

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

AZƏRBAYCANDA İSTEHSAL OLUNAN ELEKTRİK ENERJİSİNİN İXRAC QIYMƏTLƏRİNİN ORTA VƏ UZUNMÜDDƏTLİ DÖVR ÜÇÜN PROQNOZLAŞDIRILMASI MODELLƏRİ

İxtisas: 5312.01- Sahə iqtisadiyyatı

Elm sahəsi: İqtisad elmləri

İddiaçı: **Abbasov Əli Yaşar oğlu**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2024

Dissertasiya işi Dissertasiya işi Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış, Energetika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: iqtisad elmləri namizədi, dosent
Nazim Özbəy oğlu Hacıyev

Rəsmi opponetlər: iqtisad elmləri doktoru, dosent
Məhəbbət Aşır oğlu Məmmədov

iqtisad üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Cavid Əliyər oğlu Bədəlov

iqtisad üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Gülnarə Vaqif qızı Məmmədova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi İqtisadiyyat İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.10 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri iqtisad elmləri doktoru, professor
Nazim Müzəffərli (İmanov)

Dissertasiya şurasının elmi katibi: iqtisad üzrə fəlsəfə doktoru
Sevda Məmməd qızı Seyidova

Elmi seminarın sədri: iqtisad elmləri doktoru, professor
Tərbiz Nəsim oğlu Əliyev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Elektrik enerjisi həyatımızın hər bir sahəsini dəyişdirən saysız-hesabsız faydalar təklif etməklə, müasir dünyanın demək olar ki, ən böyük kəşflərindən birinə çevrılmışdir. Sənaye inkişafının əsas can damarı hesab edilən elektrik enerjisi istehsal proseslərini gücləndirməyə, innovasiyaları sürətləndirməyə və proseslərin daha səmərəli həyata keçirilməsini təmin etməyə köməklik göstərir. Elektrik enerjisi infrastrukturunun mövcudluğu və etibarlılığı investisiyaların cəlb edilməsi, iqtisadi artımın stimullaşdırılması və davamlı inkişafın dəstəklənməsi üçün də vacib hesab edilir. Eyni zamanda, elektrik enerjisi ev təsərrüfatlarının, müasir nəqliyyat vasitələrinin enerji tələbatının ödənilməsində də mühüm rol oynayır, etibarlı elektrik xidmətlərinə bu cür çıxış ümumi həyat səviyyəsini yüksəltməyə, təhsil və səhiyyənin nəticələrini yaxşılaşdırmağa və ümumilikdə sosial rifah və tərəqqiyə təkan verir.

Gələcəkdə qlobal elektrik bazarlarında bir sıra yeni tendensiyaların ortaya çıxacağı gözlənilir. Bunlara iqtisadi fəaliyyətin ağır sənayedən xidmət sektoruna keçidi daxildir ki, bu da elektrik enerjisinə tələbatın nisbətən zəifləməsinə səbəb olacaq. Elektrik enerjisi istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin 2050-ci ilə qədər qlobal miqyasda iki dəfə artacağı proqnozlaşdırılır. Bundan əlavə, enerji saxlama texnologiyaları, mikro şəbəkələr, rəqəmsal texnologiyalar və enerji səmərəliliyinə investisiyalar elektrik enerjisi şirkətlərinin diqqət mərkəzində olan sahələr kimi ortaya çıxır.

Son illərdə elektrik enerjisi bazarlarında müşahidə olunan mühüm transformasiyalardan biri də elektrik enerjisinin tənzimlənən qiymətlərindən bazar tərəfindən müəyyən edilən qiymətlərə keçididir. Bu restrukturizasiya prosesi nəzarətin şaquli şəkildə inteqrasiya olunmuş dövlət şirkətlərindən özəl iştirakçılara tədricən ötürülməsini nəzərdə tutur. Beynəlxalq səviyyədə müxtəlif bazar strukturları, o cümlədən dəyər zəncirinə tam dövlət nəzarəti olan modellər, tədricən müstəqil istehsalçıların dövlət enerji şirkətləri ilə əməkdaşlıq etdiyi modellər, müstəqil istehsalçıların və özəl iştirakçıların dövlət şirkətləri ilə yanaşı istehsal və paylamada iştirak etdiyi modellərlə əvəz olunmağa başlamışdır. Beləliklə, elektrik enerjisi bazarlarının

təkamülü; dayanıqlı enerji mənbələrinə artan tələbat, səmərəli bazar fəaliyyətinin təşkilinin əhəmiyyəti və tənzimlənən qiymətlərdən bazar tərəfindən müəyyən edilən qiymətlərə keçidlə səciyyəlidir. Qeyd edilənləri nəzərə alaraq, enerji ixracında regionun aparıcı dövlətlərindən birinə çevrilən Azərbaycanın da enerji siyasətində global enerji bazarlarında ortaya çıxan transformativ dəyişiklikləri nəzərə alması son dərəcə vacibdir.

Təbii ehtiyatlarla zəngin olan Azərbaycanda iqtisadiyyatın şaxələndirilməsinə nail olmaqda və karbohidrogen ixracından asılılığın azaldılmasında elektrik enerjisinin strateji əhəmiyyəti vaxt keçdikcə daha yaxşı başa düşülməyə başlanır. Məhz bu səbəbdəndir ki, son illərdə Azərbaycanda enerji sektorunun inkişafı, xüsusilə elektrik enerjisi istehsalı, ötürülməsi infrastrukturunun inkişafı və ixracın artırılması ölkədə ticarət balansının stimullaşdırılması üçün katalizatora çevrilmişdir. Azərbaycan hidro, istilik və bərpa olunan enerji kimi müxtəlif mənbələrdən elektrik enerjisi istehsalına investisiya qoymaqla qonşu ölkələrə elektrik enerjisi ixrac etmək imkanlarını artırır. Bu genişlənmə ölkənin ticarət balansını gücləndirməklə yanaşı, həm də regional əməkdaşlıq və diplomatik münasibətləri genişləndirmək üçün geniş imkanlar yaratmışdır. Hazırda elektrik enerjisinin ixracı gəlir əldə etmək, ticarət kəsirlərini azaltmaq və global enerji bazarında Azərbaycanın mövqeyini gücləndirmək üçün son dərəcə vacib bir vasitə rolunu oynayır.

Elektrik enerjisi ticarəti, elektrik enerjisinin yenidən satışı üçün müqavilələr, spot bazarlar və törəmə bazarları da özündə ehtiva edən topdan və pərakəndə satışları əhatə edir. Pərakəndə satış dedikdə, pərakəndə satış şirkətləri ilə bağlanmış müqavilələr vasitəsilə son istifadəçilərə elektrik enerjisinin birbaşa satışı nəzərdə tutulur.

Elektrik enerjisinin ticarətində ixrac qiymətlərinin dəqiq müəyyən edilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki o, bazar dinamikasına, rəqabət qabiliyyətinə və gəlir əldə etməyə birbaşa təsir göstərir. O da qeyd edilməlidir ki, elektrik enerjisinin ixracı üçün düzgün qiymətin müəyyən edilməsi istehsal xərcləri, bazar tələbi, ötürmə infrastrukturunu, tənzimləyici çərçivələr və geosiyasi təsirlər kimi müxtəlif amilləri nəzərə alaraq hərtərəfli təhlil tələb edir. Qiymətlərin dəqiq müəyyən edilməsi Azərbaycana ədalətli və dayanıqlı iqtisadi gəlirləri təmin

edərək, elektrik enerjisinin ixrac potensialını optimallaşdırmağa imkan verəcək. Bununla yanaşı, qiymətlərin dəqiq müəyyən edilməsi xarici sərmayələrin ölkəyə cəlb edilməsinə, bazarda sabitliyə və qonşu ölkələrlə uzunmüddətli tərəfdaşlıq əlaqələri yaratmağa da kömək göstərəcək. Beləliklə, o, Azərbaycanın enerji ixracatçısı kimi etibarını və nüfuzunu artırma və beynəlxalq əməkdaşlığı gücləndirmə kimi bir sıra fərsətləri də təqdim edəcək.

