



Original Research Paper

AĞILLI SAYĞAC TEXNOLOGİYALARININ NƏZƏRİ ƏSASLARI

Rauf Mamedli¹

<https://orcid.org/0009-0007-3333-5658>

¹ Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan

Article history

Received: 05.09.2026

Revised: 11.09.2026

Accepted: 27.09.2026

*Corresponding Author: Rauf Mamedli, Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan.
Email: raufmamedli@ndu.edu.az

Xülasə

Məqalədə müasir elektroenergetika sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması və avtomatlaşdırılması kontekstində ağıllı sayğac (Smart Meter) texnologiyalarının nəzəri əsasları, quruluşu, iş prinsipi, kommunikasiya imkanları və tətbiq perspektivləri araşdırılır. Tədqiqatın əsas məqsədi ağıllı sayğacın enerji istehlakının ölçülməsi, monitorinqi, məlumatların emalı və enerji idarəetmə proseslərində rolunu sistemləşdirmək və onların smart şəbəkələrin formalaşmasındakı əhəmiyyətini müəyyən etməkdir. Məqalədə ağıllı sayğacın ölçmə, emal, yaddaş, kommunikasiya və istifadəçi interfeysi kimi əsas funksional modulları təhlil edilir, həmçinin Advanced Metering Infrastructure (AMI) sisteminin strukturu və fəaliyyəti izah olunur. PLC, GSM, Wi-Fi, Bluetooth və NB-IoT kimi kommunikasiya texnologiyalarının xüsusiyyətləri və tətbiq imkanları nəzərdən keçirilir. Ağıllı sayğacın real vaxt monitorinqi, iki tərəfli kommunikasiya, uzaqdan oxuma və idarəetmə, enerji itkilərinin azaldılması, tələb-cavab idarəetməsi və istehlakçı davranışlarının optimallaşdırılması baxımından üstünlükləri müəyyən edilir. Eyni zamanda, kibertəhlükəsizlik, məlumat məxfiliyi, kommunikasiya etibarlılığı, ilkin investisiya xərcləri, standartlaşdırma və interoperabellik kimi əsas problemlər sistemləşdirilir. Nəticə etibarilə, ağıllı sayğacın IoT, böyük verilənlər və süni intellekt texnologiyaları ilə inteqrasiyası enerji səmərəliliyinin artırılması, şəbəkə etibarlılığının yüksəldilməsi və dayanıqlı rəqəmsal enerji sistemlərinin formalaşdırılması üçün mühüm texnoloji imkanlar yaradır.

Açar sözlər: *Ağıllı sayğac; Smart Grid; AMI; Enerji idarəetməsi; IoT; Enerji səmərəliliyi*

Giriş

Müasir elektroenergetika sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması və avtomatlaşdırılması prosesində ölçmə texnologiyalarının inkişafı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu kontekstdə ağıllı sayğac (Smart Meters) enerji istehlakının ölçülməsi, monitorinqi və idarə olunmasında yeni nəsil texnoloji həll kimi formalaşmışdır. Ağıllı sayğac anlayışı yalnız elektrik enerjisinin istehlakını qeyd edən ölçü cihazını deyil, həm də məlumatların toplanması, emalı və ötürülməsi funksiyalarını yerinə yetirən kompleks informasiya-ölçmə sistemini ifadə edir. Bu baxımdan ağıllı sayğac enerji şəbəkələrinin rəqəmsal transformasiyasının əsas komponentlərindən biri hesab olunur.

Ənənəvi sayğaclarla müqayisədə ağıllı sayğacların əsas fərqi onların iki tərəfli kommunikasiya imkanlarına malik olmasıdır. Bu xüsusiyyət sayəsində enerji istehlakı haqqında məlumatlar real vaxt rejimində enerji təchizatçısına ötürülür, eyni zamanda şəbəkə operatoru tərəfindən idarəetmə siqnallarının istehlakçı tərəfinə göndərilməsi mümkün olur. Bu yanaşma enerji sistemlərində şəffaflığın artırılması, enerji itkilərinin azaldılması və istehlakçı davranışlarının optimallaşdırılması baxımından mühüm rol oynayır. Rənd və həmmüəlliflər ağıllı sayğacları sensor, hesablama və kommunikasiya modullarının inteqrasiyası əsasında fəaliyyət göstərən IoT qurğuları kimi xarakterizə edərək onların smart şəbəkələrin formalaşmasında əsas texnoloji platforma olduğunu qeyd etmişdir [4, s.5].

Ağıllı sayğacların inkişafı enerji ölçmə texnologiyalarının ümumi təkamül prosesi ilə sıx bağlıdır. İlk mərhələdə istifadə olunan mexaniki və elektromexaniki sayğaclar yalnız enerji istehlakının ümumi həcmi ölçmək funksiyasını yerinə yetirirdi. Bu sayğaclar uzun müddət enerji sektorunda geniş tətbiq olunsada, onların məlumatların avtomatik ötürülməsi və analizi imkanlarının olmaması enerji idarəetmə sistemlərinin effektivliyini məhdudlaşdırırdı. Növbəti mərhələdə elektron sayğacların tətbiqi ölçmə dəqiqliyini artırmış və çoxzonlu tariflərin tətbiqinə imkan yaratmışdır. Lakin bu cihazlar da əsasən passiv ölçmə funksiyasına malik idi.

Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı və kommunikasiya infrastrukturunun genişlənməsi ilə ağıllı sayğacların üçüncü inkişaf mərhələsi formalaşmışdır. Bu mərhələdə ölçmə cihazları informasiya sistemləri ilə inteqrasiya olunaraq uzaqdan oxuma, monitorinq və idarəetmə funksiyalarını yerinə yetirməyə başlamışdır. Akkaya və Soy tərəfindən aparılan tədqiqatlarda müasir ağıllı sayğacların NB-IoT, Wi-Fi və Bluetooth kimi rabitə texnologiyalarından istifadə etməklə məlumatların fasiləsiz ötürülməsini təmin etdiyi və bu yanaşmanın enerji sistemlərinin çevikliyini artırdığı vurğulanır [1, s.3].

Ağıllı sayğacların inkişafında mühüm mərhələlərdən biri də Advanced Metering Infrastructure (AMI) konsepsiyasının formalaşmasıdır. AMI sistemi sayğaclar, kommunikasiya şəbəkələri və məlumatların emalı platformalarının inteqrasiyasından ibarət olub enerji istehlakı haqqında məlumatların avtomatik toplanmasını və analitik emalını təmin edir. Bu sistemin tətbiqi enerji təchizatçılara şəbəkənin vəziyyəti haqqında dəqiq və operativ məlumat əldə etməyə, nasazlıqları vaxtında aşkar etməyə və istehlakçı yönümlü tarif siyasəti həyata keçirməyə imkan yaradır. JETIR mənbəsində qeyd edildiyi kimi, AMI texnologiyaları uzaqdan oxuma, nasazlıq diaqnostikası və enerji istehlakının analizi kimi funksiyaların reallaşdırılmasına şərait yaradır [6].

Ağıllı sayğacların tətbiqi yalnız texniki ölçmə prosesi ilə məhdudlaşmır, həm də enerji idarəetmə sistemlərinin ayrılmaz hissəsinə çevrilir. Kadarın tədqiqatında ağıllı sayğacların iki tərəfli kommunikasiya imkanlarının enerji idarəetmə sistemlərinin effektivliyini artırdığı, real vaxt məlumatlarının isə enerji istehlakının optimallaşdırılması üçün mühüm analitik baza yaratdığı göstərilmişdir [2, s.2]. Bu



xüsusiyyətlər sayəsində enerji istehsalı və istehlakı arasında balansın təmin edilməsi, pik yüklərin azaldılması və tələb-cavab idarəetməsi kimi funksiyalar həyata keçirilir.

Ağıllı sayğacların inkişaf mərhələlərində mühüm istiqamətlərdən biri də onların ağıllı bina və ağıllı şəhər sistemlərində tətbiqidir. Zivic və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların real vaxt ölçmə imkanlarının enerji qənaətinə və karbon emissiyalarının azaldılmasına töhfə verdiyini qeyd etmişdir [5, s.4]. Bu yanaşma enerji istehlakının şəffaflığını artırmaqla yanaşı, istehlakçıların enerji davranışlarının dəyişməsinə və daha səmərəli istifadə vərdişlərinin formalaşmasına səbəb olur.

Ağıllı sayğacların inkişafının müasir mərhələsi böyük verilənlər və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi ilə xarakterizə olunur. Real vaxt rejimində toplanan böyük həcmli məlumatlar enerji istehlakının proqnozlaşdırılması, nasazlıqların erkən diaqnostikası və şəbəkə optimallaşdırılması üçün geniş imkanlar yaradır. Meeks və həmmüəlliflər tərəfindən aparılan empirik tədqiqatlar ağıllı sayğacların tətbiqinin enerji itkilərinin azalmasına və şəbəkə etibarlılığının yüksəldilməsinə müsbət təsir göstərdiyini müəyyən etmişdir [3, s.6]. Bu nəticələr ağıllı sayğacların yalnız ölçmə aləti deyil, həm də enerji sistemlərinin idarə olunmasında strateji analitik komponent olduğunu göstərir.

Bununla yanaşı, smart şəbəkələrdə paylanmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi ağıllı sayğacların funksional imkanlarını daha da genişləndirir. ResearchGate mənbəsində qeyd olunduğu kimi, paylanmış nəzarət sistemləri enerji şəbəkələrinin adaptiv idarə olunmasına və kommunikasiya infrastrukturunun səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır [7]. Bu yanaşma ağıllı sayğacların gələcəkdə daha geniş miqyasda tətbiq olunacağına və enerji sistemlərinin tam rəqəmsallaşmasının əsas elementlərindən birinə çevriləcəyinə işarə edir.

