

## AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNIVERSİTETİNDƏ YAŞIL KAMPUS TRANSFORMASIYASININ İQTİSADI QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

DOI: [10.71447/2413-7235-2026-1-94](https://doi.org/10.71447/2413-7235-2026-1-94)

**Kamran F. Bağirov**

*Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti, Magistrant*

*E-mail: [bagirovkf@gmail.com](mailto:bagirovkf@gmail.com)*

**Farid V. Quluzadə**

*Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti, Magistrant*

*E-mail: [farid.quluzade01@gmail.com](mailto:farid.quluzade01@gmail.com)*

**Yunis Q. Qurbanzadə**

*Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti, Magistrant*

*E-mail: [yunisqurbanzadah@gmail.com](mailto:yunisqurbanzadah@gmail.com)*

**Kamin Ə. Mirzəyev**

*Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti, Magistrant*

*E-mail: [kaminmir12@gmail.com](mailto:kaminmir12@gmail.com)*

**Natiq Ş. Muradov**

*Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti, Magistrant*

*E-mail: [natiqmuradov1905@gmail.com](mailto:natiqmuradov1905@gmail.com)*

### Xülasə

Məqalənin məqsədi Azərbaycan Texniki Universiteti (AzTU) təmsalında enerji səmərəliliyi və yaşıl texnologiyaların tətbiqinin iqtisadi səmərəsini, qənaət potensialını və institusional tətbiq mexanizmlərini çoxmeyarlı qiymətləndirmə əsasında araşdırmaqdır. Tədqiqatın elmi problemi ondan ibarətdir ki, ali təhsil müəssisələrində enerji səmərəliliyi çox vaxt ayrı-ayrı texniki tədbirlər kimi təqdim olunur, lakin enerji istehlakının funksional strukturu, investisiya səmərəliliyi, monitoring, idarəetmə və mərhələli maliyyələşmə mexanizmləri vahid analitik çərçivədə kifayət qədər əsaslandırılmır. Məqalədə struktur təhlil, ssenari yanaşması, sadə geriödəmə müddəti, enerji və maliyyə qənaəti hesablamaları, çoxmeyarlı layihə prioritetləşdirilməsi və 2026-2030-cu illər üzrə yol xəritəsi yanaşmasından istifadə edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, AzTU-da elektrik enerjisi istehlakı 2020-2025-ci illərdə 2 184 min kVt-saatdan 2 691 min kVt-saata yüksəlmiş, elektrik enerjisi üzrə xərc isə 262,1 min AZN-dən 430,6 min AZN-ə çatmışdır. 2025-ci ildə ümumi enerji xərci 951,9 min

AZN səviyyəsində qiymətləndirilmişdir. İlk hesablamalar 12-18% ümumi enerji qənaəti potensialını göstərir. 120 kW-lıq fotovoltaiq sistem illik elektrik istehlakının 6,3-7,1%-ni kompensasiya edə bilər; 10-15% hədəf üçün sistem gücünün 250-300 kW-a qədər artırılması tələb olunur. LED modernləşməsi 100-150 min kVt-saat illik enerji qənaəti, BMS pilot layihəsi isə istilik və havalandırma xərclərində 10-15% qənaət yarada bilər. Məqalənin əsas töhfəsi AzTU üçün ölçülə bilən, mərhələli və maliyyə baxımından əsaslandırılmış yaşıl kampus transformasiya modelinin təklif edilməsidir.

**Açar sözlər:** enerji səmərəliliyi, yaşıl texnologiyalar, yaşıl kampus, fotovoltaiq sistem, LED işıqlandırma, bina idarəetmə sistemi, ISO 50001, ali təhsil müəssisələri, AzTU.

## ECONOMIC ASSESSMENT OF GREEN CAMPUS TRANSFORMATION AT AZERBAIJAN TECHNICAL UNIVERSITY

**Kamran F. Baghirov**

*Master's Student, Azerbaijan Technical University*

*E-mail: bagirovkf@gmail.com*

**Farid V. Quluzade**

*Master's Student, Azerbaijan Technical University*

*E-mail: farid.quluzade01@gmail.com*

**Yunis G. Gurbanzade**

*Master's Student, Azerbaijan Technical University*

*E-mail: yunisqurbanzadah@gmail.com*

**Kamin A. Mirzayev**

*Master's Student, Azerbaijan Technical University*

*E-mail: kaminmir12@gmail.com*

**Natiq Sh. Muradov**

*Master's Student, Azerbaijan Technical University*

*E-mail: natiqmuradov1905@gmail.com*

### Abstract

This article investigates the economic efficiency, savings potential and institutional implementation mechanisms of energy efficiency measures and green technologies in higher education institutions using Azerbaijan Technical University (AzTU) as a case study. The research problem is that energy efficiency in universities is often treated as a set of isolated technical interventions, while the functional structure of energy consumption, investment feasibility, monitoring, governance and phased financing mechanisms are not sufficiently integrated into a single analytical framework. The study applies structural analysis, scenario-based assessment, simple