Yuxarıda qeyd edilənlərə əsasən qarşıda duran problemin ciddi tədqiqi ölkəmizin iqtisadiyyatında müasir inkişaf reallıqlarının nəzərə alınmasını tələb edir.

Bu məsələlərin aktuallığı dissertasiya tədqiqatının mövzusunun seçilməsini, onun məqsəd və vəzifələrini müəyyən etmişdir.

Problemin elmi işlənmə dərəcəsi. Azərbaycan elektroenergetika sisteminin, o cümlədən, müasir enerji sistemin səmərəli fəaliyyətinə, elektrik enerjisinin tələb və onun qiymətlərinin tədqiqinə dair Həşimov A., Hacıyev N., Həsənlı Y., Yusıfbəyli N., Nəsibov V., Hüseynov A., Məmmədova G., Rəhmanov F., Süleymanov E. və sair kimi alim və mütəxəssislərin elmi əsərləri mövcuddur. Bu alimlərin elmi əsərlərində energetika sektorunun, o cümlədən də elektrik enerjisinin qiymətlərinin tədqiqinə dair bir sıra aktual problemlər işıqlandırılmışdır.

Liberal bazarlarda elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozlaşdırılması probleminin tədqiqinə bir çox alimlərin araşdırmalarında və elmi əsərlərində rast gəlmək mümkündür. Bu baxımdan müvafiq mövzunun müxtəlif aspektlərində tədqiqatlar aparan alimlərdən Taysi Z.C., Özyıldırım C., Beyazit M.F., Ozozen A., Talaslı İ., Hayfavi A., Ziel F., Weron R., Janczura J., Szkuta B.R., Gareta, Catalao J.P, Pao H.T., Zhang J., Amjady N. və Hemmati M., Che J. və Wang J, Anbazhagan S. və Kumarappan N., Mei J., Adalı və Gao G.-ni misal çəkmək olar.

Bununla belə, bu elmi istiqamətlərdə mövcud problemlərlə yanaşı, mürəkkəb beynəlxalq vəziyyətlə, dəyişən iqtisadi konyuktura, regional və qlobal miqyasda artan rəqabətlə şərtləndirilən yeni problemlər yaranır.

Demək olar ki, Azərbaycanda enerji siyasətinin inkişaf istiqamətləri problemləri kifayət qədər araşdırılmamışdır. Bundan

əlavə, elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozlaşdırılması məsələləri kifayət qədər işlənilməmişdir. Azərbaycan iqtisadiyyatının müasir inkişaf istiqamətlərində respublikanın elektrik enerjisi ixracına dair hədəf və strategiyaları məsələləri də öz həllini tapmalıdır.

Dissertasiya işinin məqsədi və vəzifələri. Tədqiqat işinin məqsədi Azərbaycanda istehsal olunan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərinin proqnoz modellərinin işlənilməsi və hazırlanmasıdır. Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qoyulmuş və öz həllini tapmışdır:

- Qlobal elektrik enerjisi bazarlarının cari vəziyyəti və inkişaf istiqamətlərini müəyyənləşdirmək;
- Elektrik enerjisi bazarlarının restrukturizasiyası və liberal bazar modellərinə keçid prosesinin perspektivlərini qiymətləndirmək;
- Elektrik enerjisi bazarlarında qiymət formalaşdırıcı amillərin başlıca prinsiplərini müəyyən etmək və sistemləşdirmək;
- Mövcud enerji bazar formalarının məzmununu və xarakteristikalarını dəqiqləşdirmək;
- Elektrik enerjisinin qiymətinin proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan modelləri tədqiq etmək;
- Azərbaycanda liberal elektrik enerjisi bazarının formalaşması və inkişafı proseslərini tədqiq etmək;
- Azərbaycanın elektrik enerjisi ixrac potensialını qiymətləndirmək və mümkün ixrac strategiyalarını tədqiq etmək;
- ARİMA və LSTM modellərinin Azərbaycan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında istifadə imkanlarını müəyyənləşdirmək;
- Azərbaycanın elektrik enerjisi ixrac potensialını qiymətləndirmək və mümkün ixrac strategiyasını formalaşdırmaq.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqat işinin obyektı Azərbaycanın elektroenergetika sənayesidir. Tədqiqat işinin predmeti Azərbaycanda istehsal olunan elektrik enerjisinin qısa və uzunmüddətli dövrlərdə ixrac qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasının nəzəri, metodiki və praktiki məsələlərinin məcmusudur.

Tədqiqatın metodları. Dissertasiya işində müəyyən edilmiş problemləri həll etmək üçün analiz və sintez, induksiya və deduksiya, statistik və ekspert metodları, elmi abstraksiya metodu, göstəricilərin

qruplaşdırma metodu, dinamik seriyaların və proqnozların təhlili, statistik göstəricilərin cədvəlli və vizual nümayişi, təşkilati modelləşdirmə yanaşmaları və sair daxil olmaqla müxtəlif metodologiyalardan istifadə edilmişdir.

Statistik məlumatların işlənməsi sahəsində ümumiyyətlə “SPSS” və “PHYTHON” kimi analitik proqram paketlərinin istifadəsi müşahidə olunur. Bu proqramlar məlumatların səmərəli işlənməsi və təhlili üçün vasitə kimi xidmət edir.

Tədqiqatın nəzəri və metodoloji əsasını Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İ.Əliyevin enerji sistemin inkişafına dair Sərəncamları, elektrik enerjisinin qiymət proqnozlaşdırılması problemlərinə dair ölkə və xarici alimlərin əsərləri, enerji sistemin fəaliyyətini tənzimləyən qanunverici və digər normativ aktlar, aidiyyəti orqanların sənədləri təşkil edir.

Tədqiqatın informasiya bazası. Dissertasiya işinin informasiya bazasını Azərbaycan Dövlət Statistika Komitəsinin statistik topluları, Beynəlxalq Enerji Xartiyasının materialları, Türkiyə Respublikasının elektrik enerji ötürmə operatoru olan TEİAŞ-ın məlumat bazası, Azərbaycan Energetika Nazirliyinin və Azərenerji ASC-nin məlumatları təşkil edir. Tədqiqat işinin yazılmasında, həmçinin, tədqiqatın problematikasına dair materiallara, monoqrafiyalara və internet informasiya resurslarının məlumatlarına da müraciət olunmuşdur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiyyə təqdim edilən əsas müddəalar aşağıdakılarla xarakterizə edilir:

1. Elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasının elmi-nəzəri əsasları ilə bağlı konsepsiyaların, o cümlədən tarixi məlumatların və bazar tendensiyalarının əsas xarakteristikası və sistemləşdirilməsi zərurəti vacibdir;
2. Müasir liberal elektrik enerjisi bazarlarının inkişaf istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsinə dair metodiki yanaşmaların tədqiqi vacibdir;
3. Azərbaycan Respublikasının energetika sisteminin G.Z.İ.T. təhlili və enerji istehsal növləri, və enerji ötürmə sisteminin inkişaf dinamikasının təhlili və bu sahədə mövcud olan ən vacib amillərin müəyyən edilməsinə ehtiyac duyulur;

4. Proqnozlaşdırmanın enerji istehsalı və paylayıcı şirkətlərin iqtisadi səmərəliliyinə və eləcə də investisiya qərarları və risklərin idarə edilməsi proseslərinin effektivliyinə təsirinin sistemli təhlilinə zərurət yaranmışdır;
5. Statistik metodlarla yanaşı maşın öyrənmə alqoritmlərindən, süni intellektdən istifadə də daxil olmaqla, elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılması mexanizmlərinin perspektiv istiqamətlərinin müəyyən edilməsi vacibdir;
6. ARİMA və LSTM modelləri əsasında Azərbaycan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərinin proqnozlaşdırılması əsasında sahənin davamlı inkişafına imkan yarana bilər;

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Tədqiqat işində ilk dəfə Azərbaycanın elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərinin proqnozlaşdırılması problemləri kompleks şəkildə tədqiq edilmiş və qiymətlərin proqnozlaşdırılmasını həyata keçirmək üçün işlənmiş modellər nəticəsində elmi təsəvvürlər daha da genişləndirilmişdir.