Milli səviyyədə aparılan təşəbbüslər də ağıllı sayğacların inkişafında mühüm rol oynayır. Smart Azerbaijan platformasında qeyd edildiyi kimi, smart ölçmə sistemləri istehlak məlumatlarının avtomatik ötürülməsini təmin etməklə insan faktorunu minimuma endirir və enerji sektorunda operativ idarəetməni mümkün edir [8]. Bu yanaşma enerji bazarında şəffaflığın artmasına, hesablaşma proseslərinin sadələşdirilməsinə və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Ağıllı sayğac anlayışı enerji ölçmə texnologiyalarının təkamülünün nəticəsi kimi formalaşmış və müasir elektroenergetika sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasında mühüm rol oynayan kompleks texnoloji platformaya çevrilmişdir. Onların inkişaf mərhələləri mexaniki ölçmə cihazlarından başlayaraq IoT, böyük verilənlər və süni intellekt texnologiyaları ilə inteqrasiya olunmuş ağıllı sistemlərə qədər geniş bir inkişaf trayektoriyasını əhatə edir. Bu proses enerji sektorunun modernləşdirilməsi, enerji səmərəliliyinin artırılması və dayanıqlı enerji sistemlərinin formalaşdırılması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.



Ağıllı sayğacların quruluşu və iş prinsipi

Ağıllı sayğac texnologiyaları müasir elektroenergetika sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasını təmin edən əsas komponentlərdən biri hesab olunur. Bu texnologiyalar yalnız enerji istehlakının ölçülməsi ilə məhdudlaşmır, həm də məlumatların real vaxt rejimində toplanması, emalı və ötürülməsi funksiyalarını yerinə yetirən kompleks texniki sistem kimi fəaliyyət göstərir. Bu baxımdan ağıllı sayğacların quruluşunun və iş prinsipinin öyrənilməsi onların enerji idarəetmə sistemlərində tətbiq imkanlarının qiymətləndirilməsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Ağıllı sayğacların quruluşu əsasən bir neçə funksional modulun inteqrasiyası əsasında formalaşır. Bu modullara ölçmə bloku, emal bloku, kommunikasiya modulu, yaddaş sistemi və istifadəçi interfeysi daxildir. Rənd və həmmüəlliflər ağıllı sayğacları IoT əsaslı qurğu kimi xarakterizə edərək onların sensor, hesablama və kommunikasiya komponentlərinin vahid sistem şəklində fəaliyyət göstərdiyini qeyd etmişdir [4, s.6]. Bu yanaşma ağıllı sayğacların klassik ölçmə cihazlarından fərqli olaraq informasiya sistemlərinin aktiv elementi kimi çıxış etdiyini göstərir.

Ağıllı sayğacın əsas komponentlərindən biri ölçmə blokudur. Bu blok elektrik enerjisinin əsas parametrlərinin – gərginlik, cərəyan, güc və enerji istehlakının ölçülməsini həyata keçirir. Müasir sayğaclarla yüksək dəqiqliyə malik analoq-rəqəm çeviricilərdən istifadə olunur ki, bu da ölçmə nəticələrinin etibarlılığını artırır. Akkaya və Soy tərəfindən aparılan tədqiqatlarda birfazlı ağıllı sayğacın aparat quruluşunun enerji ölçmə mikrosxemləri, sensor elementlər və mikroprosessor əsasında qurulduğu göstərilmişdir [1, s.4]. Bu komponentlər ölçmə prosesinin avtomatlaşdırılmasını və məlumatların rəqəmsal formatda emalını təmin edir.

Emal bloku ağıllı sayğacın funksional imkanlarını müəyyən edən əsas elementlərdən biridir. Bu blok mikroprosessor və ya mikrokontroller əsasında qurularaq ölçmə nəticələrinin emalı, saxlanması və analizini həyata keçirir. Mikroprosessor həmçinin kommunikasiya modulunun idarə olunması və enerji istehlakı məlumatlarının paketlənməsi funksiyalarını yerinə yetirir. Bu proses sayəsində ölçmə məlumatları standart kommunikasiya protokolları vasitəsilə şəbəkə operatoruna ötürülür. Ağıllı sayğacların emal blokunun inkişafı böyük verilənlərin toplanması və analitik emalının mümkünlüyünü təmin edərək enerji sistemlərinin optimallaşdırılmasına şərait yaradır [4, s.7].

Ağıllı sayğacların quruluşunda mühüm yer tutan komponentlərdən biri kommunikasiya moduludur. Bu modul ölçmə məlumatlarının uzaqdan ötürülməsi və idarəetmə siqnallarının qəbulu funksiyasını yerinə yetirir. Müasir sayğaclarla PLC, GSM, Wi-Fi, Bluetooth və NB-IoT kimi müxtəlif kommunikasiya texnologiyalarından istifadə olunur. Akkaya və Soy tərəfindən aparılan araşdırmalar NB-IoT texnologiyasının aşağı enerji sərfi və geniş əhatə dairəsi səbəbindən ağıllı sayğac sistemlərində geniş tətbiq



olunduğunu göstərir [1, s.5]. Bu texnologiyalar sayəsində enerji istehlakı məlumatlarının fasiləsiz və etibarlı ötürülməsi təmin edilir.