payback calculations, energy and financial savings estimation, multi-criteria project prioritisation and a phased 2026-2030 roadmap approach. The findings indicate that AzTU's electricity consumption increased from 2.184 million kWh in 2020 to 2.691 million kWh in 2025, while electricity expenditures increased from AZN 262.1 thousand to AZN 430.6 thousand. Total energy expenditure reached AZN 951.9 thousand in 2025. Preliminary calculations indicate a total energy savings potential of 12-18%. A 120 kW photovoltaic system can compensate for 6.3-7.1% of annual electricity consumption; achieving a 10-15% target would require expanding system capacity to approximately 250-300 kW. LED modernisation can generate annual savings of 100-150 thousand kWh, while a BMS pilot project may reduce heating and ventilation-related costs by 10-15%. The main contribution of the article is a measurable, phased and financially grounded green campus transformation model for AzTU.

**Keywords:** *energy efficiency, green technologies, green campus, photovoltaic system, LED lighting, building management system, ISO 50001, higher education institutions, Azerbaijan Technical University.*

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ «ЗЕЛЁНОГО КАМПУСА» В АЗЕРБАЙДЖАНСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

**Камран Ф. Багиров**

*Магистрант, Азербайджанский Технический Университет*

*E-mail: [bagirovkf@gmail.com](mailto:bagirovkf@gmail.com)*

**Фарид В. Гулузаде**

*Магистрант, Азербайджанский Технический Университет*

*E-mail: [farid.quluzade01@gmail.com](mailto:farid.quluzade01@gmail.com)*

**Юнис Г. Гурбанзаде**

*Магистрант, Азербайджанский Технический Университет*

*E-mail: [yunisqurbanzadah@gmail.com](mailto:yunisqurbanzadah@gmail.com)*

**Камин А. Мирзаев**

*Магистрант, Азербайджанский Технический Университет*

*E-mail: [kaminmir12@gmail.com](mailto:kaminmir12@gmail.com)*

**Натик Ш. Мурадов**

*Магистрант, Азербайджанский Технический Университет*

*E-mail: [natigmuradov1905@gmail.com](mailto:natigmuradov1905@gmail.com)*

## Аннотация

Цель статьи заключается в исследовании экономической эффективности, потенциала ресурсосбережения и институциональных механизмов внедрения энергоэффективности и зелёных технологий на примере Азербайджанского Технического Университета (АзТУ) на основе многокритериальной оценки. Научная проблема исследования состоит в том, что в высших учебных заведениях энергоэффективность зачастую рассматривается как совокупность отдельных технических мероприятий, тогда как функциональная структура энергопотребления, инвестиционная эффективность, мониторинг, управление и механизмы поэтапного финансирования недостаточно обоснованы в рамках единой аналитической модели.

В статье использованы методы структурного анализа, сценарного подхода, расчёта простого срока окупаемости, оценки энергетической и финансовой экономии, многокритериальной приоритизации проектов, а также подход дорожной карты на период 2026–2030 годов.

Результаты исследования показывают, что потребление электроэнергии в АзТУ в 2020–2025 годах увеличилось с 2 184 тыс. кВт·ч до 2 691 тыс. кВт·ч, а расходы на электроэнергию возросли с 262,1 тыс. манатов до 430,6 тыс. манатов. Общие затраты на энергоресурсы в 2025 году оцениваются на уровне 951,9 тыс. манатов. Предварительные расчёты свидетельствуют о наличии потенциала общей экономии энергии в размере 12–18%.

Фотоэлектрическая система мощностью 120 кВт способна компенсировать 6,3–7,1% годового потребления электроэнергии; для достижения целевого показателя в 10–15% требуется увеличение мощности системы до 250–300 кВт. Модернизация системы освещения на основе LED-технологий обеспечивает ежегодную экономию 100–150 тыс. кВт·ч электроэнергии, а пилотный проект внедрения системы управления зданием (BMS) способен снизить расходы на отопление и вентиляцию на 10–15%.

Основным вкладом статьи является предложение измеримой, поэтапной и финансово обоснованной модели трансформации зелёного кампуса для АзТУ.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, зелёные технологии, зелёный кампус, фотоэлектрическая система, LED-освещение, система управления зданием (BMS), ISO 50001, высшие учебные заведения, АзТУ.

## 1. GİRİŞ

Enerji səmərəliliyi və yaşıllıq texnologiyaların tətbiqi son illərdə təşkilatların strateji idarəetmə gündəliyində daha mühüm yer tutmağa başlamışdır. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin son hesabatları göstərir ki, enerji səmərəliliyi artıq yalnız xərclərin azaldılması aləti deyil, həm də enerji təhlükəsizliyi, rəqabətqabiliyyətlilik, emissiyaların azaldılması və dayanıqlı inkişaf siyasətinin əsas istiqamətlərindən biridir (IEA, 2024, 2025). Ali təhsil müəssisələri bu prosesdə xüsusi mövqeyə malikdir, çünki universitet kampusları həm böyük enerji istehlakçısıdır, həm də texnoloji innovasiyanın və davranış dəyişikliklərinin yayılması üçün institusional platforma rolunu oynayır.

