

TEXNİKA ELMLƏRİ
TECHNICAL SCIENCES

**ELEKTROENERGETİK SİSTEMLƏRDƏ ELEKTRİK ENERJİSİNİN İTKİLƏRİNİN VƏ
KEYFİYYƏTİNİN TƏDQIQI**

Afaq Səlimova^{1*}

<https://orcid.org/0000-0001-9585-994X>

Elşən Sultanov²

<https://orcid.org/0009-0002-0002-7038>

Kənan Hüseynov³

<https://orcid.org/0009-0002-3544-7390>

Vüqar Əzimov⁴

<https://orcid.org/0009-0000-5493-6267>

***Xülasə.** Məqalədə elektroenergetik sistemlərdə elektrik enerjisi itkilərinin və enerji keyfiyyəti göstəricilərinin əsas aspektləri araşdırılmışdır. Texniki və qeyri-texniki itkilərin yaranma səbəbləri, onların hesablanması və azaldılması üsulları, həmçinin gərginlik və tezlik sapmaları, harmonikalar, fazalararası yük qeyri-bərabərliyi, reaktiv güc və güc əmsali kimi keyfiyyət göstəriciləri təhlil edilmişdir. Bundan əlavə, transformator və elektrik xətlərində itkilər, yük rejimləri, kompensasiya qurğuları və enerji səmərəliliyi məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. SCADA və Smart Grid texnologiyalarının real vaxt monitorinqi vasitəsilə itkilərin aşkarlanması və enerji keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasındakı rolu vurğulanmışdır. Tezis konkret şəbəkədə aparılmış ölçmələrə deyil, elektroenergetik sistemlərdə enerji itkiləri və keyfiyyət problemlərinin nəzəri və praktiki icmalına əsaslanır.*

***Açar sözlər:** elektroenergetik sistem, elektrik enerjisi itkiləri, elektrik enerjisinin keyfiyyəti, enerji səmərəliliyi, gərginlik, harmonikalar*

¹Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent, Bakı, Azərbaycan

²Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent, Bakı, Azərbaycan

³Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, doktorant, Bakı, Azərbaycan

⁴Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, magistrant, Bakı, Azərbaycan

Məsul müəllif. E-poçt: afag_sk@mail.ru

Daxil oldu: 20 aprel 2026; Qəbul edildi: 21 iyul 2026; Onlayn dərc edildi: 30 sentyabr 2026

**INVESTIGATION OF ELECTRICAL ENERGY LOSSES AND QUALITY IN ELECTRIC
POWER SYSTEMS**

Afaq Salimova^{1*}

<https://orcid.org/0000-0001-9585-994X>

Elshan Sultanov^{2*}

<https://orcid.org/0009-0002-0002-7038>

Kanan Huseynov³

<https://orcid.org/0009-0002-3544-7390>

Vugar Azimov⁴

<https://orcid.org/0009-0000-5493-6267>

Abstract. *The article examines key aspects of electrical energy losses and power quality indicators in electric power systems. It analyzes the causes of technical and non-technical losses, methods for their calculation and mitigation, as well as power quality indicators such as voltage and frequency deviations, harmonics, phase load imbalances, reactive power, and power factor. Furthermore, the study addresses issues related to losses in transformers and power lines, load regimes, compensation equipment, and energy efficiency. It highlights the role of SCADA and Smart Grid technologies in detecting losses and improving power quality through real-time monitoring. The paper is based on a theoretical and practical overview of energy losses and power quality issues in electric power systems, rather than on measurements taken from a specific network.*

Keywords: *electric power system, electrical energy losses, power quality, energy efficiency, voltage, harmonics*

¹Azerbaijan State Marine Academy, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Baku, Azerbaijan

²Azerbaijan State Marine Academy, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Baku, Azerbaijan

³Azerbaijan State Marine Academy, PhD student, Baku, Azerbaijan

⁴Azerbaijan State Oil and Industry University, Master's student, Baku, Azerbaijan

Corresponding author. E-mail: afag_sk@mail.ru

Received: 20 April 2026; Accepted: 21 July 2026; Published online: 30 September 2026

Giriş

Elektrik enerjisi müasir iqtisadiyyatın və sosial həyatın fasiləsiz fəaliyyəti üçün əsas resurslardan biridir. İstehsal mərkəzlərindən son istehlakçıya qədər uzanan mürəkkəb ötürücü və paylayıcı infrastruktur vasitəsilə ötürülən elektrik enerjisinin bir hissəsi qaçılmaz olaraq itirilir (Dugan et al., 2012). Bu itkilər həm energetik müəssisələrin iqtisadi göstəricilərinə, həm də ölkənin ümumi enerji balansına mənfi təsir göstərir. Dünya təcrübəsi göstərir ki, ötürücü və paylayıcı şəbəkələrdə baş verən itkilərin səviyyəsi şəbəkənin texniki vəziyyətindən, yükün strukturundan, gərginlik səviyyələrindən və istismar mədəniyyətindən asılı olaraq geniş diapazonda dəyişə bilər (Gönen, 2016).