Yaddaş sistemi ağıllı sayğacın digər mühüm komponentidir. Bu sistem ölçmə məlumatlarının arxivləşdirilməsi və sonradan analizi üçün istifadə olunur. Müasir sayğaclarla həm daxili yaddaş, həm də bulud əsaslı saxlanma sistemləri tətbiq edilir. Bu yanaşma enerji istehlakı tarixçəsinin saxlanmasına, istehlak dinamikasının təhlilinə və proqnozlaşdırma modellərinin qurulmasına imkan verir. Kadarın tədqiqatında qeyd olunduğu kimi, yaddaş və kommunikasiya modullarının inteqrasiyası enerji idarəetmə sistemlərində real vaxt monitorinqinin həyata keçirilməsini təmin edir [2, s.3].

Ağıllı sayğacların quruluşunda istifadəçi interfeysi də mühüm rol oynayır. Bu interfeys display, mobil tətbiq və ya veb platforma vasitəsilə istehlakçıya enerji istehlakı haqqında məlumat təqdim edir. İstifadəçi interfeysi enerji istehlakının şəffaflığını artıraraq istehlakçı davranışlarının dəyişməsinə və enerji qənaətinin təşviqinə səbəb olur. Zivic və həmmüəlliflər ağıllı sayğac interfeyslərinin istehlakçılara real vaxt məlumat təqdim etməklə enerji səmərəliliyini artırdığını və enerji qənaəti vərdişlərinin formalaşmasına töhfə verdiyini qeyd etmişdir [5, s.5].

Ağıllı sayğacların iş prinsipi ölçmə, emal və kommunikasiya proseslərinin ardıcıl və inteqrasiya olunmuş şəkildə həyata keçirilməsinə əsaslanır. İlk mərhələdə ölçmə bloku elektrik enerjisinin parametrlərini qeydə alır və bu məlumatları rəqəmsal formata çevirir. Növbəti mərhələdə emal bloku əldə edilən məlumatları analiz edir və yaddaş sistemində saxlayır. Daha sonra kommunikasiya modulu vasitəsilə məlumatlar enerji təchizatçısının mərkəzi serverinə ötürülür. Bu proses real vaxt rejimində həyata keçirilərək enerji sistemlərinin operativ idarə olunmasına imkan yaradır.

Ağıllı sayğacların iş prinsipinin mühüm xüsusiyyətlərindən biri iki tərəfli kommunikasiya mexanizmidir. Bu mexanizm sayəsində yalnız ölçmə məlumatlarının ötürülməsi deyil, həm də idarəetmə siqnallarının qəbul edilməsi mümkündür. Bu yanaşma enerji təchizatçılarına tariflərin uzaqdan dəyişdirilməsi, yük idarəetməsi və şəbəkə nasazlıqlarının operativ aradan qaldırılması kimi imkanlar yaradır. JETIR mənbəsində qeyd edildiyi kimi, ağıllı sayğacların bu funksionallığı uzaqdan idarəetmə və nasazlıq diaqnostikası sistemlərinin effektivliyini artırır [8].

Ağıllı sayğacların iş prinsipində mühüm rol oynayan digər aspekt məlumatların analitik emalıdır. Toplanan məlumatlar böyük verilənlər platformalarında emal olunaraq enerji istehlakı modellərinin qurulmasına və proqnozlaşdırma alqoritmlərinin tətbiqinə imkan verir. Meeks və həmmüəlliflərinin tədqiqatı göstərir ki, ağıllı sayğac məlumatlarının analizi enerji itkilərinin azaldılması və şəbəkə etibarlılığının yüksəldilməsi üçün mühüm qərarvermə aləti kimi istifadə oluna bilər [3, s.8].

Smart şəbəkələrdə paylanmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi ağıllı sayğacların iş prinsipini daha da təkmilləşdirir. Bu yanaşma enerji şəbəkələrinin adaptiv idarə olunmasına, məlumat axınının



optimallaşdırılmasına və enerji səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır [9]. Eyni zamanda, milli səviyyədə smart ölçmə sistemlərinin tətbiqi istehlak məlumatlarının avtomatik ötürülməsini təmin etməklə hesablama proseslərini sadələşdirir və insan faktorunu minimuma endirir [8].

Ağıllı sayğacların quruluşu və iş prinsipi ölçmə, emal, yaddaş və kommunikasiya modullarının integrasiyası əsasında formalaşan kompleks texniki sistemə əsaslanır. Bu texnologiyalar enerji sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması, enerji istehlakının optimallaşdırılması və smart şəbəkələrin effektiv idarə olunması baxımından mühüm texnoloji platforma kimi çıxış edir.

Ağıllı sayğac infrastruktur (AMI) və kommunikasiya texnologiyaları

Müasir elektroenergetika sistemlərində ağıllı sayğacların səmərəli fəaliyyətini təmin edən əsas texnoloji platformalardan biri Advanced Metering Infrastructure (AMI) hesab olunur. AMI infrastruktur ağıllı sayğaclar, kommunikasiya şəbəkələri, məlumatların toplanması və emalı sistemləri, həmçinin idarəetmə proqram təminatından ibarət kompleks texniki mühit kimi xarakterizə edilir. Bu infrastruktur enerji istehlakı haqqında məlumatların avtomatik toplanması, ötürülməsi və analizi üçün vahid informasiya platforması yaradaraq smart şəbəkələrin formalaşmasına mühüm töhfə verir.