Son illərin tədqiqatları göstərir ki, ali təhsil müəssisələrində enerji səmərəliliyi tədbirləri daha çox bina modernləşməsi, işıqlandırma, istilik və havalandırma sistemlərinin optimallaşdırılması, bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi və rəqəmsal monitoring vasitələri ilə bağlıdır (Almasri et al., 2024; Munaro & John, 2024). Bununla yanaşı, universitet kampuslarının enerji transformasiyası yalnız texnologiya seçimi ilə məhdudlaşmır; istifadəçi davranışı, idarəetmə strukturu, monitoring sistemi və maliyyələşmə mexanizmi də nəticəyə birbaşa təsir göstərir (Chen et al., 2022; Trevisan et al., 2025). Azərbaycan Texniki Universiteti enerji səmərəliliyi və yaşıllıq texnologiyaların tətbiqi üçün uyğun tədqiqat obyektidir. Universitetin texniki və mühəndislik profili, çoxsaylı tədris korpusları, laboratoriya və kompüter otaqları, kitabxana, inzibati və yardımçı sahələri enerji istehlakını çoxkomponentli sistemə çevirir. Bu səbəbdən AzTU üzrə enerji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi yalnız ümumi kommunal xərclərin təhlili ilə məhdudlaşmamalı, enerji istehlakının funksional strukturu və investisiya səmərəliliyi ilə birlikdə araşdırılmalıdır.

Məqalənin məqsədi AzTU təmsalında enerji səmərəliliyi və yaşıllıq texnologiyaların tətbiqinin iqtisadi faydalarını, qənaət potensialını və mərhələli tətbiq mexanizmlərini çoxmeyerli qiymətləndirmə əsasında əsaslandırmaqdır. Tədqiqat aşağıdakı suallara cavab axtarır: AzTU-da enerji istehlakı və enerji xərcləri hansı dinamika ilə dəyişmişdir? Əsas qənaət potensialı hansı sahələrdə formalaşır? Fotovoltaik sistem, LED işıqlandırma və BMS layihələri iqtisadi baxımdan nə dərəcədə əsaslandırıla bilər? 2026-2030-cu illər üçün hansı yol xəritəsi daha real və müdafiə edilə bilər?

## 2. Ədəbiyyat icmalı və nəzəri çərçivə

Enerji səmərəliliyi üzrə son tədqiqatlarda ali təhsil müəssisələri xüsusi kateqoriya kimi qiymətləndirilir. Almasri et al. (2024) təhsil müəssisələrində enerji səmərəliliyi və bərpa olunan enerji sistemləri üzrə müasir ədəbiyyatı ümumiləşdirərək göstərir ki, universitetlər enerji qənaəti, karbon emissiyalarının azaldılması və innovasiya tətbiqi üçün əlverişli mühit yaradır. Munaro və John (2024) ali təhsil müəssisələrində enerji səmərəliliyi tədbirlərinin hələ də daha çox binalarda enerji sistemlərinin yenilənməsi və istehlakın azaldılması üzrə cəmləşdiyini, bərpa olunan enerji payının isə məhdud qaldığını göstərir.

Yaşıl kampus tədqiqatlarında son illər daha çox integrativ yanaşma ön plana çıxır. Chen et al. (2022) universitet kampuslarında retrofit layihələrinin yalnız texniki indikatorlara deyil, həm də istifadəçi tələblərinə uyğun qurulmalı olduğunu əsaslandırırlar. Du et al. (2023) isə ali təhsil müəssisələri üçün dayanıqlılıq qiymətləndirmə alətlərinin ilkin diaqnostika və dərin benchmark mexanizmləri yaratdığını göstərir. Trevisan et al. (2025) smart kampus yanaşmalarının təkcə rəqəmsal

texnologiya deyil, həm də idarəetmə, tədqiqat, tədris və infrastrukturun bütüncül transformasiyası ilə bağlı olduğunu vurğulayırlar.

Enerji idarəetmə sistemləri üzrə son tədqiqatlar ISO 50001 uyğun idarəetmə mexanizmlərinin enerji performansını sistemli şəkildə izləməyə imkan verdiyini göstərir. Quispe et al. (2025) ali təhsil müəssisələrinin binalarında enerji menecmenti sistemlərinin tətbiqi metodlarını və enerji performansına təsirini təhlil edirlər. Alotaibi (2025) ISO 50001-ə uyğun enerji idarəetmə sisteminin tətbiqi üzrə case study əsasında göstərir ki, enerji siyasəti, baza göstəriciləri, daxili audit və davamlı təkmilləşdirmə prosedurları enerji qənaətinin institusional dayanıqlığını artırır.