Tədqiqat nəticəsində aşağıdakı elmi yeniliklər əldə olunmuşdur:

1. Tədqiqat zamanı ölkədə ilk dəfə olaraq, elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozlaşdırılması vaxt üfqi, istifadə edilən giriş və çıxış dəyişənləri, nəticələrin təhlili, model arxitekturası parametrlərinə əsasən aparılmışdır. Bu vaxta kimi aparılmış tədqiqatlarda daha çox tələbin proqnozlaşdırılması diqqət mərkəzində idisə, yeni metodların tətbiqi ilə qiymət proqnozlaşdırılması yerinə yetirilmişdir.
2. Dissertasiya işində elektrik enerjisi bazarında tarixi qiymət məlumatlarına əsaslanaraq, elektrik enerjisinin qiymətinin qabaqcadan proqnozlaşdırılması üçün ARİMA və LSTM modelləri təklif edilmişdir ki, bu modellərin ənənəvi reqressiya modellərindən daha dəqiq nəticələr verdiyi aşkar olunmuşdur.
3. Tədqiqat zamanı istifadə edilən empirik yanaşma ilk növbədə Azərbaycanın elektrik enerjisi qiymətlərinin çox perspektivli şəkildə modelləşdirməyin mümkün olduğunu ortaya qoymuşdur.
4. İşdə aparılan tədqiqat nəticələri göstərir ki, təqdim edilən model MAE və RMSE kimi xəta ölçüləri baxımından ədəbiyyatda mövcud olan standart və hətta çox yaxşı işləyən metodları da açıq şəkildə üstələyir.

5. Tədqiqat nəticəsində Azərbaycan elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında qeyri-xətti dəyişiklikləri müəyyənləşdirməyə də imkan verən maşın öyrənməsi alqoritmlərinin ARİMA modellərindən daha effektiv olduğu aşkar edilmişdir ki, bu da müasir maşın öyrənmə modellərinin daha effektiv nəticələr ortaya qoyduğunu göstərmişdir.
6. Elektrik enerjisi bazarlarında Azərbaycanın elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılması üçün müvafiq modellərin təkmilləşdirilməsi və daha dəqiq nəticələr əldə etmək üçün elektrik enerjisi bazarlarında hibrid modellərdən istifadəyə üstünlük verilməsi təklif olunur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işinin nəzəri əhəmiyyəti elektrik qiymətlərinin modelləşdirilməsinin tədqiqatının nəzəri bazasının genişləndirilməsindən və onların proqnozlaşdırılması haqqında biliklərin sistemləşdirilməsi və inkişaf etdirilməsindən ibarətdir.

Tədqiqat işinin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, dissertasiya işində metodoloji yanaşmalar və təklif olunan modellər elektroenergetika sahəsində siyasət hazırlanarkən, ölkənin liberal elektrik enerji bazarına transformasiyası prosesinin müxtəlif mərhələlərində və eləcə də bazarda fəaliyyət göstərən sistem operatoru, istehsal operatoru, ötürmə operatoru, bazar operatoru, müstəqil istehsalçılar və treyderlər tərəfindən fəaliyyətin daha da effektiv həyata keçirilməsi üçün istifadə edilə bilər.

Tədqiqat işinin əsas müddələri və nəticələri Azərenerji ASC-nin tərkibində fəaliyyət göstərən Bazar Operatorunun fəaliyyəti zamanı və eyni zamanda Kanadanın Niaqara Toronto İnstitutunun Törəmə Maliyyə Əlatələri fənninin tədrisi prosesində istifadə edilir.

İşin aprobeşiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddələri Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış, Energetika İnstitutunda, Azərenerji ASC-də və Niaqara Toronto İnstitutunun-nun maliyyə kafedrasının iclaslarında dinlənilib və müsbət qarşılıb.

Dissertasiyanın əsas müddələri və ayrı-ayrı nəticələri yerli və xarici dövrü mətbuatda dərc edilmiş, beynəlxalq, respublika elmi konfranslarında, simpoziumlarda və seminarlarda, o cümlədən, "Sosial-İqtisadi və Tarixi Mədəni Əlaqələrin Strateji Prioritetləri" I

Beynəlxalq Sosial Elmlər Konfransı (Bakı, 2022), International Conference Of Young Social Science Researchers (Bakı 2022), The XXVIII International Scientific Symposium “Karabakh Is My Native Land” (Amsterdam 2022), The XXIX International Scientific Symposium “Turks and The World: Problems of Mutual Relations” (Kars, 2022) məruzə edilmiş, müzakirə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının siyahısına daxil edilmiş elmi jurnallarda, o cümlədən 5-i xaricdə olmaqla 7 məqalədə öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış, Energetika İnstitutunda və Niaqara Toronto İnstitutunun maliyyə kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin struktur və həcmi. Dissertasiya işi girişdən (8 səhifə - 15367 işarə), tədqiqatın əsasını təşkil edən 3 fəsildən (I fəsil (41 səhifə - 73406 işarə), II fəsil (20 səhifə - 31747 işarə), III fəsil (53 səhifə - 74031 işarə)), tədqiqatın əsas müddəalarını özündə əks etdirən nəticə (3 səhifə - 5848 işarə), istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından (12 səhifə) və ixtisarların siyahısından (1 səhifə) ibarət olmaqla 140 səhifə həcmindədir. Dissertasiya işində 10 cədvəl, 14 şəkil və 6 qrafikdən istifadə olunmuşdur. Dissertasiyanın (ədəbiyyat siyahısı, cədvəl, şəkil və qrafiklər istisna olunmaqla) işarə ilə ümumi həcmi 200399 işarədir.

