

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

IOT ƏSASLI AĞILLI KİTABXANA MÜHİTLƏRİNDƏ SENSOR ƏHƏMİYYƏTİNİN İNTERPRETASIYASI VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ MODELLƏRİNİN HESABLAMA SƏMƏRƏLİLİYİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Sərkan Məmmədov¹

<https://orcid.org/0009-0007-9413-0971>

serkan.m@ndu.edu.az

¹Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan.

*Yazılan müəllif: serkan.m@ndu.edu.az; Tel.: (+994)602334455

XÜLASƏ

Bu tədqiqat IoT əsaslı ağıllı kitabxana mühitlərində ətraf mühit sensorlarının maşın öyrənməsi modellərinin qərarvermə prosesinə təsirinin interpretasiyasını və hesablama səmərəliliyinin qiymətləndirilməsini hədəfləyir. Düzce Universiteti Kitabxanasında toplanmış çoxölçülü sensor məlumatları əsasında yeddi fərqli maşın öyrənməsi alqoritmi KNN, Random Forest, Decision Tree, SVM, XGBoost, Logistic Regression və Naive Bayes müqayisəli şəkildə tətbiq edilmişdir. Tədqiqatın əsas elmi töhfəsi sensor əhəmiyyətinin qiymətləndirilməsində iki yanaşmanın, yəni Random Forest Feature Importance və Permutation Importance metodlarının paralel istifadəsidir. Bu yanaşma sensor dəyişənlərinin model daxili qərar mexanizmi ilə real performans təsirini daha dəqiq analiz etməyə imkan vermişdir. Nəticələr göstərir ki, Feature Importance yanaşması temperatur və insan sıxlığı kimi dəyişənləri daha dominant faktorlar kimi qiymətləndirərkən, Permutation Importance analizi işıq intensivliyi və CO₂ əsaslı dəyişənlərin model performansına daha yüksək təsir göstərdiyini ortaya qoyur. Bu fərqlilik sensor interpretasiyasında yalnız model daxili ölçülərin kifayət etmədiyini və daha etibarlı qiymətləndirmə metodlarına ehtiyac olduğunu göstərir. Bundan əlavə, hesablama səmərəliliyi baxımından KNN və Decision Tree modelləri aşağı resurs tələbi və yüksək icra sürəti ilə real vaxt IoT tətbiqləri üçün daha uyğun nəticələr nümayiş etdirmişdir. Ümumilikdə tədqiqat göstərir ki, IoT əsaslı sistemlərdə optimal model seçimi yalnız proqnoz dəqiqliyi deyil, həm də sensor interpretasiyası və hesablama səmərəliliyi birlikdə nəzərə alınaraq aparılmalıdır.

Açar sözlər: *IoT, Maşın öyrənməsi, Sensor analizi, Feature importance, Permutation importance.*

GİRİŞ

Müasir universitet kitabxanaları yalnız informasiya resurslarına çıxış təmin edən məkanlar deyil, eyni zamanda tələbə və akademik heyətin intensiv tədqiqat, öyrənmə və elmi fəaliyyətlərini həyata keçirdiyi əsas akademik mühitlər kimi çıxış edir. Bu mühitlərdə temperatur, səs səviyyəsi, işıqlandırma, CO₂ konsentrasiyası və məkan doluluğu kimi ətraf mühit faktorları istifadəçilərin idrak proseslərinə və akademik məhsuldarlığına birbaşa təsir göstərir (Hoşten & Dalbay, 2018). Tədqiqatlar göstərir ki, bu parametrlərin optimal intervalda tənzimlənməsi akademik fəaliyyətin keyfiyyətini artırır (Bischo & Lahrz, 2008), əksinə, qeyri-adekvat mühit şəraiti isə diqqət dağınıqlığı və məhsuldarlıq itkisinə səbəb olur (Tabuenca et al., 2021).

Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyaları bu parametrlərin real vaxt rejimində izlənilməsini mümkün etmiş, maşın öyrənməsi (ML) əsaslı qərar dəstəyi sistemlərinin inkişafı üçün mühüm zəmin yaratmışdır (Umenga Weerasuriya et al., 2023). Bununla belə, mövcud tədqiqatların əksəriyyəti yalnız alqoritmlərin proqnozlaşdırma dəqiqliyinin müqayisəsinə fokuslanmış (Salamone et al., 2020), sensor əhəmiyyətinin sistemli interpretasiyası (Marzouk & Atef, 2022) və hesablama səmərəliliyi kimi kritik aspektlər isə kifayət qədər araşdırılmamışdır. Xüsusilə resurs məhdud IoT cihazlarında real vaxt rejimində işləyən sistemlər üçün yalnız dəqiqliyi deyil, eyni zamanda hesablama xərclərini nəzərə alan kompleks qiymətləndirmə yanaşmalarına ehtiyac getdikcə artmaqdadır.