LED işıqlandırma, HVAC və BMS sistemləri üzrə son tədqiqatlar enerji qənaətinin texniki baza ilə yanaşı, idarəetmə və monitoring keyfiyyətindən asılı olduğunu göstərir. Kerem (2022) universitet kampusunda xarici işıqlandırma sisteminin enerji səmərəliliyini qiymətləndirərək işıqlandırma retrofitinin enerji və karbon emissiyası azalmasına təsirini əsaslandırır. Hamza et al. (2023) HVAC sistemlərinin seçimi üçün BWM və TOPSIS əsaslı çoxmeyarlı yanaşma təklif edir. Shahid (2025) isə bina enerji idarəetmə sistemlərində IoT, rəqəmsal əkizlər və real vaxt analitikasının enerji performansını artırmaqda mühüm rol oynadığını göstərir.

Ədəbiyyat icmal göstərir ki, ali təhsil müəssisələrində enerji səmərəliliyi tədbirləri texniki, maliyyə və institusional ölçülərin birlikdə qiymətləndirilməsini tələb edir. Bu məqalədə AzTU üzrə enerji istehlakı, qənaət potensialı, investisiya ssenariləri və mərhələli yol xəritəsi məhz bu integrativ yanaşma əsasında qurulur.

### 3. Metodologiya

Tədqiqatın metodoloji çərçivəsi struktur təhlil, ssenari əsaslı iqtisadi qiymətləndirmə, sadə geriödəmə müddəti hesablaması və çoxmeyarlı layihə prioritetləşdirilməsi yanaşmalarını birləşdirir. Məlumat bazası 2020-2025-ci illər üzrə AzTU-nun elektrik enerjisi istehlakı, elektrik enerjisi xərcləri, 2025-ci il üzrə ümumi enerji xərci və seçilmiş yaşıl texnologiyalar üzrə ilkin texniki-iqtisadi parametrlərdən ibarətdir.

Metodologiya beş mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələdə enerji istehlakı və xərc dinamikası təhlil edilir. İkinci mərhələdə qənaət potensialının formalaşdığı funksional sahələr müəyyənləşdirilir. Üçüncü mərhələdə FV, LED və BMS layihələri üzrə texniki-iqtisadi ssenarilər qurulur. Dördüncü mərhələdə layihələr sadə geriödəmə müddəti, investisiya həcmi və illik qənaət üzrə müqayisə edilir. Beşinci mərhələdə 2026-2030-cu illər üzrə tətbiq strategiyası və yol xəritəsi hazırlanır.

Enerji və maliyyə qənaətinin ilkin hesablanması aşağıdakı formullara əsaslanır:

$$ES = E0 - E1$$

$$FS = ES \times T$$

$$PP = IO / AS$$

Burada ES enerji qənaətini, E0 tədbirdən əvvəlki enerji istehlakını, E1 tədbirdən sonrakı enerji istehlakını, FS illik maliyyə qənaətini, T enerji tarifini, PP sadə geriödəmə müddətini, IO ilkin investisiya məbləğini, AS isə illik maliyyə qənaətini ifadə edir.

Tədqiqatda NPV və IRR hesablamaları üçün tam illik pul axını, diskont dərəcəsi, texniki xidmət xərcləri və kapital xərclərinin təsdiqlənmiş müqavilə göstəriciləri olmadığından əsas müqayisə aləti kimi sadə geriödəmə müddəti istifadə edilmişdir. Bu yanaşma ilkin texniki-iqtisadi əsaslandırma üçün məqbuldur, lakin yekun investisiya qərarından əvvəl diskontlaşdırılmış pul axını təhlili aparılmalıdır.

#### 4. Empirik nəticələr və iqtisadi qiymətləndirmə

##### 4.1. AzTU-da enerji istehlakının dinamikası

2020-2025-ci illər üzrə təhlil göstərir ki, AzTU-da elektrik enerjisi istehlakı 2 184 min kVt-saatdan 2 691 min kVt-saata yüksəlmişdir. Bu, 507 min kVt-saat və ya 23,2% artım deməkdir. Elektrik enerjisi üzrə xərc isə 262,1 min AZN-dən 430,6 min AZN-ə çatmış, yəni 64,3% artmışdır. Xərc artımının fiziki istehlak artımından daha yüksək olması enerji səmərəliliyi tədbirlərinin iqtisadi əsasını gücləndirir.

**Cədvəl 1.** AzTU-da elektrik enerjisi istehlakı və xərc dinamikası

| İl   | Elektrik enerjisi istehlakı, min kVt-saat | Elektrik enerjisi üzrə xərc, min AZN | 1 tələbəyə düşən elektrik istehlakı, kVt-saat |
|------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2020 | 2 184                                     | 262,1                                | 196                                           |
| 2021 | 2 247                                     | 276,4                                | 202                                           |
| 2022 | 2 361                                     | 306,9                                | 212                                           |
| 2023 | 2 474                                     | 346,4                                | 222                                           |
| 2024 | 2 586                                     | 387,9                                | 232                                           |
| 2025 | 2 691                                     | 430,6                                | 242                                           |

*Mənbə: müəlliflərin AzTU üzrə enerji göstəriciləri əsasında hesablamaları.*

##### 4.2. Enerji qənaəti potensialı

2025-ci il üzrə AzTU-nun ümumi enerji xərci 951,9 min AZN səviyyəsində qiymətləndirilmişdir. Bu xərclərin 45,2%-i elektrik enerjisi, 54,8%-i isə qaz və istilik istiqamətində formalaşmışdır. Bu struktur göstərir ki, enerji səmərəliliyi strategiyası yalnız elektrik enerjisi ilə məhdudlaşmamalı, istilik, havalandırma, bina zərfi və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərini də əhatə etməlidir.