Elektrik enerjisinin keyfiyyəti məsələsi son onilliklərdə xüsusi aktuallıq kəsb etmişdir. Bunun səbəbi qeyri-xətti yüklərin-tezlik çeviricilərinin, elektron idarəetmə sistemlərinin, LED işıqlandırma qurğularının və digər həssas elektron avadanlıqların-şəbəkəyə geniş miqyaslı inteqrasiyasıdır. Bu cür yüklər şəbəkədə harmonik təhriflərin, gərginlik səpmələrinin və digər keyfiyyət pozuntularının yaranmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində həm əlavə enerji itkilərinə, həm də avadanlıqların normal iş rejiminin pozulmasına gətirib çıxarır (Heydt, 1991).

Məqalədə məqsəd elektroenergetik sistemlərdə baş verən elektrik enerjisi itkilərinin əsas növlərini, onların yaranma mexanizmlərini və hesablanma prinsiplərini sistemli şəkildə təhlil etmək, həmçinin, enerji keyfiyyətinin əsas göstəricilərini və bu göstəricilərin yaxşılaşdırılması yollarını nəzərdən keçirməkdir. Tezisdə, həmçinin, müasir rəqəmsal monitorinq texnologiyalarının (SCADA, Smart Grid) itkilərin idarə olunmasında və enerji keyfiyyətinin təmin edilməsindəki rolu araşdırılır.

Mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, itkilərin azaldılması və enerji keyfiyyətinin yüksəldilməsi təkcə energetika müəssisələrinin maliyyə göstəricilərini yaxşılaşdırmır, eyni zamanda, enerji təhlükəsizliyinin təmin olunmasına, ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılmasına və istehlakçılara

etibarlı enerji təchizatının göstərilməsinə xidmət edir. Bu baxımdan mövzu həm elmi, həm də praktiki əhəmiyyət daşıyır (Bağırov, və b., 2016).

Metodlar

Araşdırma nəzəri-analitik xarakter daşıyır və konkret şəbəkə seqmentində aparılmış eksperimental ölçmələrə deyil, mövzuya dair mövcud elmi ədəbiyyatın, dərs vəsaitlərinin, beynəlxalq standartların və normativ sənədlərin sistemli icmalına əsaslanır.

Araşdırma prosesində aşağıdakı metodlardan istifadə edilmişdir:

Elmi ədəbiyyatın müqayisəli təhlili: elektroenergetik sistemlərdə itkilərin təsnifatına və hesablanma metodlarına dair yerli və xarici mənbələr müqayisəli şəkildə nəzərdən keçirilmişdir;

Sistemli yanaşma: itkilər və enerji keyfiyyəti məsələləri bir-birindən təcrid olunmuş halda deyil, vahid enerji sisteminin qarşılıqlı əlaqəli elementləri kimi araşdırılmışdır;

Təsnifləşdirmə metodu: itkilər texniki və qeyri-texniki, enerji keyfiyyəti göstəriciləri ilə gərginliyə, tezliyə və dalğa formasına aid olan parametrlərə görə qruplaşdırılmışdır;

Ümumiləşdirmə: müxtəlif mənbələrdə təqdim olunan nəticələr əsasında ümumi tendensiyalar və tövsiyələr formalaşdırılmışdır.

Araşdırmanın nəzəri bazasını elektrik şəbəkələri və sistemləri, enerji keyfiyyəti və Smart Grid texnologiyalarına dair fundamental dərs vəsaitləri, monoqrafiyalar və beynəlxalq standartlar (o cümlədən IEEE Std 519-2014) (IEEE Standards Association, 2014) təşkil edir. Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiqat konkret bir enerji sisteminin real ölçmə nəticələrinə əsaslanmadığından, əldə edilən nəticələr ümumiləşdirilmiş xarakter daşıyır və konkret şəbəkə üçün dəqiq ədədi qiymətləndirmə tələb olunduğu halda əlavə sahə tədqiqatlarının aparılması zəruridir (Farhangi, 2010).