AMI sisteminin əsas komponentlərindən biri ağıllı sayğac qurğularıdır. Bu qurğular elektrik enerjisinin istehlak parametrlərini ölçməklə yanaşı, məlumatların şəbəkə operatoruna ötürülməsini təmin edir. Rənd və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların IoT əsaslı qurğular kimi AMI infrastrukturunda mərkəzi rol oynadığını və sensor, hesablama və kommunikasiya modullarının integrasiyası sayəsində məlumat mübadiləsinin fasiləsiz həyata keçirildiyini qeyd etmişdir [4, s.8]. Bu yanaşma AMI sisteminin məlumat yönümlü idarəetmə platforması kimi formalaşdığını göstərir.

AMI infrastrukturunun digər mühüm elementi kommunikasiya şəbəkəsidir. Bu şəbəkə ağıllı sayğaclar ilə mərkəzi məlumat bazası arasında məlumat mübadiləsinə təmin edir və müxtəlif kommunikasiya texnologiyalarının integrasiyası əsasında fəaliyyət göstərir. Akkaya və Soy tərəfindən aparılan tədqiqatlarda müasir ağıllı sayğac sistemlərində NB-IoT, Wi-Fi və Bluetooth kimi simsiz kommunikasiya texnologiyalarının geniş tətbiq olunduğu göstərilmişdir [1, s.6]. Bu texnologiyalar məlumatların etibarlı və aşağı gecikmə ilə ötürülməsini təmin etməklə yanaşı, enerji sərfiyyatını da optimallaşdırır.

AMI sistemində məlumatların toplanması və emalı mərkəzi serverlər və bulud platformaları vasitəsilə həyata keçirilir. Bu mərhələdə ağıllı sayğaclardan daxil olan məlumatlar toplanır, arxivləşdirilir və analitik emal üçün hazırlanır. JETIR mənbəsində qeyd edildiyi kimi, AMI texnologiyaları uzaqdan oxuma, nasazlıqların diaqnostikası və enerji istehlakının analizi kimi funksiyaların avtomatlaşdırılmasını təmin edir [8]. Bu yanaşma enerji təchizatçılarına şəbəkənin vəziyyəti haqqında operativ məlumat əldə etməyə və idarəetmə qərarlarını daha dəqiq qəbul etməyə imkan yaradır.



Kommunikasiya texnologiyaları AMI sisteminin funksionallığını müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Bu texnologiyalar simli və simsiz olmaqla iki əsas qrupa bölünür. Simli kommunikasiya texnologiyalarına Power Line Communication (PLC) və optik rabitə kanalları daxildir. PLC texnologiyası elektrik xətləri üzərindən məlumat ötürülməsini təmin edərək əlavə kommunikasiya infrastrukturunu tələb etmir və bu baxımdan iqtisadi cəhətdən səmərəli hesab olunur. Bununla yanaşı, simsiz texnologiyalar – GSM, GPRS, LTE və NB-IoT – geniş əhatə dairəsi və çevikliyi ilə seçilir. Akkaya və Soy NB-IoT texnologiyasının aşağı enerji sərfi və yüksək etibarlılığı səbəbindən ağıllı sayğac şəbəkələrində perspektivli həll kimi qiymətləndirildiyini qeyd etmişdir [1, s.7].

AMI sistemində kommunikasiya texnologiyalarının seçimi şəbəkənin topologiyası, coğrafi əhatə dairəsi və iqtisadi amillərdən asılıdır. Şəhər mühitində simsiz texnologiyalar daha effektiv hesab olunsada, sənaye və kənd təsərrüfatı obyektlərində PLC və hibrid kommunikasiya həlləri geniş tətbiq olunur. Bu yanaşma məlumat ötürülməsinin etibarlılığını artırmaqla yanaşı, şəbəkə yüklənməsinin optimallaşdırılmasına da şərait yaradır. Kadarın tədqiqatında qeyd olunduğu kimi, kommunikasiya texnologiyalarının düzgün seçilməsi enerji idarəetmə sistemlərinin effektivliyinə birbaşa təsir göstərir [2, s.4].

AMI infrastrukturunun mühüm xüsusiyyətlərindən biri iki tərəfli kommunikasiya mexanizmidir. Bu mexanizm yalnız ölçmə məlumatlarının ötürülməsini deyil, həm də idarəetmə siqnallarının sayğaclarla göndərilməsini təmin edir. Bu yanaşma tariflərin uzaqdan dəyişdirilməsi, yük idarəetməsi və istehlakçı cihazlarının idarə olunması kimi funksiyaların həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Zivic və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların AMI sistemi vasitəsilə ağıllı bina idarəetmə platformalarına inteqrasiya olunduğunu və real vaxt monitorinqinin enerji qənaətinə töhfə verdiyini qeyd etmişdir [5, s.6].