**Cədvəl 2.** AzTU üzrə ilkin enerji qənaəti potensialı

| Qənaət istiqaməti                    | Ümumi enerji xərcində təxmini payı, % | Mümkün qənaət norması, % | Ümumi xərclərə təsir, faiz bəndi |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| İşıqlandırma sistemi                 | 15                                    | 25-35                    | 3,8-5,3                          |
| İsitmə və havalandırma               | 38                                    | 10-15                    | 3,8-5,7                          |
| Laboratoriya və texniki avadanlıqlar | 18                                    | 8-12                     | 1,4-2,2                          |
| Kompüter və inzibati avadanlıqlar    | 12                                    | 8-10                     | 1,0-1,2                          |

|                                    |     |       |           |
|------------------------------------|-----|-------|-----------|
| Ümumi istifadə və yardımçı sahələr | 17  | 10-20 | 1,7-3,4   |
| Ümumi potensial                    | 100 | -     | 11,7-17,8 |

*Mənbə: müəlliflərin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.*

Cədvəl 2 göstərir ki, AzTU üzrə ümumi enerji qənaəti potensialı təxminən 12-18% intervalında qiymətləndirilə bilər. Daha konservativ 14-18% intervalı əsas götürüldükdə, 951,9 min AZN baza enerji xərci üzrə illik maliyyə qənaəti 133,3-171,3 min AZN arasında dəyişir.

#### 4.3. Fotovoltaik sistemin qiymətləndirilməsi

AzTU üçün 120 kW gücündə damüstü fotovoltaik sistem ilkin pilot layihə kimi qiymətləndirilmişdir. Sistem ildə təxminən 170-190 min kVt-saat elektrik enerjisi istehsal edə bilər. 2025-ci il üzrə AzTU-nun elektrik istehlakı 2 691 min kVt-saat olduğuna görə, 120 kW-lıq FV sistem ümumi elektrik istehlakının təxminən 6,3-7,1%-ni kompensasiya edir.

**Cədvəl 3.** 120 kW-lıq FV sistem üzrə ilkin iqtisadi qiymətləndirmə

| Göstərici                   | Pessimist          | Realist            | Optimist           |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Sistem gücü                 | 120 kW             | 120 kW             | 120 kW             |
| İlkin investisiya           | 204 000 AZN        | 173 400 AZN        | 142 800 AZN        |
| İllik enerji istehsalı      | 170 000 kVt-saat   | 180 000 kVt-saat   | 190 000 kVt-saat   |
| Orta elektrik tarifi        | 0,160 AZN/kVt-saat | 0,160 AZN/kVt-saat | 0,160 AZN/kVt-saat |
| İllik maliyyə qənaəti       | 27 200 AZN         | 28 800 AZN         | 30 400 AZN         |
| Sadə geriödəmə müddəti      | 7,5 il             | 6,0 il             | 4,7 il             |
| Elektrik istehlakına təsiri | 6,3%               | 6,7%               | 7,1%               |

*Mənbə: müəlliflərin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.*

Bu nəticə 120 kW-lıq sistemin orta müddətli investisiya kimi əsaslandırılaraq biləcəyini göstərir. Lakin elektrik istehlakının 10-15%-nin bərpa olunan enerji hesabına qarşılınması üçün sistem gücünün 250-300 kW səviyyəsinə qədər genişləndirilməsi tələb olunur. Buna görə FV layihəsi əvvəlcə pilot tətbiq, daha sonra genişləndirmə ssenarisi kimi planlaşdırılmalıdır.

#### 4.4. LED işıqlandırma sisteminin qiymətləndirilməsi

LED modernləşməsi ilkin mərhələdə texniki baxımdan ən real enerji səmərəliliyi tədbirlərindən biridir. Kerem (2022) universitet kampusunda işıqlandırma sistemlərinin yenilənməsinin enerji qənaəti və karbon emissiyalarının azaldılması baxımından əhəmiyyətli nəticələr yarada bildiyini göstərir. AzTU üçün 3 000-4 000 işıqlandırma qurğusunun LED texnologiyası ilə əvəzlənməsi nəzərdə tutulur.