MÜNDƏRİCAT

Giriş

I Fəsil. Qlobal enerji bazarlarında qiymətlərin formalaşmasının nəzəri-metodoloji əsasları

1.1. Enerjiyə ümumi baxış, onun iqtisadi əhəmiyyəti və qlobal elektrik enerjisi bazarlarının xüsusiyyətləri

1.2. Beynəlxalq elektrik enerjisi bazarlarının strukturunda baş verən dəyişikliklər

1.3. Qlobal elektrik enerjisi bazarlarının liberal bazar modelinə keçirilməsi

1.4. Elektrik enerjisi qiymətinin mütərəqqi modellər əsasında müəyyən edilməsi

II Fəsil. Azərbaycanda elektrik enerjisi bazarının formalaşmasının mövcud vəziyyətinin təhlili və qiymətləndirilməsi

2.1. Azərbaycan iqtisadiyyatında enerji sektorunun yeri və rolu

2.2. Ölkənin elektrik enerjisi sisteminin G.Z.İ.T. analizi

2.3. Respublikada elektrik enerjisi bazarının təşkili və enerji qiymətlərində baş verən dəyişikliklərin təhlili

2.4. Azərbaycanın elektrik enerjisi ixracının mövcud vəziyyətinin tədqiqi

III Fəsil. Azərbaycanda elektrik enerjisi qiymətlərinin strateji dövr üçün proqnozlaşdırılması

3.1. Beynəlxalq təcrübədə elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında istifadə edilən modellərin müqayisəli təhlili

3.2. ARİMA metodologiyası ilə elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozu

3.3. LSTM metodologiyası ilə elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozu

Nəticə

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

İxtisarlardan və şərti işarələrdən siyahısı

MÜDAFİYƏ ÇIXARILAN ƏSAS ELMİ MÜDDƏALAR

“Qlobal enerji bazarlarında qiymətlərin formalaşmasının nəzəri-metodoloji əsasları” adlı birinci fəsildə enerjinin mahiyyəti, iqtisadi əhəmiyyəti, qlobal elektrik enerjisi bazarlarının xüsusiyyətləri, beynəlxalq elektrik enerjisi bazarlarının strukturunda baş verən dəyişikliklər, qlobal elektrik enerjisi bazarlarının liberal bazar modelinə keçirilməsi, həmçinin elektrik enerjisi qiymətinin mütərəqqi modellər əsasında müəyyən edilməsi və s. araşdırılmışdır.

Müddəa 1. İlk dəfə olaraq, elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozlaşdırılması vaxt üfqi, istifadə edilən giriş və çıxış dəyişənləri, nəticələrin təhlili, model arxitekturası parametrlərinə əsasən aparılmışdır. Bu vaxta kimi aparılmış tədqiqatlarda daha çox tələbin proqnozlaşdırılması diqqət mərkəzində idisə, yeni metodların tətbiqi ilə qiymət proqnozlaşdırılması yerinə yetirilmişdir.

Azərbaycanın elektrik enerjisinin beynəlxalq bazarlarda satış qiymətlərinin 2012-2022-ci illəri əhatə edən dövrlər üzrə mövcud olan məlumatlar əsasında modelləşdirilmiş və gələcək qiymət proqnozları zamanı statistik metodlardan biri olan ARİMA modeli ilə müasir tədqiqatlarda daha çox tətbiq sahəsinə malik süni neyron şəbəkəsinin müqayisəsinə əsasən proqnoz gücü daha yüksək olan model müəyyənləşdirilmişdir.

Tədqiqat zamanı modelin qurulmasında Azərbaycan elektrik enerjisinin orta gündəlik satış qiymətlərinin 2012-2022-ci illər üzrə məlumatları əsas götürülmüşdür. Enerji qiymətləri barədə məlumatlar TEİAŞ-ın məlumat bazasından əldə edilmişdir. Qeyd edilməlidir ki, qlobal enerji bazarlarında böhran ili hesab edilən 2015-ci il istisna olmaqla 2012-ci ildən 2022-ci ilə qədər Azərbaycanın elektrik enerjisi ixracı həm kəmiyyət, həm də əldə edilən ixrac gəlirlərinə görə mütəmadi artımla müşahidə olunmuş, beləliklə ölkə iqtisadiyyatına təsirləri də əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır¹.

Qlobal bazarlarda elektrik enerjisi qiymətlərinin proqnozlaşdırılması ilə bağlı aparılan tədqiqatlarda bir çox fərqli dəyişən, fərqli dövrlər və məlumatlardan, fərqli proqnozlaşdırma

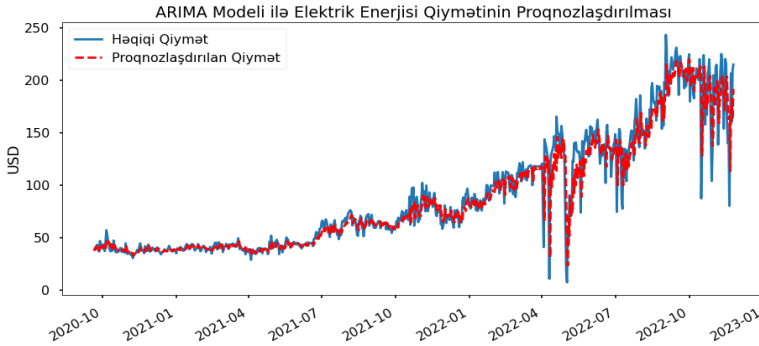
¹ Azərbaycan Energetikası. Dövlət Statistika Komitəsi, Bakı, – 2022.

üsullərindən istifadə edilsə də, tədqiqat nəticələrinə əsasən süni neyron şəbəkələrinin ənənəvi qiymətləndirmə üsullarından daha yaxşı nəticələr verdiyi müşahidə olunmuşdur. Xüsusilə qeyri-xətti zaman sıralarında süni neyron şəbəkələrinin (ANN) daha uğurlu nəticələr verməsi qiymətləndirmə zamanı onu əsas modellərdən birinə çevirmişdir. ANN-in zaman sıraları ilə müqayisədə ənənəvi qiymətləndirmə metodlarından üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o, seriyanın stasionar olub-olmamasından asılı olmayaraq təhlillərin aparılmasına da imkan verir. Bu çərçivədə, ənənəvi üsullarla yanaşı, Azərbaycan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərinin proqnozlaşdırılması zamanı ANN-lərin də istifadəsinin məqsədmüvafiq olacağı qərarlaşdırılmışdır.²

Tədqiqatda ənənəvi qiymətləndirmə metodları kimi isə zaman sıralarının ARİMA modelindən istifadə olunmuşdur. ARİMA (avtoregressiv inteqrasiya olunmuş hərəkətli orta) modeli stasionar zaman sıralarını dəyişənlərin keçmiş dəyərləri və xəta dəyərlərindən istifadə etməklə modelləşdirməyə xidmət edən ümumi üsullarından biri hesab edilir. Araşdırmada ANN analizləri Python proqramlaşdırma dili və Keras kitabxanasından istifadə edilərək, Zaman sırası analizləri isə EViews paket proqramı vasitəsilə aparılmışdır.

Ljung-Box avtokorrelyasiya testinin nəticələrinə 3-cü dərəcəyə görə xəta terimləri arasında avtokorrelyasiya probleminin olmadığı görünür. Bundan əlavə, avtokorrelyasiya və qismən avtokorrelyasiya əmsalları və qrafikləri göstərir ki, 7-ci dövrə qədər xəta baxımından avtokorrelyasiya problemi yoxdur.

² Mustafa S., Mehmet N. Zaman Serileri Analizi / S. Mustafa, N.Mehmet – Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, – 2005, p. 45.



Şəkil 1. Yekun ARİMA modeli ilə elektrik qiymətinin proqnozlaşdırması

Qiymətləndirmədə avtokorrelyasiya və dəyişən variasiya olub-olmadığını yoxladıqdan sonra orijinal seriya sonuncu ayı olan 2020-ci ilin noyabr ayından etibarən Azərbaycan elektrik enerjisi satış qiyməti təxmin edilməyə çalışılmış, təxmin nəticələri həqiqi qiymətlərlə müqayisəli formada Şəkil 1-də təqdim edilmişdir. Təxmin nəticələrindən də görüldüyü kimi, seçilən model elektrik qiymətlərində yaranan kəskin dəyişiklikləri proqnozlaşdırmada elə də yüksək dəqiqliyə malik olmasa da, orta qiymət proqnozunda uğurlu hesab edilə bilər³. Onu da nəzərə almaq lazımdır ki, əvvəlki araşdırmalarda da qeyd edildiyi kimi bu çalışmada da ortaya çıxan nəticələr ARİMA modellərinin qiymətin dəqiqliklə proqnozlaşdırılması üçün deyil, ümumi proqnozların verilməsi məqsədilə istifadə zamanı uyğun nəticələrin əldə olunmasında daha effektiv nəticələr verəbiləcəyini bir daha göstərmişdir.