AMI infrastrukturunu enerji sistemlərində böyük verilənlərin formalaşmasına səbəb olur və bu məlumatların analizi enerji idarəetmə proseslərinin optimallaşdırılması üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Meeks və həmmüəlliflərin araşdırmaları göstərir ki, ağıllı sayğac məlumatlarının analizi enerji itkilərinin azaldılması, şəbəkə etibarlılığının artırılması və istehlakçı davranışlarının proqnozlaşdırılması baxımından mühüm qərarvermə alətidir [3, s.9]. Bu yanaşma AMI sisteminin analitik platforma kimi rolunu ön plana çıxarır.

Smart şəbəkələrdə paylanmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi AMI infrastrukturunun funksionallığını daha da genişləndirir. Paylanmış idarəetmə yanaşması enerji şəbəkələrinin adaptiv idarə olunmasına və məlumat axınının optimallaşdırılmasına imkan yaradır. ResearchGate mənbəsində qeyd olunduğu kimi, bu yanaşma kommunikasiya infrastrukturunun səmərəliliyini artıraraq enerji sistemlərinin dayanıqlığını təmin edir [9]. Bu xüsusiyyət AMI sisteminin gələcəkdə daha geniş miqyasda tətbiq olunacağını göstərir.



Milli səviyyədə AMI texnologiyalarının tətbiqi enerji sektorunun modernləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Smart Azerbaijan platformasında qeyd olunduğu kimi, smart ölçmə sistemləri istehlak məlumatlarının avtomatik ötürülməsini təmin etməklə hesablaşma proseslərini sadələşdirir və insan faktorunu minimuma endirir [10, s. 158]. Bu yanaşma enerji bazarında şəffaflığın artırılması və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından mühüm nəticələrə gətirib çıxarır.

AMI infrastrukturunu ağıllı sayğacların səmərəli fəaliyyətini təmin edən və enerji sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasını dəstəkləyən kompleks texnoloji platformadır. Bu infrastrukturun əsasını ağıllı saygac qurğuları, kommunikasiya şəbəkələri və məlumatların emalı sistemləri təşkil edir. Müxtəlif kommunikasiya texnologiyalarının integrasiyası sayəsində AMI sistemi enerji istehlakı haqqında məlumatların operativ toplanmasını, analitik emalını və idarəetmə qərarlarının optimallaşdırılmasını təmin edir.

Ağıllı sayğacların üstünlükləri və problemləri

Ağıllı saygac texnologiyalarının tətbiqi müasir elektroenergetika sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması və avtomatlaşdırılması prosesində mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar enerji istehlakının dəqiq ölçülməsi, real vaxt monitorinqi və analitik idarəetmə imkanları yaratmaqla enerji sistemlərinin səmərəliliyinin artırılmasına xidmət edir. Bununla yanaşı, ağıllı sayğacların tətbiqi bir sıra texniki, iqtisadi və təhlükəsizlik problemləri ilə də müşayiət olunur. Bu səbəbdən ağıllı saygac texnologiyalarının üstünlüklərinin və problemlərinin kompleks şəkildə təhlili onların enerji sektorunda tətbiq perspektivlərinin qiymətləndirilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Ağıllı sayğacların əsas üstünlüklərindən biri enerji istehlakının real vaxt rejimində monitorinqinin mümkünlüyüdür. Bu xüsusiyyət enerji təchizatçılarına şəbəkənin vəziyyəti haqqında operativ məlumat əldə etməyə və idarəetmə qərarlarını daha effektiv şəkildə qəbul etməyə imkan yaradır. Rənd və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların IoT əsaslı qurğular kimi fəaliyyət göstərərək məlumatların fasiləsiz toplanmasını və analitik emalını təmin etdiyini qeyd etmişdir [4, s.9]. Bu yanaşma enerji sistemlərində şəffaflığın artırılması və enerji istehlakının optimallaşdırılması baxımından mühüm üstünlük hesab olunur.

Enerji itkilərinin azaldılması ağıllı saygac texnologiyalarının digər mühüm üstünlüklərindən biridir. Ağıllı sayğaclar texniki və qeyri-texniki itkilərin aşkarlanmasına, enerji oğurluğu hallarının müəyyən edilməsinə və şəbəkə nasazlıqlarının operativ aradan qaldırılmasına imkan yaradır. Meeks və həmmüəlliflərin apardığı empirik tədqiqatlar göstərir ki, ağıllı sayğacların tətbiqi enerji itkilərinin azalmasına və elektrik şəbəkələrinin etibarlılığının yüksəldilməsinə müsbət təsir göstərir [3, s.10]. Bu xüsusiyyət enerji sistemlərinin dayanıqlığını artırmaqla yanaşı, enerji təchizatı müəssisələrinin iqtisadi səmərəliliyini də yüksəldir.