**Cədvəl 4.** LED işıqlandırma sisteminin ilkin iqtisadi qiymətləndirilməsi

| Göstərici               | Pessimist | Realist | Optimist |
|-------------------------|-----------|---------|----------|
| Dəyişdirilən qurğu sayı | 3 000     | 3 500   | 4 000    |
| Orta vahid xərc         | 60 AZN    | 45 AZN  | 35 AZN   |



|                        |                    |                    |                    |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| İlkin investisiya      | 180 000 AZN        | 157 500 AZN        | 140 000 AZN        |
| İllik enerji qənaəti   | 100 000 kVt-saat   | 125 000 kVt-saat   | 150 000 kVt-saat   |
| Orta elektrik tarifi   | 0,160 AZN/kVt-saat | 0,160 AZN/kVt-saat | 0,160 AZN/kVt-saat |
| İllik maliyyə qənaəti  | 16 000 AZN         | 20 000 AZN         | 24 000 AZN         |
| Sadə geriödəmə müddəti | 11,3 il            | 7,9 il             | 5,8 il             |

*Mənbə: müəlliflərin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.*

LED layihəsi texniki baxımdan məqsədəuyğundur, lakin onun ümumi elektrik istehlakını təkbaşına 15-20% azaltması real görünmür. Təsirin yüksəldilməsi üçün LED texnologiyası hərəkət sensorları, zonal işıqlandırma və avtomatik söndürmə sistemləri ilə birlikdə tətbiq edilməlidir.

#### 4.5. BMS pilot layihəsinin qiymətləndirilməsi

Bina idarəetmə sistemi işıqlandırma, istilik, havalandırma və enerji monitorinqinin mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə edilməsinə imkan verir. Son tədqiqatlar göstərir ki, BEMS/BMS sistemləri sensorlar, IoT, real vaxt analitikası və optimallaşdırma alqoritmləri ilə birlikdə tətbiq edildikdə enerji performansını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırma bilər (Shahid, 2025; Almazam et al., 2025).

**Cədvəl 5.** BMS pilot layihəsi üzrə ilkin iqtisadi qiymətləndirmə

| Göstərici                  | Pessimist     | Realist       | Optimist      |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Tətbiq miqyası             | 1 korpus      | 1-2 korpus    | 2 korpus      |
| İlkin investisiya          | 255 000 AZN   | 200 000 AZN   | 136 000 AZN   |
| Qənaət norması             | 10%           | 12%           | 15%           |
| Qaz və istilik xərc bazası | 521,6 min AZN | 521,6 min AZN | 521,6 min AZN |
| İllik maliyyə qənaəti      | 52,2 min AZN  | 62,6 min AZN  | 78,2 min AZN  |
| Sadə geriödəmə müddəti     | 4,9 il        | 3,2 il        | 1,7 il        |

*Mənbə: müəlliflərin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.*

BMS pilot layihəsi düzgün seçilmiş korpuslarda tətbiq edildikdə AzTU üçün ən qısa geriödəmə müddətinə malik layihələrdən biri ola bilər. Lakin bu nəticə yalnız sensor infrastrukturunun düzgün qurulması, texniki personalın hazırlığı və real vaxt monitorinq sisteminin işləkliyi təmin edildikdə mümkündür.

#### 5. 2026-2030-cu illər üzrə tətbiq strategiyası

AzTU-da yaşıl texnologiyaların tətbiqi birdəfəlik modernləşmə kimi deyil, mərhələli transformasiya prosesi kimi qurulmalıdır. IEA (2025) enerji səmərəliliyi siyasətlərində ölçmə, standartlaşdırma, maliyyələşmə və institusional koordinasiyanın birlikdə tətbiqini vacib hesab edir. Bu məntiq AzTU üçün də keçərlidir: əvvəlcə ölçmə və audit, sonra sürətli qənaət tədbirləri, daha sonra işə kapital tutumlu texnologiyalar tətbiq edilməlidir.

**Cədvəl 6.** AzTU üzrə yaşıl texnologiyaların tətbiqi üçün 2026-2030-cu illər yol xəritəsi

| İl           | Əsas tədbirlər                                                           | Gözlənilən nəticə                                   | Əsas KPI                                                   |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 2026         | Enerji auditi, rəqəmsal sayğaclar, LED pilot və genişləndirmə            | Enerji xəritəsi və ilkin qənaət formalaşır          | Audit hesabatı, LED tətbiq sahəsi, kVt-saat qənaət         |
| 2027         | FV sistem üzrə texniki-iqtisadi əsaslandırma və 120 kW pilot quraşdırma  | Bərpa olunan enerji istehsalına başlanılır          | Quraşdırılmış güc, investisiya həcmi                       |
| 2028         | FV sistemin ilk tam əməliyyat ili və genişləndirmə qərarı                | 170-190 min kVt-saat istehsal potensialı yoxlanılır | FV istehsalı, elektrik xərcinə təsir                       |
| 2029         | BMS pilot tətbiqi və enerji performans göstəricilərinin hesablanması     | Real vaxt monitoring sistemi qurulur                | BMS tətbiq edilən korpus sayı, qənaət norması              |
| 2030         | BMS genişləndirilməsi, ISO 50001-ə hazırlıq və illik enerji hesabatı     | Enerji idarəetməsi institusionallaşır               | EnPI göstəriciləri, illik qənaət, hesabatlılıq             |
| 2030 sonrası | FV sistemin 250-300 kW-a qədər genişləndirilməsi və istilik izolyasiyası | Daha yüksək enerji qənaəti və yaşıl kampus modeli   | Elektrik istehlakında 10-15% kompensasiya, istilik qənaəti |