Əvvəlki tədqiqatımızda Düzce Universiteti Kitabxanasında IoT sensorları vasitəsilə toplanan çoxölçülü ətraf mühit məlumatları əsasında yeddi ML alqoritmi müqayisə edilmiş və KNN modeli 99.04% F1-score ilə ən yüksək nəticəni nümayiş etdirmişdir (Mammadov & Kucukkulahli, 2025). Lakin həmin işdə sensor dəyişənlərinin model qərarlarına töhfəsi və hesablama resurs istifadəsi sistemli şəkildə analiz edilməmişdir. Hazırkı tədqiqat bu boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə Feature Importance və Permutation Importance metodlarının paralel tətbiqi ilə sensor interpretasiyasını və hesablama səmərəliliyini kompleks

şəkildə qiymətləndirməyi hədəfləyir.

2.ƏLAQƏLİ TƏDQIQATLAR

2.1. Ətraf Mühit Amillərinin Akademik Məhsuldarlığa Təsiri

Ətraf mühit amillərinin tədris və öyrənmə proseslərinə təsirini araşdıran çoxsaylı tədqiqatlar göstərir ki, səs-küy akademik performansə mənfi təsir göstərən əsas faktorlardan biridir. Yüksək səs səviyyəsi tələbələrin diqqətini yayındırır, informasiya emal prosesini çətinləşdirir və nəticə etibarilə ümumi akademik göstəricilərin zəifləməsinə səbəb olur (Khritish, 2023). Eyni zamanda, qapalı məkanlarda karbon dioksid (CO₂) konsentrasiyasının yüksəlməsi idrak funksiyalarının zəifləməsi, diqqət davamlılığının azalması və yorğunluğun artması ilə əlaqələndirilmişdir (Twardella et al., 2012).

İşıqlandırma səviyyəsi də tədris mühitinin keyfiyyətini müəyyən edən mühüm amillərdən biri kimi çıxış edir. Tədqiqatlar göstərir ki, xüsusilə təbii işıqlandırma tələbələrin diqqət səviyyəsinə, ümumi rifahına və akademik məhsuldarlığına müsbət təsir göstərir (Viola et al., 2008). Bundan əlavə, temperatur və rütubət kimi iqlim göstəricilərinin optimal hədlərdən kənara çıxması da öyrənmə səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır (Akanmu et al., 2021).

Bununla belə, mövcud elmi ədəbiyyatın əksəriyyəti bu ətraf mühit faktorlarını ayrı-ayrılıqda nəzərdən keçirmiş, onların qarşılıqlı təsirini və birgə dinamikasını sistemli şəkildə analiz etməmişdir (Sadick et al., 2020). Bu isə ətraf mühit keyfiyyətinin kompleks və integrasiya olunmuş şəkildə qiymətləndirilməsi üçün vahid analitik çərçivənin zəruriliyini ortaya qoyur.

2.2. Kitabxana Mühitlərinin Optimallaşdırılmasında IoT Tətbiqləri

Son illərdə IoT (Internet of Things) texnologiyalarının kitabxana mühitlərində tətbiqi sahəsində aparılan tədqiqatların sayı nəzərəcarpacaq dərəcədə artmışdır. Mövcud araşdırmalar göstərir ki, temperatur, rütubət, karbon dioksid (CO₂) və səs səviyyəsi kimi ətraf mühit parametrlərinin IoT sensorları vasitəsilə real vaxt rejimində monitorinqi istifadəçi məhsuldarlığının artırılması baxımından effektiv yanaşma hesab olunur (Hong et al., 2022).

Kampus kitabxanaları üzərində aparılmış tədqiqatlarda yüksək temperatur, artmış CO₂ konsentrasiyası və qeyri-kafi işıqlandırma kimi ekoloji problemlər müəyyən edilmiş, bu çatışmazlıqların aradan qaldırılması üçün həm memarlıq, həm də texniki optimallaşdırma yanaşmaları təklif olunmuşdur (Umenga Weerasuriya et al., 2023). Bu yanaşmalar kitabxana mühitlərinin daha komfortlu və məhsuldar öyrənmə mühitinə çevrilməsində mühüm rol oynayır.

Digər tərəfdən, IoT texnologiyalarının kitabxana idarəetməsinə integrasiyası ilə bağlı tədqiqatlar göstərir ki, işçi heyətinin effektiv idarə olunması və motivasiya səviyyəsi bu sistemlərin uğurlu tətbiqi üçün kritik amillərdən biridir (Khan et al., 2022). Bundan əlavə, süni intellekt əsaslı hava keyfiyyəti qiymətləndirmə sistemləri mikrokontrollerlər və sensor şəbəkələri vasitəsilə real vaxt məlumatlarını emal edərək kitabxana idarəetməsinə dəstəkləyən qərarvermə mexanizmləri kimi təqdim edilmişdir (Marzouk & Atef, 2022).