Müddəa 2. Elektrik enerjisi bazarında tarixi qiymət məlumatlarına əsaslanaraq, elektrik enerjisinin qiymətinin qabaqcadan proqnozlaşdırılması üçün ARİMA və LSTM modelləri təklif edilmişdir ki, bu modellərin ənənəvi reqressiya modellərindən daha dəqiq nəticələr verdiyi aşkar olunmuşdur.

ARİMA modelindən istifadə edərək həyata keçirilən proqnozlaşdırma mərhələləri aşağıda qeyd edilmiş, daha sonra isə hər bir mərhələ ayrılıqda izah edilmişdir.

³ Abbasov, A. Enhanced ARIMA approach of electricity price forecasting // European Chemical Bulletin. №12, – 2023, – p. 3405-3426.

- Məlumat Dəstinin İlkin Təsviri Analizi və Vizuallaşdırılması: Verilənlər dəstini, tendensiyaları və mövsümliliyi əyani şəkildə başa düşmək üçün zaman seriyası məlumatlarının ilkin təsviri analizi aparılmış, ARİMA modelinin uyğun olub olmadığı müəyyənləşdirilməyə çalışılmışdır.

- Məlumat Dəstinin Standartlaşdırılması və Stasionarlığın Yoxlanması: Zaman seriyası məlumatlarında kənarlaşmaları (outlier effect) azaltmaq məqsədi ilə məlumat dəsti 0-1 arasında transformasiya edilir, bundan sonra isə stasionarlıq yoxlanılır.

- Dəyişənin Fərqlərinin Alınması (d dəyəri-AR(İ)MA): Verilənlər stasionar deyilsə, stasionarlığa nail olmaq üçün bir period əvvəlki dəyəri ilə fərqi alınaraq stasionar hala gətirilməyə çalışılmışdır. Hesablama nəticəsində dəyişənin 1-ci fərqi stasionar hala gəldiyi müəyyənləşmişdir⁴

- Avtokorrelyasiya və Qismən Avtokorrelyasiya Təhlili (p və q dəyərlərinin müəyyənləşdirilməsi): ARİMA modeli üçün avtoregressiv (p) və sürüşən orta (q) şərtlərinin müvafiq sırasını müəyyən etmək üçün avtokorrelyasiya və qismən avtokorrelyasiya qrafikləri Eviews proqramı vasitəsi ilə təhlil edilmişdir.

- ARİMA modelinin İdentifikasiyası: Əvvəlki addımların nəticələrinə əsasən, ARİMA modelini təyin etmək üçün p, d və q üçün uyğun dəyərləri müəyyənləşdirilmişdir. Bu baxımdan, Avtokorrelyasiya testinin nəticələrinə əsasən p dəyəri (avtokorrelyasiya dəyəri) 2, d dəyəri (fərq) 1 və q dəyəri (sürüşən orta) isə 2 olaraq müəyyənləşmişdir.

- ARİMA Modelinin Qiymətləndirilməsi: Müvafiq p, q və d dəyərlərindən istifadə etməklə maksimum ehtimalın qiymətləndirilməsi üsulundan istifadə edərək ARİMA modelinin parametrləri təxmin edilmişdir.

- Modelin Dianoqstik Yoxlanması: ARİMA modelinin qalıqlarının sıfır orta və sabit dispersiya ilə normal paylanmasını təmin etmək üçün qiymətləndirilməsi həyata keçirilmişdir. Bu zaman qalıqlarda avtokorrelyasiyanı yoxlamaq üçün Ljung-Box testindən istifadə

⁴ Gao, G., Lo, K., Fan, F. Comparison of ARIMA and ANN models used in electricity price forecasting for power market // Energy and Power Engineering, – 2017, 9(4B), – p. 120-126.

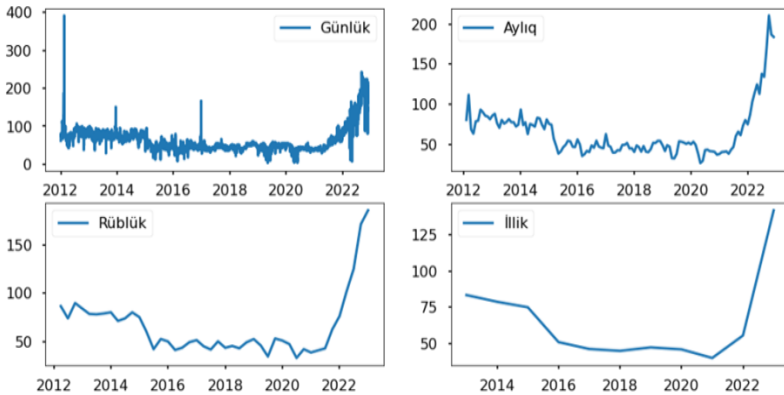
edilmişdir.

- Modelin Proqnozlaşdırılması: Gələcək dövrlər üçün proqnozlar vermək üçün təxmin edilən ARİMA modelindən istifadə edilərək 2020-2022-ci illərin nəticələri proqnozlaşdırılmışdır.

- Modelin Qiymətləndirilməsi: ARİMA modelinin düzgün qiymətləndirilmək üçün proqnozlaşdırılan dəyəri faktiki dəyərlərlə müqayisə edilmiş, orta kvadrat xəta (MSE) və ya orta mütləq xəta (MAE) kimi müvafiq qiymətləndirmə ölçülərindən istifadə edilmişdir.

ARİMA metodologiyasının tətbiqinə başlamazdan öncə ilk olaraq elektrik enerjisinin satış qiymətlərinin period ərzində dəyişikliyi müşahidə etmək, beləliklə zaman sırasının stasionarlığı barədə ilkin fikir formalaşdırmaq məqsədilə qrafiki analiz edilmişdir⁵. Bu məqsədlə, Azərbaycan elektrik enerjisinin orta satış qiymətlərinin günlük, aylıq, rüblük və illik əsaslarda qrafikləri hazırlanaraq Şəkil 2-də təqdim edilmiş və beləliklə stasionarlığa dair ilkin təsəvvür formalaşdırılmışdır.

Azərbaycan Elektrik Enerjisi Orta Satış Qiymətləri, USD

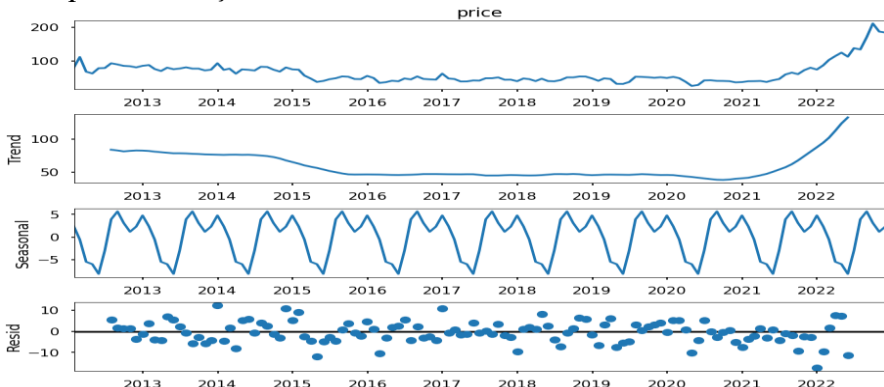


Şəkil 2. Azərbaycan elektrik enerjisi satış qiymətlərinin fərqli zaman aralıqları üzrə təqdimatı

Şəkildən də aydın olduğu kimi qiymət dəyişəninin zaman aralığında dəyişiklik göstərdiyini nəzərə alaraq, onun stoxastik və trend və mövsümliliyi özündə əks etdirən deterministik tərkibi Şəkil 3-

⁵ Gao, G., Lo, K., Fan, F. Comparison of ARIMA and ANN models used in electricity price forecasting for power market // Energy and Power Engineering, – 2017, 9(4B), – p. 120-126.

də təqdim edilmişdir.