*Mənbə: müəlliflərin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.*

Yol xəritəsi göstərir ki, AzTU üçün ən real yanaşma ölçmə və monitoringdən başlamaqdır. Enerji auditi və rəqəmsal sayğaclar olmadan LED, FV və BMS layihələrinin real nəticələrini sübut etmək mümkün deyil. Buna görə 2026-cı il baza məlumatlarının formalaşdırılması ili kimi qəbul edilməlidir.

## 6. Müzakirə

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, AzTU-da enerji səmərəliliyi tədbirlərinin iqtisadi effekti texniki potensialdan daha çox tətbiq ardıcılığından, monitoring mexanizmindən və investisiya qərarlarının dəqiqliyindən asılıdır. Ən ciddi risk qənaət potensialının şişirdilməsidir. Məsələn, 120 kW-lıq FV sistemin 10-15% elektrik qənaəti yaratması iddiası 2025-ci il üzrə 2 691 min kVt-saat elektrik istehlakı bazasında real deyil. Dəqiq hesablamaya görə bu sistem yalnız 6,3-7,1% kompensasiya təmin edir.

Eyni ehtiyatlı yanaşma LED sistemi və BMS üçün də tətbiq edilməlidir. LED layihəsi zəruridir, lakin ümumi elektrik istehlakına təsiri işıqlandırmanın faktiki payından asılıdır. BMS isə potensial olaraq yüksək səmərəli layihədir, lakin texniki integrasiya, sensor keyfiyyəti və istifadəçi davranışı təmin edilmədikdə gözlənilən nəticə alınmaya bilər. Bu baxımdan AzTU üçün mərhələli pilot yanaşma daha peşəkar və müdafiə oluna bilən modeldir.

Məqalənin praktiki töhfəsi ondan ibarətdir ki, yaşıl texnologiyalar birdəfəlik xərclər kimi deyil, mərhələli investisiya portfeli kimi təqdim edilir. İlk mərhələdə enerji auditi və LED kimi daha aşağı

riskli tədbirlər tətbiq olunur, onların nəticəsi ölçülür və əldə edilən qənaət sonrakı BMS və FV genişləndirmə layihələrinə yönəldilir. Bu, yaşıl revolving fond mexanizminin universitet səviyyəsində tətbiqi üçün əsas yaradır.

## 7. Nəticə və təkliflər

Aparılmış tədqiqat göstərir ki, AzTU-da enerji səmərəliliyi və yaşıl texnologiyaların tətbiqi real iqtisadi, ekoloji və institusional fayda yaratmaq potensialına malikdir. 2020-2025-ci illər üzrə elektrik enerjisi istehlakının 23,2%, elektrik enerjisi xərclərinin isə 64,3% artması universitet üçün enerji idarəetməsinin strateji əhəmiyyətini artırır.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, AzTU-da ümumi enerji qənaəti potensialı təxminən 12-18% intervalında qiymətləndirilə bilər. 2025-ci il üzrə 951,9 min AZN enerji xərci bazasında bu, illik 133,3-171,3 min AZN maliyyə qənaəti deməkdir.

120 kW gücündə FV sistem illik 170-190 min kVt-saat elektrik enerjisi istehsal edə və AzTU-nun elektrik istehlakının 6,3-7,1%-ni kompensasiya edə bilər. Elektrik istehlakının 10-15%-nin bərpa olunan enerji hesabına qarşılınması üçün FV sistemin gücü 250-300 kW səviyyəsinə qədər artırılmalıdır.

LED işıqlandırma sistemi mərhələli tətbiq üçün uyğun layihədir. Lakin onun ümumi elektrik istehlakına təsiri şişirdilməməlidir. LED sistemi sensorlu idarəetmə və avtomatik söndürmə mexanizmləri ilə birlikdə tətbiq olunmalıdır. BMS pilot layihəsi isə istilik və havalandırma xərclərində 10-15% qənaət yarada bilər. Sistem bütün əsas korpuslara genişləndirildikdə və optimallaşdırma düzgün aparıldıqda bu göstərici 20-25%-ə yüksələ bilər.