Bununla yanaşı, fog və bulud hesablamalarının integrasiyası böyük həcmli IoT məlumatlarının emalı və saxlanması üçün genişlənə bilən (Maashi et al., 2024), eyni zamanda aşağı gecikmə təmin edən effektiv bir infrastruktur modeli kimi qiymətləndirilmişdir (Mahapatra et al., 2024).

Bununla belə, mövcud tədqiqatların əksəriyyəti əsasən ətraf mühit monitorinqinə fokuslanmış, toplanan sensor məlumatlarının hansı maşın öyrənməsi alqoritmləri vasitəsilə daha effektiv şəkildə təhlil olunduğu və hansı sensorların model qərarvermə prosesinə daha çox təsir etdiyi sisteməti şəkildə araşdırılmamışdır. Bu boşluq növbəti bölmədə təqdim olunan alqoritmlərin müqayisəli təhlilinə əsas verir.

2.3. Maşın Öyrənməsi Alqoritmlərinin Müqayisəli Təhlili

Ətraf mühit keyfiyyətinin təsnifatı və proqnozlaşdırılmasında maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqi son illərdə sürətlə inkişaf edən tədqiqat istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Bu sahədə aparılan araşdırmalar göstərir ki, müxtəlif alqoritmlərin performansı həm istifadə olunan verilənlər bazasının xüsusiyyətlərindən, həm də tətbiq edilən qiymətləndirmə meyarlarından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Ətraf mühit keyfiyyətinin təsnifatına yönəlmiş tədqiqatlarda müxtəlif ML alqoritmləri sınaqdan keçirilmiş, ansambl əsaslı metodların çoxölçülü sensor məlumatlarında daha yüksək proqnozlaşdırma dəqiqliyi nümayiş etdirdiyi müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda, mikrokontrollerlər vasitəsilə toplanan real vaxt sensor məlumatlarının süni intellekt modelləri ilə birləşdirilməsi kitabxana və kampus mühitlərinin idarəedilməsində daha stabil qərar dəstəyi sistemlərinin qurulmasına imkan vermişdir (Marzouk & Atef, 2022).

Bununla belə, mövcud tədqiqatların əksəriyyətində alqoritmlərin müqayisəsi əsasən dəqiqlik metrikaları olan F1-score, precision və recall üzərindən aparılmış, lakin hesablama səmərəliliyi, o cümlədən öyrənmə müddəti, yaddaş istifadəsi və test mərhələsinin icra vaxtı kimi resurs əsaslı göstəricilər çox vaxt nəzərə alınmamışdır (Zareb et al., 2021). Halbuki IoT əsaslı real vaxt sistemlərində, xüsusilə Raspberry Pi kimi məhdud hesablama resurslarına malik cihazlarda tətbiq olunan həllərdə bu göstəricilər alqoritm seçimi baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır.

Digər tərəfdən, sensor əhəmiyyəti analizi yəni hər bir sensorun model qərarvermə prosesinə verdiyi töhfənin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi mövcud ədəbiyyatda nisbətən az araşdırılmış istiqamətlərdən biri olaraq qalmaqdadır (Shah et al., 2020). Bu boşluq, ətraf mühit keyfiyyətinin daha dərin və izaholunan şəkildə modelləşdirilməsi üçün əlavə tədqiqat ehtiyacını ortaya qoyur.

Mövcud ədəbiyyatın ümumi təhlili göstərir ki, həm proqnoz dəqiqliyini, həm hesablama səmərəliliyini, həm də sensor əhəmiyyətini vahid analitik çərçivədə birləşdirən kompleks müqayisəli tədqiqatlara ciddi ehtiyac vardır. Hazırkı tədqiqat məhz bu boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə həyata keçirilmişdir.

3. DATASET VƏ MƏLUMATLARIN HAZIRLANMASI

3.1. Məlumatın Toplanması

Tədqiqatda istifadə edilən məlumatlar Düzce Universiteti Kitabxanasının əsas oxu zalında toplanmışdır (Mammadov & Kucukkulahli, 2025). Səs səviyyəsi, işıq intensivliyi, temperatur, rütubət, CO₂, eCO₂, TVOC və anlıq istifadəçi sayı kimi 8 ətraf mühit parametri IoT sensorları vasitəsilə real vaxt rejimində qeydə alınmış, istifadəçi rəyləri isə QR kod əsaslı sorğu vasitəsilə toplanaraq sensor məlumatları ilə zaman damğasına görə sinxronlaşdırılmışdır (Mammadov & Kucukkulahli, 2025).

