to overfitting and reduced generalization. To address this, we implemented a comprehensive approach by carefully selecting robust algorithms like KNNs and Random Forest and applying the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) to balance the dataset. This ensured the model could generalize effectively while mitigating the risk of overfitting. Our approach also emphasizes the interpretability and efficiency of the selected models, making them well suited for real-world applications in smart campus environments. Through these strategies, we were able to achieve high accuracy and provide

actionable insights into the influence of environmental factors on user behavior, overcoming the challenges posed by the limitations of the dataset and algorithmic complexity.

Contributions

This study presents several key contributions to the optimization of university library workspaces through an IoT-based system:

- Development of an IoT-based system: the system monitors and analyzes environmental factors such as sound, light, temperature, humidity, air quality, and occupancy, collecting real-time data and storing them in the cloud.
- User feedback integration: the system integrates user feedback to assess work experiences and productivity, offering actionable recommendations for efficiency improvements [15].
- Use of machine learning: machine learning algorithms process the collected data to identify ideal conditions for optimizing library workspaces [16].
- Environmental optimization: the system addresses environmental factors holistically, aiming to enhance learning and productivity in libraries, which are crucial spaces for students and academic staff.
- Impact of environmental factors on cognitive functions: research highlights the influence of temperature, lighting, and air quality on cognitive function, attention, and overall work effectiveness [16].
- Focus on air quality: the system analyzes key air quality parameters (CO, CO₂, TVOCs) and optimizes ventilation, pollutant control, and humidity regulation [17].
- Comprehensive framework: this study presents a comprehensive IoT-driven library management framework that combines objective sensor data with user feedback, creating more adaptive and efficient learning environments.
- Impact on satisfaction and productivity: good air quality enhances satisfaction and productivity in study environments, and effective ventilation plays a crucial role in maintaining a healthy indoor atmosphere [18,19].
- Advances in technology: The use of IoT sensors enables the real-time monitoring of environmental factors in libraries. The data from these sensors are analyzed with machine learning to optimize conditions, improving library management and user experience [20].

2. Related Works

Recent research has focused on environmental factors that impact work efficiency, particularly in educational settings like university libraries. Studies show that environmental conditions significantly affect academic performance and productivity, with factors such as lighting, temperature, humidity, noise, and air quality influencing concentration and work output. However, most research addresses individual factors, with limited studies evaluating multiple factors simultaneously. Additionally, there is a gap in the literature regarding the use of IoT-based systems for monitoring environmental data.

2.1. The Impact of Environmental Factors on Academic Performance

Various studies have explored the impact of environmental factors on academic performance, with noise being a significant distraction that negatively affects concentration and information processing. High noise levels have been shown to hinder effective academic performance [21]. Similarly, the indoor environmental quality (IEQ) is critical for health and productivity. A study evaluating the IEQ of a university library examined parameters such as the indoor air quality (IAQ), lighting, and acoustics, assessing their effects based on the LEED v4, ASHRAE 62.1, and WELL standards. The findings underscored the crucial role of these factors in shaping user experience [19].

Additional research on a campus library's IEQ identified issues including high temperatures (above 21.2 °C), humidity levels ranging from 51.3% to 55.8%, poor air circulation, elevated CO₂ levels (up to 588 ppm), noise levels of between 43 and 61 dB, and inadequate light intensity (below 300 lux). Recommendations included maintaining a temperature range of 24.5–26.5 °C, improving insulation, and optimizing window-to-wall ratios [22]. Another study assessed academic library environments in Nigeria during peak usage periods, analyzing the acoustic, visual, and thermal comfort using portable devices based on the ASHRAE 55 and ISO 7730 standards. The results were compared to CIBSE Guide A, providing insights for improving the IEQ [23].

Research has also explored the influence of the IAQ on student concentration. One study revealed that poor air quality (average 2115 ppm CO₂) did not directly reduce concentration but significantly increased error rates in cognitive tasks [24]. Similarly, a study on the IEQ in educational buildings found that administrative staff in Ghana reported higher satisfaction with their office environments, enhancing productivity, whereas academic staff experienced a negative impact [25].

2.2. Spatial Innovations and Environmental Optimization in Libraries

Research on spatial innovations in university libraries has examined various aspects influencing user satisfaction. A study focusing on three university libraries in Wuhan, China, evaluated six key dimensions, including service accessibility, interior design, and environmental factors, using multiple linear regression analysis. The findings provided valuable recommendations for library design improvements [26].