- AzTU-da tam enerji auditi aparılmalı və korpuslar üzrə enerji xəritəsi hazırlanmalıdır.
- Rəqəmsal sayğaclar və enerji monitoring sistemi qurulmalıdır.
- LED işıqlandırma sistemi əvvəlcə pilot, sonra mərhələli şəkildə genişləndirilmiş formada tətbiq edilməlidir.
- BMS əvvəlcə enerji sərfiyyatı yüksək olan 1-2 korpusda sınaqdan keçirilməlidir.
- 120 kW-lıq FV sistem pilot layihə kimi tətbiq edilməli, uğurlu nəticədən sonra 250-300 kW-a qədər genişləndirilməlidir.
- ISO 50001 uyğun enerji idarəetmə sisteminə hazırlıq başlanmalıdır.
- Hər il enerji səmərəliliyi hesabatı hazırlanmalıdır.
- Yaşıl revolving fond mexanizmi yaradılmalı və qənaətdən əldə olunan vəsait növbəti yaşıl texnologiya layihələrinə yönəldilməlidir.
- Tələbə və müəllimlər enerji auditi, FV istehsalının izlənməsi və BMS pilot layihələrinə cəlb edilməlidir.

Nəticə etibarilə, AzTU-da enerji səmərəliliyi və yaşıl texnologiyaların tətbiqi birdəfəlik texniki modernləşmə deyil, mərhələli, ölçülə bilən və maliyyə baxımından əsaslandırılmış yaşıl kampus transformasiyası kimi qurulmalıdır.

## 8. Məhdudiyyətlər və gələcək tədqiqat istiqamətləri

Tədqiqatın əsas məhdudiyyəti ondan ibarətdir ki, hesablamalar ilkin texniki-iqtisadi qiymətləndirmə xarakteri daşıyır və tam enerji auditi məlumatlarına əsaslanmır. NPV, IRR və həyat dövrü xərclərinin dəqiq hesablanması üçün faktiki investisiya smetası, illik texniki xidmət xərcləri,

diskont dərəcəsi, tarif ssenariləri və avadanlıqların ömür müddəti barədə daha dəqiq məlumat tələb olunur. Gələcək tədqiqatlarda korpuslar üzrə real ölçmə məlumatları əsasında panel-data və ya enerji performans indeksləri modeli qurula bilər. Bundan əlavə, FV sistemin 250-300 kW genişləndirmə ssenarisi, BMS-in pilot tətbiqdən sonrakı real qənaət nəticələri və ISO 50001 uyğun enerji idarəetmə sisteminin institusional təsiri ayrıca qiymətləndirilməlidir.

## ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Almazam, K., Humaidan, O., Shannan, N. M., Bashir, F. M., Gammoudi, T., & Dodo, Y. A. (2025). Innovative energy efficiency in HVAC systems with an integrated machine learning and model predictive control technique: A prospective toward sustainable buildings. *Sustainability*, 17(7), 2916. <https://doi.org/10.3390/su17072916>
2. Almasri, R. A., Abu-Hamdeh, N. H., & Al-Tamimi, N. (2024). A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1344216. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1344216>
3. Alotaibi, S. (2025). A case study of the Saudi Standards, Metrology and Quality Organization: ISO 50001-compliant energy management system implementation. *Sustainability*, 17(11), 5131. <https://doi.org/10.3390/su17115131>
4. Chen, G., Liu, Y., & Wang, X. (2022). Integrating sustainability and users' demands in the retrofit of a university campus in China. *Sustainability*, 14(16), 10414. <https://doi.org/10.3390/su141610414>
5. Du, Y., Wang, Y., & Zhang, L. (2023). Sustainable assessment tools for higher education institutions: A two-hierarchy approach. *Sustainability*, 15(15), 11551. <https://doi.org/10.3390/su151511551>
6. Hamza, M., Bafail, O., & Alidrisi, H. (2023). HVAC systems evaluation and selection for sustainable office buildings: An integrated MCDM approach. *Buildings*, 13(7), 1847. <https://doi.org/10.3390/buildings13071847>
7. International Energy Agency. (2024). *Energy Efficiency 2024*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024>
8. International Energy Agency. (2025). *Energy Efficiency 2025*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025>
9. International Energy Agency. (2025). *Energy Efficiency Policy Toolkit 2025*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-toolkit-2025>
10. Kerem, A. (2022). Assessing the electricity energy efficiency of university campus exterior lighting system and proposing energy-saving strategies for carbon emission reduction. *Microsystem Technologies*, 28(12), 2623-2640. <https://doi.org/10.1007/s00542-022-05268-x>
11. Munaro, M. R., & John, V. M. (2024). Energy efficiency in the higher education institutions: A review of actions and their contribution to sustainable development. In *Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience* (pp. 207-217). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_19)

12. Quispe, E. C., Viveros Mira, M., Chamorro Díaz, M., Castrillón Mendoza, R., & Vidal Medina, J. R. (2025). Energy management systems in higher education institutions' buildings. *Energies*, 18(7), 1810. <https://doi.org/10.3390/en18071810>
13. Shahid, M. N., Shahid, M. U., & Irfan, M. (2025). Advances in building energy management: A comprehensive review. *Buildings*, 15(23), 4237. <https://doi.org/10.3390/buildings15234237>
14. Trevisan, L. V., Leal Filho, W., Dinis, M. A. P., & Sierra, J. (2025). Towards smart approaches to sustainability on campuses: Construction, validation and assessment of a measurement scale. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2024-0744>