3.2. Məlumat Toplusunun Strukturu

Məlumat toplusu 8 sensor dəyişənini, istifadəçi rəylərinin kodlaşdırılmış formalarını və hər qeydin aid olduğu zaman damğasını əhatə edir (Mammadov & Kucukkulahli, 2025). Ümumi ətraf mühit keyfiyyəti qiymətləndirməsini əks etdirən hədəf dəyişəni 5 sinifdən ibarətdir: çox pis, pis, orta, yaxşı və çox yaxşı. Sinif balansını təmin etmək məqsədilə SMOTE metodu tətbiq edilmiş və nəticədə 9404 sətirdən ibarət balanslaşdırılmış dataset əldə edilmişdir (Mammadov & Kucukkulahli, 2025). Məlumat toplusunun strukturu Cədvəl 1-də təqdim edilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, sensor göstəriciləri ilə istifadəçi qiymətləndirmələri paralel şəkildə qeydə alınmış, hər sətir müəyyən bir zaman anında oxu zalındakı ətraf mühit vəziyyətini əks etdirir.

Cədvəl 1. Məlumat toplusundan nümunə qeydlər (N=9).

Səs (dB)	Səs İstif.	İşıq (lux)	İşıq İstif.	Temp. (°C)	Rütubət (%)	Temp. İstif.	CO ₂ (ppm)	eCO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	Hava İstif.	Doluluq (nəf.)	Doluluq İstif.	Ümumi Qiymət
130.49	4	2677	4	25.6	40.85	4	293	670	131	2	43	4	4
126.15	3	2679	4	25.76	40.78	3	286	652	126	4	42	3	4
117.56	4	2678	4	25.94	40.48	4	313	652	129	3	40	3	3
103.72	4	2690	4	25.8	41.15	4	272	642	110	2	50	4	4
105.57	4	2706	5	25.87	41.05	4	325	583	90	3	50	3	4
97.1	4	2742	3	25.66	40.84	4	246	515	56	2	48	3	4
98.24	5	2691	4	25.56	40.83	5	209	478	39	4	48	4	4
94.11	5	2695	4	25.29	41.17	4	258	413	0	4	45	4	4
53.87	4	2766	4	25.77	39.52	4	223	400	0	4	48	4	4

3.3. Məlumatların Ön Emalı və Balanslaşdırılması

Xam məlumatlar modelləşdirməyə hazırlanmadan əvvəl bir sıra ön emal mərhələlərindən keçirilmişdir (Mammadov & Kucukkulahli, 2025). Kateqorial istifadəçi rəyləri — "çox yetərli", "yetərli", "qərarsızam", "yətərsiz" və "heç yetərli deyil" - Label Encoding metodu ilə uyğun olaraq 5, 4, 3, 2, 1 rəqəmsal dəyərlərinə çevrilmişdir. Məlumat toplusunda sinif balanssızlığı aşkar edildiyi üçün az təmsil olunan siniflərin nümunə sayını artırmaq məqsədilə SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling

Technique) metodu tətbiq edilmişdir (Elreedy et al., 2023). Bu mərhələdən sonra sensor məlumatları ilə istifadəçi rəyləri zaman damğasına əsasən sinxronlaşdırılmış və model üçün vahid strukturlu məlumat toplusu formalaşdırılmışdır.

4. TƏDQİQAT METODOLOGİYASI

4.1. İstifadə Edilən Maşın Öyrənməsi Alqoritmləri

Bu tədqiqatda yeddi müxtəlif maşın öyrənməsi alqoritmi tətbiq edilmişdir: KNN, Random Forest, Decision Tree, SVM, XGBoost, Logistic Regression və Naive Bayes. Hər bir alqoritm eyni məlumat toplusu üzərində sınaqdan keçirilmiş, hiperparametrlərin optimallaşdırılmasında GridSearchCV metodu, modellərin qiymətləndirilməsində isə 10 qatlı çarpaz yoxlama (cross-validation) tətbiq edilmişdir (Mammadov & Kucukkulahli, 2025).

4.2. Sensor Əhəmiyyəti Analizi

Bu tədqiqatda sensor əhəmiyyətinin müəyyən edilməsi üçün iki müxtəlif metod paralel şəkildə tətbiq edilmişdir. Birinci metod olan Random Forest Feature Importance, hər bir sensorun model qərarlarına töhfəsini alqoritmın daxili Gini indeksinə əsasən hesablayır. İkinci metod olan Permutation Importance isə hər bir sensor dəyişəninə dəyərlərini ardıcıl olaraq qarışdıraraq modelin F1-score göstəricisindəki azalmanı ölçür, bu azalma nə qədər böyükdürsə, həmin sensor bir o qədər kritik hesab edilir. İki metodun paralel tətbiqi sensor əhəmiyyətinin daha etibarlı və hərtərəfli şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.