Şəkil 3. 2012-2022-ci illər üzrə Azərbaycan elektrik enerjisi qiymətlərinin deterministik (trend və mövsümlilik) və stoxastik tərkibi

Cədvəl 1. Məlumat dəstinin ilkin təsviri statistik təhlili

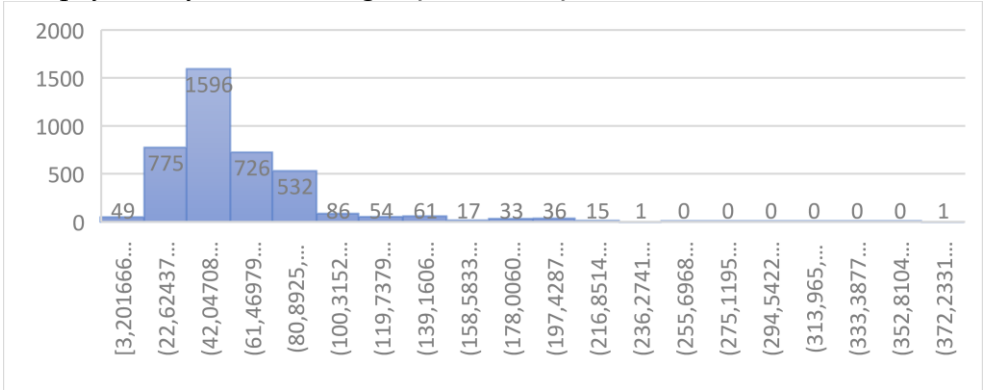
| | |
|----------------------|----------|
| Ədədi orta | \$ 63.92 |
| Median | \$ 55.56 |
| Standard Kənarlaşma: | \$ 32.67 |
| Kurtozis | \$ 8.86 |
| Çarpıqlıq | \$ 2.43 |

Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanıb.

Cədvəl 1 göstərir ki, Azərbaycanın elektrik enerjisinin 2012-2022-ci illər ərzində qiymətinin ədədi orta göstəricisi 63.92 ABŞ Dolları, median göstəricisi isə 55 ABŞ Dolları səviyyəsində olmuşdur. Eyni zamanda, müvafiq dövr ərzində standart kənarlaşma dəyəri 32.67 ABŞ Dolları səviyyəsində olmuşdur ki, bu da qiymətlərdə müəyyən vaxtlarda müşahidə olunan kəskin volatilliyi göstərir və risk göstəricisinin yüksək olduğuna işarə edir⁶. Məlumatların normal paylanması göstərən çarpıqlıq və kurtozis göstəriciləri müvafiq olaraq 2.43 və 8.86 olaraq qeyd alınmışdır ki, bu da Hari və digərlərinin (2010) qeyd etdiyi standart dəyərlərə yaxın hesab edilə

⁶ International Energy Agency. Key World Energy Statistics. Washington, DC: IEA, – 2020.

bilər. Qrafik 1-də əks edilən histqram qrafikinə əsasən müvafiq dövr ərzində qiymətlər əsasən 42 ilə 61 ABŞ Dolları səviyyəsində, ümumən isə 22 Dollar ilə 81 Dollar arasında qeydə alınsa da, kəskin qiymət yüksəlişlərinin nəticəsi olaraq digər qruplar üzrə də kifayət qədər paylanmaya malik olduğu aşkar edilmişdir.



Qrafik 1. 2012-2022-ci illərdə Azərbaycan elektrik enerjisi satış qiymətlərinin paylanma histqramı

Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanıb.

LSTM modelinin qurulması zamanı birinci təbəqə 128 neyron dan formaləşdirilmiş və çıxış təbəqəsində yalnız son təbəqənin yox, bütün giriş parametrlərinin istifadəsi üçün parametrlər tənzimlənmişdir (return_sequnce= True). İkinci təbəqə 64 neyron dan ibarətdir və ardıcılığın yalnız son təbəqəsinin çıxış məlumatları istifadə edilmişdir. Üçüncü təbəqə 25 neyron dan ibarət Dense təbəqəsidir və neyron dan gələn çıxış məlumatlarının işlənməsi bu təbəqədə həyata keçirilir. Dördüncü və son təbəqə isə aktivləşdirmə funksiyasının istifadə edilmədiyi, tək bir çıxış təqdim edən təbəqədir.

Müddəa 3. İstifadə edilən empirik yanaşma ilk növbədə Azərbaycanın elektrik enerjisi qiymətlərinin çox perspektivli şəkildə modelləşdirməyin mümkün olduğunu ortaya qoymuşdur.

2015-ci ilə qədər ötürmə və paylama itkilərinin çox yüksək olması yekun tələbin ödənilməsi üçün stansiyaların yüklənməsi ilə nəticələnirdi. Bu ildən etibarən ölkə üzrə paylayıcı sistem şəbəkələrində həyata keçirilən islahat və yenidənqurma işlərinin tərkib hissəsi kimi ötürmə sistemlərinin yenilənməsi ilə texniki itkilərin əhəmiyyətli dərəcədə azaldıldığı və faktiki güc artımına nail olduğu

müşahidə olunur. Bununla yanaşı, müvafiq dövr ərzində 2975 MVt həcmində gücün sistemə daxil edilməsi və səmərəlilik üzrə aparılan fəaliyyətlərlə abonent sayında artıma baxmayaraq tələbi qarşılamaq mümkün olmuşdur. 2016-cı ildə sayğacların quraşdırılması və tariflərin yüksəldilməsi ən çox ev təsərrüfatına təsir göstərmiş, beləliklə elektrik enerjisinin daxili istehlakını azaltmağa xidmət etmişdir. Bununla da, əsasən daxili istehlak üçün istifadə olunan elektrik enerjisi ixraca yönləndirilməyə başlanmış, 2006-cı ildə idxalçı ölkələr siyahısında qərarlaşan Azərbaycan, 2019-cu ildə 1353 MVts xalis ixrac ilə ixracatçı ölkəyə çevrilmişdir⁷

Azərbaycanın əsas ixrac bazarları hesab edilən Türkiyə və Avropa ölkələrində tammiqyaslı, Gürcüstanda isə müvəqqəti keçid bazarları fəaliyyət göstərir və enerji alqı-satqısı bu bazarlarda həyata keçirilir ki, bu da tələb və təklif əsasında elektrik satışı zamanı aylıq və saatlıq qiymətlərdə böyük fərqlərin ortaya çıxması ilə nəticələnir.

Bunlara əsasən aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir:

1. Azərbaycan ilə qonşu ölkələr arasında elektrik enerjisi ötürülməsinin üç əsas dəhliz vasitəsilə həyata keçirilməsi nəzərdə tutulur ki, bunlar; Rusiya-Azərbaycan-İran arasında Şimal-Cənub dəhlizi, Rusiya-Azərbaycan-Gürcüstan dəhlizi və Azərbaycan-Gürcüstan-Türkiyəni birləşdirən dəhlizlərdir.