Additionally, studies have investigated how outdoor air pollution and noise influence indoor environmental quality. One study proposed using sensors and AI-based real-time data detection to enhance air quality and minimize noise, promoting natural ventilation behaviors [27]. Another study identified the IEQ criteria affecting user performance and well-being in higher education libraries. Data from 421 students revealed varying priorities among different user groups, highlighting the need for targeted improvements [28].

A qualitative study with 11 faculty members and 24 students further emphasized the adverse effects of poor thermal, lighting, acoustic, and IAQ conditions on teaching and learning. Faculty struggled to maintain optimal environments, while students reported discomfort and reduced learning quality due to noise disturbances [29]. Another study tested the effects of temperature, noise, and lighting on learning efficiency, identifying the optimal environmental conditions for different cognitive tasks [30].

2.3. The Role of IoT and AI in Library Environmental Monitoring

IoT-based solutions have been increasingly explored to optimize environmental conditions in libraries. A study in metropolitan cities highlighted how IoT-enabled sensors could improve the IAQ and noise management [31]. Another investigation assessed the IEQ of a campus library, identifying thermal discomfort, high CO₂ levels, and inadequate lighting, with recommendations for architectural modifications [22].

Furthermore, research on IoT adoption in libraries surveyed 389 staff members in Nanjing, China, emphasizing the importance of effective management and staff motivation for successful implementation [32]. Another study explored the integration of the IoT and machine learning for personal thermal comfort modeling, demonstrating high predictive accuracy using the Extra Trees classifier [33].

AI-driven environmental monitoring systems have also been proposed. A study introduced an IAQ evaluation system utilizing microcontrollers and sensors to collect real-time air parameters. Using artificial intelligence, the system compared indoor and outdoor data, aiding decision-making for library management [34]. Similarly, a Romanian

study combined biometric data from wearable devices with environmental monitoring to create an ecological system aimed at enhancing air quality [35].

Recent advancements in Smart Environmental Monitoring (SEM) systems, powered by the IoT and modern sensors, have improved early pollution detection. These systems monitor environmental factors such as CO₂, PM, NO_x, VOCs, and water quality, with machine learning enhancing data analysis [36]. The IoT is also transforming libraries by improving infrastructure, collection management, and security [37]. The IoT is transforming libraries by enhancing areas like building management, collection management, education, and data security. It is important for librarians to understand the IoT and for users to be educated on security issues. The IoT has the potential to modernize library infrastructure, improving user satisfaction [38]. The rapid development of artificial intelligence (AI) and the IoT has led to the integration of smart devices, revolutionizing public services and library science, ushering in the era of “smart libraries” [39].

2.4. Fog–Cloud Computing for Enhanced Library Systems

Efficient IoT integration in libraries requires robust computing infrastructure for real-time data processing. Fog computing enhances performance by providing localized processing and storage at the network edge. This model acts as an intermediary between cloud and edge layers, optimizing network efficiency and reducing cloud dependency [40].

Fog computing plays a crucial role in IoT applications such as smart cities, industrial automation, and library management by processing data closer to the source. It reduces latency and enhances real-time decision-making, ultimately improving the efficiency of smart library systems [41]. Given the increasing number of IoT devices, cloud-based data transmission can create network bottlenecks. Fog computing addresses this challenge by utilizing intelligent gateways at the network edge, optimizing resource allocation and improving overall system performance [42].

Recent research highlights various applications of fog–cloud computing in enhancing system performance across multiple domains. For instance, air quality monitoring and forecasting systems benefit from fog computing by integrating the IoT, LPWANs, and deep learning models for real-time environmental analysis. The fog-enabled Air Quality Monitoring and Prediction (FAQMP) system utilizes Smart Fog Environmental Gateways (SFEs) for localized deep learning processing, ensuring real-time predictions while optimizing resource usage [43].

Similarly, low-cost and automated monitoring systems employing edge AI computing have demonstrated effectiveness in the real-time observation of environmental dynamics. Such systems can be leveraged for library environments to monitor air quality, user occupancy, and energy consumption patterns, contributing to sustainable smart library ecosystems [44].

Furthermore, the convergence of cloud computing, fog computing, machine learning, and the IoT has opened new possibilities for intelligent data processing. Fog computing alleviates network burdens by enabling resource-intensive computations closer to the data source. Machine learning techniques, including object and text detection models, can be deployed within fog nodes to improve information retrieval and automation in library management systems [45].

Another emerging challenge is ensuring seamless data migration and synchronization between cloud and fog environments. Existing frameworks, such as FETCH, integrate deep learning and automated monitoring to enhance system compatibility, particularly in health monitoring applications. Applying similar frameworks in library systems could facilitate efficient data handling, reducing latency and improving service reliability through optimized fog–cloud interactions [46].