4.3. Qiymətləndirmə Metrikaları

Bu tədqiqatda alqoritmlərin müqayisəsi iki əsas istiqamət üzrə həyata keçirilmişdir. Birinci istiqamətdə təsnifat performansını F1-score, precision və recall metrikaları vasitəsilə qiymətləndirilmişdir. İkinci istiqamətdə isə hesablama səmərəliliyi öyrənmə vaxtı, sınaq vaxtı və yaddaş istifadəsi ölçülmüşdür. Bu iki istiqamətin birlikdə qiymətləndirilməsi IoT əsaslı real vaxt sistemləri üçün ən optimal alqoritmın müəyyən edilməsinə imkan yaradır.

5. EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR

5.1. Alqoritmlərin Performans Müqayisəsi

Tədqiqat çərçivəsində tətbiq edilən yeddi müxtəlif maşın öyrənməsi alqoritmının performansını F1-score, precision və recall metrikaları əsasında müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, modellərin performansları arasında nəzərəcərpacaq fərqlər mövcuddur və bu fərqliliklər əsasən alqoritmlərin struktur xüsusiyyətləri və verilənlərdəki qeyri-xətti münasibətlərlə izah olunur.

Cədvəl 2. Maşın öyrənməsi modellərinin performans müqayisəsi.

Alqoritm	F1 Score ↑	Precision ↑	Recall ↑
KNN	0.9904	0.9906	0.9901
SVM	0.945	0.951	0.941
Random Forest	0.9902	0.9905	0.9906
Decision Tree	0.984	0.984	0.984
XGBoost	0.741	0.750	0.743
Naive Bayes	0.429	0.434	0.450
Logistic Regression	0.493	0.491	0.515

Yeddi maşın öyrənməsi modelinin F1-score, precision və recall metrikaları üzrə müqayisəli performans nəticələri Cədvəl 2-də təqdim edilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, modellər arasında nəzərəcərpacaq performans fərqləri mövcuddur. Bu fərqliliklər əsasən alqoritmlərin struktur xüsusiyyətləri və verilənlərdəki qeyri-xətti münasibətlərlə izah olunur.

Ən yüksək ümumi performans KNN alqoritmı tərəfindən nümayiş etdirilmişdir. Bu model 0.9904 F1-score, 0.9906 precision və 0.9901 recall göstəriciləri ilə bütün modellər arasında ən balanslı və yüksək nəticəni əldə etmişdir. KNN-in üstün performansı verilənlərdə nümunələr arasında güclü lokal oxşarlıq strukturunun mövcudluğunu təsdiqləyir və məsafə əsaslı metodların bu tip çoxölçülü sensor məlumatlarında effektiv işlədiyini göstərir.

Sərkən Məmmədov

İkinci ən yüksək nəticə Random Forest algoritmi tərəfindən əldə olunmuşdur (F1-score = 0.9902). Random Forest-un yüksək performansının onun ansambl əsaslı strukturu ilə əlaqədardır; bu yanaşma çoxsaylı qərar ağaclarının nəticələrini birləşdirərək həm variasiyayı azaldır, həm də overfitting riskini minimallaşdırır.

Decision Tree modeli 0.984 F1-score ilə yüksək, lakin KNN və Random Forest ilə müqayisədə bir qədər aşağı performans nümayiş etdirmişdir. Bu fərq tək ağac strukturunun sabillik baxımından məhdudiyyətləri ilə izah olunur.

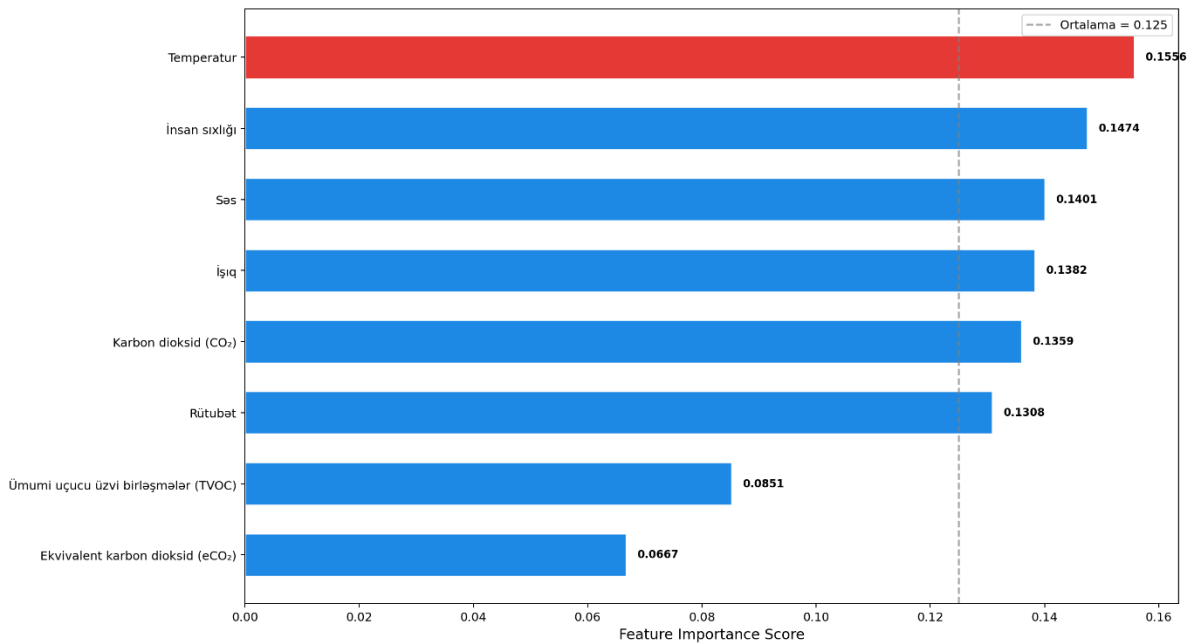
SVM modeli 0.945 F1-score ilə orta-yüksək səviyyəli nəticə göstərmişdir. XGBoost isə 0.741 F1-score ilə orta səviyyəli performans nümayiş etdirmiş, gradient boosting yanaşmasının bu konkret dataset üçün tam potensialını reallaşdırmadığını göstərmişdir.