2. Hal-hazırda bu dəhlizlərdən effektiv istifadə ilə bağlı imkanlar tədqiq edilməklə yanaşı, bu sahədə işlər həyata keçirilməyə də davam etdirilir. Məsələn, İranla 230 kV-luq Masallı-Astara enerji veriliş xətti tikinti mərhələsindədir və onun işə qoşulmasından sonra yük götürmə qabiliyyətinin mövcud 550 MVt-dan 700 MVt-a qədər artırılı biləcəyi düşünülür ki, bu da Rusiya-Azərbaycan-İran enerji sistemlərinin əlaqələndirilməsinə və tranzit yük ötürülmələrinin həyata keçirilməsinə yüksək tövhə verəcəkdir.

3. Bununla yanaşı, Gürcüstanın enerji sistemlərinin tezlik tənzimlənməsi Azərbaycan enerji sistemi vasitəsi ilə həyata keçirildiyini və Gürcüstan ilə Rusiyanın fərqli enerji tezlik rejimlərinə malik olduğunu nəzərə alaraq, Rusiyanın elektrik enerjisinin Gürcüstana təkrar satışının həyata keçirilməsi üçün ikitərəfli sazişlərin

⁷ Abbasov, Ə. Qiymət ayrısı üzrə elektrik qiymətinin proqnoz modeli // I Beynəlxalq Sosial Elmlər Konfransı, Bakı, – 2022, – s. 424-427.

bağlanmasının da nəzərdən keçirilməsi qoyulan ixrac hədəflərinə çatmağa köməklik göstərə bilər. Onu da nəzərə almaq lazımdır ki, regional inteqrasiyanın uğurla həyata keçirilməsi üçün ölkələrarası xətlərin və ötürmə sistemlərinin inteqrasiya tələblərinə cavab verməsi imkanlarının qiymətləndirilməsi də vacibdir.

Müddəa 4. İşdə aparılan tədqiqat nəticələri göstərir ki, təqdim edilən model MAE və RMSE kimi xəta ölçüləri baxımından ədəbiyyatda mövcud olan standart və hətta çox yaxşı işləyən metodları da açıq şəkildə üstələyir.

Dünyanın qabaqcıl elektrik birjalarından biri hesab edilən Nord Pool Birjasında gün öncəsi bazarlar üçün qiymətlər proqnozlaşdırılmağa çalışılmışdır. Çoxlaylı Süni Neyron Şəbəkələr MAPE, MSRE, RMSE meyarlarına görə ARİMA modellərindən daha yaxşı təxmin gücünə malikdir⁸.

Zaman silsiləsi məlumatlarına onların müşahidə olunduğu intervallara, başqa sözlə, müşahidənin tezliyinə görə xüsusi adlar verilir. Zaman sıraları ildə bir dəfə müşahidə edildikdə illik, iki dəfə müşahidə edildikdə yarım illik, ildə dörd dəfə müşahidə edildikdə mövsümi (rüblük), ilin hər ayında müşahidə edildikdə aylıq, və ilin hər günü müşahidə edildikdə gündəlik zaman sıraları olaraq adlandırılır.

Avtoreqressiv modellər ilk dəfə 1926-cı ildə Yule tərəfindən, sürüşkən orta modelləri isə 1937-ci ildə Slutski tərəfindən istifadə edilmişdir. 1938-ci ildə Wold avtoreqressiv modelləri sürüşkən orta modellərlə birləşdirərək avtoreqressiv sürüşkən orta metodunu təklif etmişdir. Lakin modellərin istifadəsi yalnız 1960-cı illərdən etibarən, daha dəqiq desək, kompüter texnologiyasının inkişafı ilə paralel həyata keçmişdir.

Zaman sıralarında dəyişənin indiki dəyərinin özünün keçmiş dəyərlərinin funksiyası kimi ifadə edildiyi stoxastik prosesə avtoreqressiv proses deyilir. Başqa sözlə desək, AR(p) modeli Y_t -nin asılı dəyişən, $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-p}$ – nin isə müstəqil dəyişənlər olduğu, p-nin gecikməni yəni keçmiş dəyərlərin sayını göstərdiyi çoxxətli reqressiya modelidir.

⁸ Devir, K. Türk Elektrik Piyasasının İşleyişi / K. Devir. – Bursa: Dora Yayıncılık, – 2017.

$$AR(p) Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \delta + a_t \quad (1)$$

Burada, $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-p}$ asılı dəyişənin keçmiş müşahidə dəyərlərini, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_p$ keçmiş dəyərlərin əmsallarını göstərir.

ARMA modelləri zaman seriyasının istənilən dövrünün dəyərini müəyyən sayda keçmiş dəyərlərin və xəta terminlərinin xətti kombinasiyası kimi ifadə edilə bilər. Bu baxımdan ARMA modelləri avtoregressiv AR(p) və sürüşkən orta MA(q) proseslərini birlikdə ehtiva edir və optimal p və q gecikmə dəyərlərinin tapılması son dərəcə vacibdir.

Yuxarıda adıçəkilən meyarlara görə, birdən çox uyğun model uyğun ola bilər ki, belə vəziyyətdə ən yaxşı modelin seçimi tələb olunacaq. Ən yaxşı model verilənlərə uyğun olmalı, həmçinin yüksək proqnozlaşdırma gücünə malik olmalıdır. Bu məqsədlə modellərin proqnoz gücünü müqayisə etmək üçün müxtəlif meyarlardan istifadə oluna bilər. Bu meyarlar; Xəta Kvadratlarının Cəmi (RSS), Xəta Kvadratlarının Ortası (MSE), Xəta Kvadratlarının Ortasının Kvadrat Kökü (RMSE), Orta Mütləq Xəta (MAE), Orta Mütləq Faiz Xətası (MAPE), Orta Faiz Xətası (MPE), Orta Faiz Xətasının Kvadratı (MSPE) və Theilin U-Bərabərsizliyi əmsalıdır. Modelin qurulması və uyğunluq testlərindən sonra artıq model gələcəyin proqnozlaşdırılması üçün istifadə oluna bilər.

Müddəa 5. Tədqiqat nəticəsində Azərbaycan elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında qeyri-xətti dəyişiklikləri müəyyənləşdirməyə də imkan verən maşın öyrənməsi alqoritmlərinin ARİMA modellərindən daha effektiv olduğu aşkar edilmişdir ki, bu da müasir maşın öyrənmə modellərinin daha effektiv nəticələr ortaya qoyduğunu göstərmişdir.