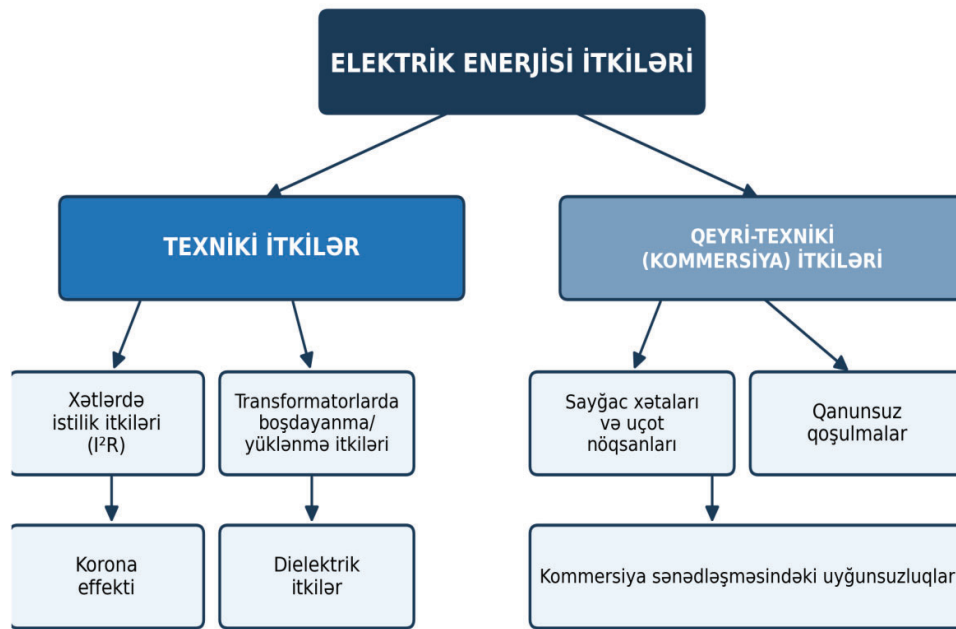
Nəticələr

Elektrik enerjisi itkilərinin təsnifatı. Elektroenergetik sistemlərdə yaranan itkilər ümumi qəbul edilmiş təsnifata görə iki əsas qrupa bölünür: texniki itkilər və qeyri-texniki (kommersiya) itkiləri (Gönen, 2016).

Texniki itkilər elektrik cərəyanının naqillərdən, transformatorlardan və digər şəbəkə elementlərindən keçməsi zamanı fiziki qanunauyğunluqlar əsasında yaranan itkilərdir. Bunlara aiddir: xətlərdə aktiv müqavimətdən yaranan istilik itkiləri; transformatorlarda boşdayanma itkiləri (nüvədə hisrezis və burulğan cərəyanlarından) və yüklənmə itkiləri (sarğılarda müqavimətdən); korona effekti nəticəsində yüksək gərginlikli xətlərdə yaranan itkilər; izolyasiya materiallarında dielektrik itkiləri.

Qeyri-texniki itkilər isə şəbəkənin texniki vəziyyəti ilə deyil, uçot-nəzarət sisteminin natamamlığı ilə bağlıdır. Bunlara saygac dəqiqliyinin aşağı olması və ya saygacların sıradan çıxması, qanunsuz qoşulmalar, abunəçi uçotunun səhv aparılması və kommersiya sənədləşməsindəki uyğunsuzluqlar aiddir. Dünya təcrübəsində qeyri-texniki itkilərin xüsusi çəkisi inkişaf etməkdə olan ölkələrdə daha yüksək olur (Grigsby, 2012).

İtkilərin ümumiləşdirilmiş təsnifatı Şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Elektrik enerjisi itkilərinin təsnifatı

Bu qarşılıqlı asılılıq mövzunun ayrı-ayrı texniki tədbirlərlə deyil, kompleks sistem yanaşması ilə həll edilməsinin zəruriliyini göstərir. Müxtəlif mənbələrdə təqdim olunan yanaşmaların müqayisəsi göstərir ki, ənənəvi kompensasiya üsulları (statik kondensator batareyaları) hələ də geniş tətbiq olunsada, dinamik kompensasiya qurğularının (SVC, STATCOM) tətbiqi daha yüksək effektivlik təmin edir, xüsusilə dəyişkən yük profilinə malik sənaye müəssisələrində (Kundur, 1994). Eyni zamanda, bu qurğuların quraşdırılması əlavə kapital qoyuluşu tələb etdiyindən, onların tətbiqi iqtisadi əsaslandırma ilə müşayiət olunmalıdır.