Bunun əksinə olaraq, Logistic Regression (0.493), Naïve Bayes (0.429) modelləri nisbətən zəif performans nümayiş etdirmişdir. Bu nəticə verilənlərdə xətti ayrılmanın zəif olduğunu və dəyişənlər arasında mürəkkəb qeyri-xətti münasibətlərin mövcudluğunu göstərir. Xüsusilə Naïve Bayes modelinin aşağı nəticəsi atributlar arasında müstəqillik fərziyyəsinin bu dataset üçün keçərliliyini təsdiqləyir.

Ümumilikdə əldə olunan nəticələr göstərir ki, məsafə əsaslı və ansambl əsaslı modellər bu tip IoT əsaslı çoxölçülü ətraf mühit təsnifatı problemlərində daha yüksək performans nümayiş etdirir.

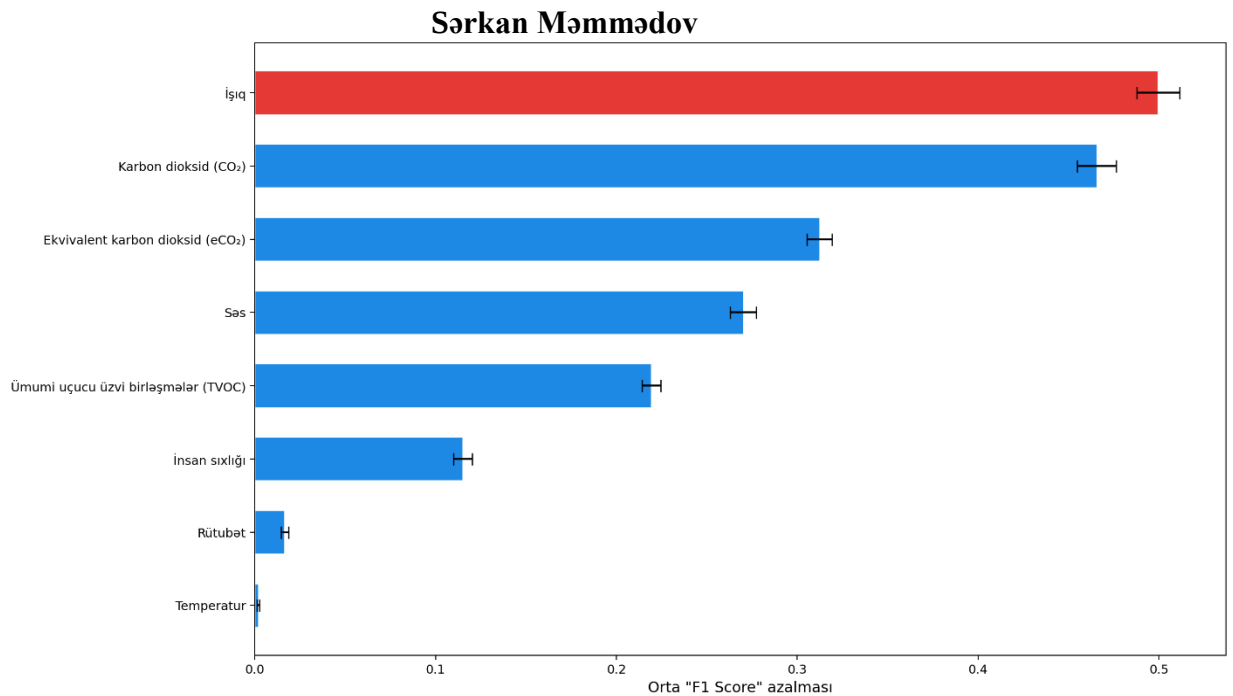
5.2. Sensor Əhəmiyyəti Analizi Nəticələri

Sensor əhəmiyyəti analizi çərçivəsində Random Forest və K-Nearest Neighbors (KNN) modelləri üçün müvafiq olaraq Gini əsaslı Feature Importance və Permutation Importance metodları tətbiq edilmişdir. Bu yanaşma sensor dəyişənlərinin model qərarlarına təsirini həm daxili model strukturu, həm də performans həssaslığı baxımından qiymətləndirməyə imkan verir.