Ağıllı sayğacların üstünlükləri arasında enerji idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi də xüsusi yer tutur. Kadarın tədqiqatında qeyd olunduğu kimi, ağıllı sayğacların iki tərəfli kommunikasiya imkanları enerji istehsalı və istehlakı arasında balansın təmin edilməsinə, tələb-cavab idarəetməsinin həyata keçirilməsinə və pik yüklərin azaldılmasına şərait yaradır [2, s.5]. Bu yanaşma enerji sistemlərinin çevikliyini artırmaqla yanaşı, bərpa olunan enerji mənbələrinin integrasiyasını da asanlaşdırır.

İstehlakçı yönümlü üstünlüklər də ağıllı sayğac texnologiyalarının tətbiqinin mühüm aspektlərindən biridir. Ağıllı sayğac interfeysləri vasitəsilə istehlakçılar enerji istehlakı haqqında real vaxt məlumat əldə edir və bu məlumatlar enerji qənaəti davranışlarının formalaşmasına səbəb olur. Zivic və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların tətbiqinin enerji qənaəti və karbon emissiyalarının azaldılması baxımından mühüm nəticələrə gətirib çıxardığını vurğulamışdır [5, s.7]. Bu yanaşma dayanıqlı enerji sistemlərinin formalaşmasına və ekoloji problemlərin azaldılmasına töhfə verir.

Ağıllı sayğacların tətbiqinin digər mühüm üstünlüyü avtomatlaşdırılmış hesablaşma və uzaqdan idarəetmə imkanlarıdır. JETIR mənbəsində qeyd edildiyi kimi, ağıllı sayğaclar uzaqdan oxuma, tariflərin avtomatik tətbiqi və nasazlıqların diaqnostikası kimi funksiyaların reallaşdırılmasına imkan yaradır [8]. Bu xüsusiyyət xidmət keyfiyyətinin artırılması, əməliyyat xərclərinin azaldılması və enerji bazarında şəffaflığın təmin edilməsi baxımından mühüm rol oynayır.

Milli səviyyədə tətbiq edilən smart ölçmə sistemləri də enerji sektorunda idarəetmə proseslərinin təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır. Smart Azerbaijan platformasında qeyd olunduğu kimi, ağıllı sayğaclar istehlak məlumatlarının avtomatik ötürülməsini təmin etməklə insan faktorunu minimuma endirir və operativ idarəetməni mümkün edir [6, s. 18-19]. Bu yanaşma enerji təchizatçıları ilə istehlakçılar arasında qarşılıqlı əlaqənin gücləndirilməsinə və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Bununla yanaşı, ağıllı sayğac texnologiyalarının tətbiqi bir sıra problemlərlə də müşayiət olunur. Bu problemlərin başında kibertəhlükəsizlik və məlumat məxfiliyi məsələləri dayanır. Ağıllı sayğaclar vasitəsilə toplanan böyük həcmli məlumatlar potensial olaraq kiberhücumlara məruz qala bilər və bu da enerji sistemlərinin təhlükəsizliyi üçün risk yaradır. Rind və həmmüəlliflər ağıllı sayğac sistemlərində təhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsinin bu texnologiyaların geniş tətbiqi üçün vacib şərt olduğunu qeyd etmişdir [4, s.10].

Texniki problemlər də ağıllı sayğacların tətbiqində mühüm rol oynayır. Kommunikasiya şəbəkələrinin etibarlılığı, məlumat ötürülməsində gecikmələr və avadanlıq nasazlıqları sistemin effektivliyini məhdudlaşdırır. Akkaya və Soy tərəfindən aparılan araşdırmalar kommunikasiya texnologiyalarının seçiminin sistemin performansına birbaşa təsir göstərdiyini və texniki uyğunluq məsələlərinin nəzərə alınmasının vacibliyini vurğulamışdır [1, s.8].



Ağıllı sayğacların tətbiqində iqtisadi problemlər də mövcuddur. Bu texnologiyaların tətbiqi ilkin investisiya xərclərinin yüksək olması ilə xarakterizə olunur və infrastrukturun qurulması əlavə maliyyə resursları tələb edir. Bununla yanaşı, uzunmüddətli perspektivdə əməliyyat xərclərinin azalması və enerji səmərəliliyinin artması bu investisiyaların iqtisadi cəhətdən əsaslandırılmasını təmin edir. Meeks və həmmüəlliflər ağıllı sayğacların tətbiqinin iqtisadi səmərəliliyinin şəbəkənin xüsusiyyətlərindən və tətbiq strategiyasından asılı olduğunu qeyd etmişdir [3, s.10].

Ağıllı sayğacların tətbiqi ilə bağlı digər problemlərdən biri standartlaşdırma və interoperabellik məsələləridir. Müxtəlif istehsalçıların avadanlıqları arasında uyğunluğun olmaması sistem inteqrasiyasını çətinləşdirə bilər. Paylanmış idarəetmə sistemləri ilə bağlı aparılan tədqiqatlarda qeyd olunduğu kimi, standartlaşdırma problemləri smart şəbəkələrin genişmiqyaslı tətbiqi üçün əsas maneələrdən biri hesab olunur [9]. Bu səbəbdən beynəlxalq standartların tətbiqi və texniki uyğunluğun təmin edilməsi ağıllı sayğac sistemlərinin inkişafında mühüm rol oynayır.