SCADA və Smart Grid texnologiyalarının tətbiqi baxımından qeyd etmək lazımdır ki, bu sistemlərin səmərəliliyi əsasən məlumatların keyfiyyətindən və toplama tezliyindən asılıdır. Kifayət qədər sıx yerləşdirilmiş ölçü nöqtələri olmadan itkilərin dəqiq lokalizasiyası çətinləşir. Bundan əlavə, bu texnologiyaların tətbiqi kibertəhlükəsizlik məsələlərini də gündəmə gətirir, belə ki, mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sistemlərinə icazəsiz müdaxilə şəbəkənin etibarlılığına ciddi təhlükə yarada bilər (Momoh, 2012).

Müzakirə

Araşdırmanın məhdudiyyəti ondan ibarətdir ki, o konkret bir şəbəkə segmentinə aid real ölçmə məlumatlarına əsaslanmır, buna görə də təqdim olunan nəticələr ümumiləşdirilmiş xarakter daşıyır. Gələcək tədqiqatlar üçün konkret paylayıcı şəbəkə segmentində real vaxt ölçmələri əsasında itki və keyfiyyət göstəricilərinin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi, həmçinin, süni intellekt əsaslı proqnozlaşdırma alqoritmlərinin (məsələn, maşın öyrənməsi metodları ilə itki proqnozlaşdırılması) tətbiqi perspektivli istiqamətlər kimi qeyd edilə bilər (Orucov, 2020a; Orucov, 2020b).

Nəticə

Aparılan təhlilər nəticəsində aşağıdakı əsas nəticələrə gəlinmişdir:

1. Elektroenergetik sistemlərdə yaranan itkilər texniki və qeyri-texniki itkilərə bölünür, onların hər biri fərqli səbəblərdən yaranır və fərqli tədbirlər tələb edir;
2. Xətlərdə və transformatorlarda yaranan texniki itkilərin azaldılması gərginlik səviyyəsinin optimallaşdırılması, yükün fazalar arasında bərabər bölüşdürülməsi və avadanlığın vaxtında modernləşdirilməsi ilə mümkündür;
3. Reaktiv gücün kompensasiyası, xüsusilə dinamik kompensasiya qurğularının tətbiqi, həm itkilərin azaldılmasında, həm də gərginlik sabitliyinin təmin olunmasında mühüm rol oynayır;
4. Enerji keyfiyyəti göstəriciləri (gərginlik və tezlik sapmaları, harmonik təhriflər, gərginlik asimetriyası, flikker effekti) istehlakçı avadanlıqlarının etibarlı işləməsi üçün normativ hədlər daxilində saxlanılmalıdır.

Ümumilikdə, elektroenergetik sistemlərdə itkilərin minimuma endirilməsi və enerji keyfiyyətinin yüksəldilməsi ayrı-ayrı texniki tədbirlərlə deyil, şəbəkə infrastrukturunun modernləşdirilməsini, rəqəmsal monitorinq sistemlərinin tətbiqini və kompensasiya qurğularının integrasiyasını əhatə edən kompleks yanaşma ilə mümkündür. Gələcək araşdırmalar konkret şəbəkə seqmentlərində real ölçmələr əsasında aparılaraq, təqdim olunan nəzəri müddəaların praktiki təsdiqinə xidmət edə bilər (Short, 2004).

Ədəbiyyat

- Bağırov, R.Y., Bağırzadə, M.M., Musayev, T.N., Yusibov, F.M., Atayev, E.H., Sadıqov, B.H. (2016). *Elektroenergetika mühəndisinin stolüstü kitabı*. Gəncə.
- Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W. (2012). *Electrical Power Systems Quality (3rd ed.)*. McGraw-Hill.
- Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(1), 18–28.
- Grigsby, L.L. (ed.). (2012). *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution (3rd ed.)*. CRC Press.
- Gönen, T. (2016). *Electric Power Distribution Engineering (3rd ed.)*. CRC Press.
- Heydt, G.T. (1991). *Electric Power Quality*. Stars in a Circle Publications.
- IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Std 519-2014 – IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill.
- Momoh, J.A. (2012). *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*. Wiley-IEEE Press.
- Orucov, N.İ. (2020a). *Elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması sistemləri*. Dərs vəsaiti. Bakı Mühəndislik Universiteti.
- Orucov, N.İ. (2020b). *Elektroenergetikanın əsasları*. Dərs vəsaiti. Bakı Mühəndislik Universiteti.
- Short, T.A. (2004). *Electric Power Distribution Handbook*. CRC Press.