Şəkil 1. "Random Forest" modeli üzrə xüsusiyyətlərin əhəmiyyəti dərəcəsi (Feature Importance) Sensor göstəricilərinin mühit keyfiyyətinin təyininə təsiri.

Random Forest modelinin daxili Feature Importance sıralaması Şəkil 1-də təqdim edilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, sensor dəyişənləri arasında əhəmiyyət baxımından fərqlər mövcuddur və bu fərqlər modelin qərarvermə mexanizmini anlamaq üçün mühüm əsas yaradır. Random Forest modelinə əsaslanan Feature Importance nəticələri göstərir ki, ən yüksək təsirə malik dəyişən temperatur (0.1556) olmuşdur. Bu nəticə modelin qərar mexanizminin əsasən istilik dəyişikliklərinə həssas olduğunu göstərir. Daha sonra insan sıxlığı (0.1474), səs səviyyəsi (0.1401) və işıq intensivliyi (0.1382) yüksək əhəmiyyət göstəricilərinə malik olmuşdur. Bu dəyişənlər məkanın həm fiziki, həm də sosial dinamikasını əks etdirərək modelin qərar prosesində mühüm rol oynayır. Digər tərəfdən, TVOC (0.0851) və eCO₂ (0.0667) dəyişənləri nisbətən aşağı təsir göstərmişdir.



Şəkil 2. "KNN" modeli üçün "Permutation Feature Importance" təhlili (Daha yüksək göstərici müvafiq sensorun yüksək əhəmiyyətini ifadə edir).

KNN modeli üçün Permutation Importance analizi nəticələri Şəkil 2-də göstərilmişdir. Şəkildən aydın olur ki, sensor dəyişənlərinin model performansına təsiri Feature Importance metodundan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. KNN modeli üçün aparılan Permutation Importance analizi fərqli nəticə strukturu ortaya qoymuşdur. Bu modeldə işıq intensivliyi (~0.50) ən kritik dəyişən kimi müəyyən edilmiş və onun pozulması model performansında ciddi azalmaya səbəb olmuşdur. CO₂ (~0.46) və eCO₂ (~0.31) göstəriciləri də yüksək əhəmiyyət nümayiş etdirmişdir. Bunun əksinə olaraq, temperatur və rütubət dəyişənləri model performansına minimal təsir göstərmişdir. Bu nəticə göstərir ki, KNN modeli daha çox məsafə əsaslı oxşarlıq strukturlarına və vizual/hava keyfiyyəti dəyişənlərinə həssasdır.

Cədvəl 3. Random Forest və Permutation Importance sıralamalarının müqayisəsi.

Sensor	RF Ranking	Permutation Ranking
Temperatur	1	8
İnsan sıxlığı	2	6
Səs	3	4
İşıq	4	1
Karbon dioksidi (CO ₂)	5	2
Rütubət	6	7
Ümumi uçucu üzvi birləşmələr (TVOC)	7	5
Ekvivalent karbon dioksidi (eCO ₂)	8	3

Cədvəl 3, Random Forest modelinin daxili Feature Importance sıralaması ilə Permutation Importance metodundan əldə edilən nəticələrin müqayisəsini təqdim edir. Bu müqayisə sensor dəyişənlərinin model daxilində necə qiymətləndirildiyini və real performans təsiri ilə nə dərəcədə uyğunlaşdığını göstərmək məqsədi daşıyır.

Əldə olunan nəticələr göstərir ki, Random Forest modelinə görə ən vacib dəyişən temperatur (1-ci

yer) olmuşdur, halbuki Permutation Importance nəticələrində bu dəyişən ən aşağı sıralarda (8-ci yer) yerləşmişdir. Bu, modelin daxili qərar mexanizmi ilə real performans təsiri arasında ciddi fərq olduğunu göstərir.