Ağıllı sayğac texnologiyalarının tətbiqi enerji sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması, enerji itkilərinin azaldılması və istehlakçı yönümlü idarəetmə imkanlarının genişləndirilməsi baxımından mühüm üstünlüklər yaradır. Bununla yanaşı, kibertəhlükəsizlik, texniki uyğunluq və iqtisadi investisiya kimi problemlər bu texnologiyaların tətbiqində nəzərə alınmalı əsas amillər kimi çıxış edir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT

1. Akkaya O.S., Soy H. Hardware Design of Single-Phase Smart Electricity Meter. 2021.
2. Kadar P. Smart meter based energy management system. ICREPQ.
3. Meeks R. et al. Smart meters, electricity losses and reliability. 2019.
4. Rind Y.M. et al. Smart Energy Meters for Smart Grids: An Internet of Things Review. Energies, 2023.
5. Zivic N. et al. Smart Metering for Intelligent Buildings. 2016.
6. Kazimov, M. H., & Aliyev, M. E. (2021, October). Snow loads on tall structures and tower constructions in territory of Nakhchivan. In The 17th International Conference on "Technical and Physical Problems of Engineering (pp. 18-19).
7. Kazimov, M., Zeynalov, J., & Aliyev, M. (2023). ENERGY OF THE SOLAR RAYS THROUGH TABLE SALT COLLECTION AND METHODS OF USING THIS ENERGY. Sciences of Europe, (129), 157-161.
8. <https://www.jetir.org/papers/JETIREH06023.pdf>



9. https://www.researchgate.net/publication/359769040_Paylanmis_nzart_sistemlri_vasitsil_Smart_sbklrd_umumi_idaretm_strukturu_v_glckl_bagli_layihlr_Energetika_v_enerji_masinqayir_masi
10. https://www.academia.edu/78051534/Smart_Azerbaijan_Smart_Az%C9%99rbaycan_

Abstract

This article examines the theoretical foundations, structure, operating principles, communication capabilities, and application prospects of smart meter technologies in the context of the digitalization and automation of modern power systems. The primary objective of the study is to systematize the role of smart meters in electricity consumption measurement, monitoring, data processing, and energy management, and to determine their significance in the development of smart grids. The article analyzes the main functional modules of smart meters, including the measurement, processing, memory, communication, and user interface modules, and describes the structure and operation of Advanced Metering Infrastructure (AMI). The characteristics and application potential of communication technologies such as PLC, GSM, Wi-Fi, Bluetooth, and NB-IoT are also considered. The study identifies the principal advantages of smart meters, including real-time monitoring, bidirectional communication, remote meter reading and control, reduction of energy losses, demand-response management, and optimization of consumer behavior. At the same time, key challenges associated with their implementation are examined, including cybersecurity, data privacy, communication reliability, initial investment costs, standardization, and interoperability. The findings indicate that the integration of smart meters with Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence technologies creates significant opportunities for improving energy efficiency, enhancing grid reliability, and developing sustainable digital energy systems.

Keywords: Smart Meters; Smart Grid; Advanced Metering Infrastructure (AMI); Energy Management; Internet of Things (IoT); Energy Efficiency.

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические основы, структура, принципы функционирования, коммуникационные возможности и перспективы применения технологий интеллектуальных счётчиков (Smart Meters) в контексте цифровизации и автоматизации современных электроэнергетических систем. Основной целью исследования является систематизация роли интеллектуальных счётчиков в измерении и мониторинге потребления электроэнергии, обработке данных и управлении энергопотреблением, а также определение их значения в развитии интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid). В статье анализируются основные



функциональные модули интеллектуальных счётчиков, включая измерительный, вычислительный, коммуникационный модули, систему памяти и пользовательский интерфейс, а также рассматриваются структура и принципы функционирования Advanced Metering Infrastructure (AMI). Исследуются характеристики и возможности применения таких коммуникационных технологий, как PLC, GSM, Wi-Fi, Bluetooth и NB-IoT. Определены основные преимущества интеллектуальных счётчиков, включая мониторинг в режиме реального времени, двустороннюю коммуникацию, дистанционное считывание и управление, снижение энергетических потерь, управление спросом и оптимизацию поведения потребителей. Одновременно рассматриваются ключевые проблемы их внедрения, включая кибербезопасность, конфиденциальность данных, надёжность коммуникаций, первоначальные инвестиционные затраты, стандартизацию и интероперабельность. Результаты исследования показывают, что интеграция интеллектуальных счётчиков с технологиями Интернета вещей (IoT), больших данных и искусственного интеллекта создаёт значительные возможности для повышения энергоэффективности, надёжности электрических сетей и формирования устойчивых цифровых энергетических систем.

Ключевые слова: интеллектуальные счётчики; интеллектуальная электрическая сеть; Advanced Metering Infrastructure (AMI); управление энергопотреблением; Интернет вещей (IoT); энергоэффективность.