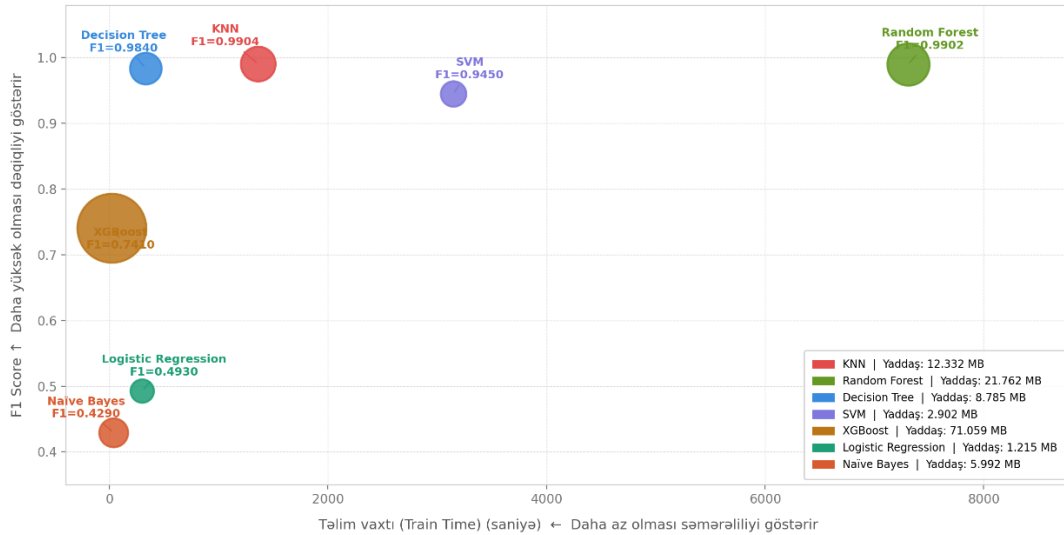
Digər tərəfdən, işıq intensivliyi dəyişəni Permutation Importance analizində 1-ci sıraya yüksələrək model performansına ən böyük təsir göstərən dəyişən olduğunu sübut etmişdir. Eyni zamanda eCO_2 və CO_2 dəyişənləri də Permutation nəticələrində daha yüksək mövqelərə yüksəlmişdir ki, bu da onların model üçün kritik rol oynadığını göstərir.

Bəzi dəyişənlər isə hər iki metodda daha stabil nəticələr göstərmişdir. Xüsusilə səs və rütubət dəyişənləri həm RF, həm də Permutation sıralamasında orta mövqelərdə yerləşərək nisbi sabitlik nümayiş etdirmişdir.

Ümumilikdə nəticələr göstərir ki, Random Forest-in daxili feature importance yanaşması bəzi hallarda dəyişənlərin real təsir gücünü tam əks etdirməyə bilər. Permutation Importance isə model performansına birbaşa təsirə əsaslandığı üçün daha etibarlı interpretasiya imkanı təqdim edir. Buna görə də sensor əhəmiyyəti analizi aparılarkən hər iki metodun birlikdə istifadə edilməsi daha düzgün nəticələr verir.

5.3. Hesablama Səmərəliliyi Təhlili

Bu bölmədə müxtəlif maşın öyrənməsi alqoritmlərinin performansını yalnız proqnozlaşdırma dəqiqliyi baxımından deyil, həm də hesablama səmərəliliyi təlim müddəti, test müddəti və yaddaş istifadəsi baxımından müqayisə edilmişdir. Bu analiz IoT əsaslı real vaxt sistemlərində model seçiminin optimallaşdırılması üçün kritik əhəmiyyət daşıyır.



Şəkil 3. Alqoritmlərin hesablama səmərəliliyinin və performansının müqayisəsi (Dairənin ölçüsü = Yaddaş istifadəsi).

Şəkil 3-də göstərilən bubble chart nəticələri alqoritmlərin F1-score, təlim müddəti və yaddaş istifadəsi üzrə üçölçülü müqayisəsini təqdim edir. Nəticələr göstərir ki, KNN modeli yüksək F1-score (0.9904) əldə etməklə yanaşı, 1360.9 saniyəlik təlim müddəti və 12.332 MB yaddaş istifadəsi ilə yüksək performanslı modeldir. Decision Tree modeli isə 330.47 saniyə təlim müddəti, 8.785 MB yaddaş istifadəsi və 0.984 F1-score ilə həm sürət, həm də dəqiqlik baxımından ən balanslı nəticəni nümayiş etdirir.

Bunun əksinə olaraq, Random Forest modeli ən yüksək dəqiqliyə (0.9902) malik olsa da, 7309.2 saniyəlik təlim müddəti və 21.762 MB yaddaş istifadəsi ilə ən ağır hesablama yükünü yaradan modeldir. XGBoost modeli 71.059 MB yaddaş istifadəsi ilə yaddaş baxımından ən bahalı model olmasına baxmayaraq, cəmi 0.741 F1-score göstəricisi ilə orta səviyyəli performans nümayiş etdirmişdir. SVM (3146.9 saniyə təlim müddəti, 0.945 F1-score) və Logistic Regression (300.32 saniyə, 0.493 F1-score) modelləri isə resurs xərci ilə performans balansı baxımından nisbətən əlverişsiz nəticələr göstərmişdir.