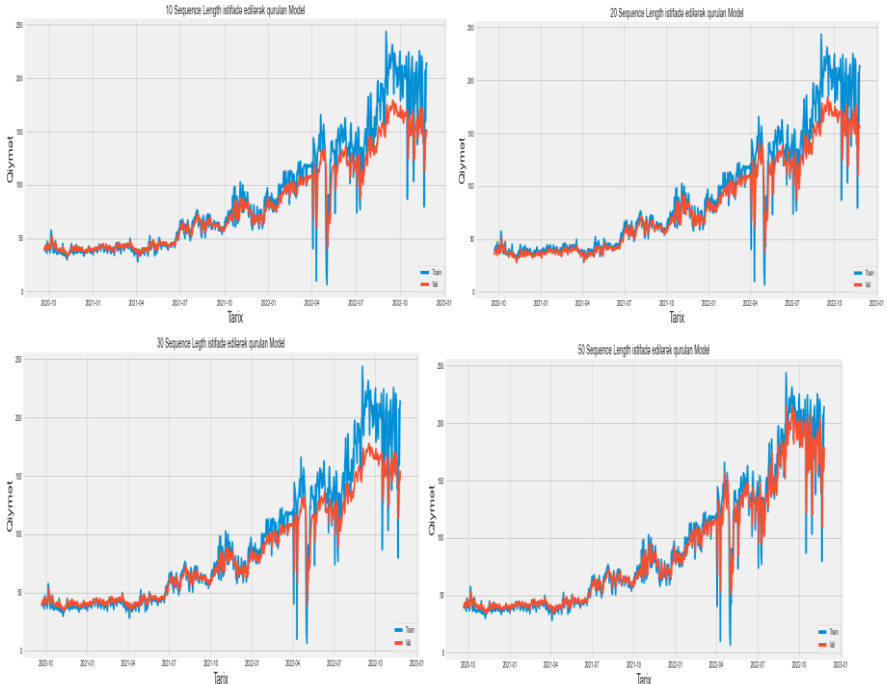
Model nəticələrinin təhlili zamanı ən yaxşı nəticələr 100 epoch və Erkən Dayanma metodunun tətbiqi zamanı ortaya çıxdığını nəzərə alaraq modellərin müqayisəsi bu parametrlər üzrə həyata keçirilməyə çalışılmışdır. Bu zaman epoch dəyərinin yüksək olduğunu nəzərə alaraq, təlimin sürətli həyata keçirilməsi məqsədilə batch size dəyəri 20 olaraq müəyyənləşdirilmişdir. Təlim prosesi sonunda ən uyğun model seçilərək test məqsədilə ayrılan məlumat dəsti üzərində model tətbiq olunmuş və 20 Sentyabr 2020-ci ildən – 25 Noyabr 2022-ci

ilədik məlumatların faktiki və proqnoz dəyərləri çoxsaylı parametrlər üzrə müqayisə edilmişdir.

Cədvəl 2. Epoch və xəta dəyərlərinə görə LSTM analizi nəticələri

| Sequence Length | MAE $\sum_{t=1}^n \left \frac{y_t - \hat{y}_t}{n} \right $ | RMSE $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$ | MAPE $\sum_{t=1}^n \left \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right \frac{100}{n}$ |
|-----------------|--|---|---|
| 30 | 12.171 | 20.026 | 0.120 |
| 20 | 11.682 | 19.157 | 0.121 |
| 10 | 12.116 | 20.031 | 0.119 |
| 50 | 8.418 | 14.484 | 0.088 |

Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanıb.



Şəkil 4. 100 epoch və Erkən Dayanma (Early Stopping) metodundan istifadə etməklə LSTM modelinin pronoz gücünün müəyyənləşdirilməsi

Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanıb.

Cədvəl 2 və Şəkil 4- də əks olunan nəticələrdən də göründüyü kimi, 20 faiz test məlumat dəsti əsasında Azərbaycan elektrik enerjisi satış qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında 0,08 MAPE, 14.48 RMSE və 8.48 MAE göstəriciləri ilə qurulan 50 gecikmə dəyərli LSTM modelinin digər LSTM modellərinə görə daha uğurlu nəticələr verdiyi müşahidə olunmuşdur. Nəticələr həmçinin maşın öyrənməsi modellərindən biri hesab edilən LSTM modelinin statistik metodlardan biri olan ARİMA modeli ilə müqayisədə kifayət qədər daha yüksək dəqiqliyə malik olduğunu da ortaya qoymuşdur.

Cədvəl 3. Epoch və xəta dəyərlərinə görə LSTM analizi nəticələri

| İl | Orta Qiymət (\$/mVt) |
|------|----------------------|
| 2023 | 73.02 |
| 2024 | 75.21 |
| 2025 | 77.40 |
| 2026 | 79.80 |
| 2027 | 82.18 |
| 2028 | 84.60 |
| 2029 | 87.19 |
| 2030 | 89.90 |

Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanıb.

Son olaraq, qurulan LSTM modelindən istifadə etməklə 2023-2030-cu illər üzrə Azərbaycan elektrik enerjisinin ixrac qiymətləri hesablanmış və nəticələr Cədvəl 3-də təqdim edilmişdir. Proqnoza əsasən növbəti 7 il ərzində Azərbaycanın elektrik enerjisinin qiymətinin orta illik artım tempi 3 faiz olmaqla, 2030-cu ildə 90 ABŞ dolları təşkil edəcəkdir.

Həm ARİMA modelinin, həm də LSTM modelinin Azərbaycanda istehsal olunan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərini yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırılması hər iki modelin istifadəsinin məqsəduyğun olduğunu göstərsə də, maşın öyrənmə modeli olan LSTM-in ARİMA-ya nəzərən daha effektiv olduğu nəzərə çarpır.

Müddəa 6. Elektrik enerjisi bazarlarında Azərbaycanın elektrik qiymətlərinin proqnozlaşdırılması üçün müvafiq modellərin təkmilləşdirilməsi və daha dəqiq nəticələr əldə etmək üçün elektrik enerjisi bazarlarında hibrid modellərdən istifadəyə

üstünlük verilməsi təklif olunmuşdur.

Tədqiqat işinin sonuncu fəslində elektrik enerjisinin qiymətlərini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunan modelərin müqayisəsi aparılmış, Azərbaycan enerjisi sistemi üçün orta və uzunmüddətli dövrlərdə hansı modelin daha effektiv olması haqqında tədqiqat aparılmışdır.

Elektrik enerjisi sənayesinin özünəməxsus xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, milli şəbəkənin səmərəli işləməsi üçün mütəşəkkil sistemlərin işləməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Elektrik enerjisinin topdan satışı müxtəlif mexanizmlər, o cümlədən qısamüddətli mütəşəkkil bazarlar (gün öncəsi, gün-içi və balans bazarları) və uzunmüddətli ikitərəfli müqavilələr vasitəsilə həyata keçirilir. Gündəlik birjalar, elektrik enerjisi istehsalı və istehlakının real vaxt balansını asanlaşdıraraq, gün öncəsi bazar bağlandıqdan sonra fəaliyyət göstərir. Digər tərəfən ikitərəfli müqavilələr enerji qiymətlərinin dəyişməsi ilə bağlı risklərin azaldılmasında mühüm rol oynayır.⁹

Fyuçers müqavilələri, forvard müqavilələri, enerji opsiyon müqavilələri və enerji mübadiləsi müqavilələri daxil olmaqla törəmə maliyyə məhsulları, hedcinq strategiyaları vasitəsilə enerji bazarlarında risklərin azaldılmasında əhəmiyyətli rol oynayır. Bu bazar mexanizmləri bazar iştirakçılarında enerji ticarəti bazarlarında sabitliyin və maliyyə təhlükəsizliyinin təmin edilməsi, enerji qiymətlərinin dəyişməsi ilə bağlı riskləri effektiv idarə etməyə imkan verir.

Digər zaman sırası modellərində olduğu kimi qiymət modelləşdirmə yanaşmalarında da elektrik enerjisinin qiymətlərinə gündəlik, həftəlik və ya illik təsir edən faktorlar, bir sözlə mövsümlilik əsas xarakter daşıyır. Elektrik enerjisinin qiymətinin proqnozlaşdırılması üçün dəyişənlərin seçilməsinə gəldikdə, əvvəlki elektrik qiymətlərinə əlavə olaraq sistem yükləri, temperatur göstəriciləri, yanacaq xərcləri və ehtiyat limitləri kimi fundamental amillər vacibdir. Qiymətlərin proqnozlaşdırılmasında müxtəlif modelləşdirmə yanaşmalarından istifadə olunur. Çox agentli modellər

⁹ Güler, D., Saner, G., Naseri, Z. Yağlı tohumlu bitkilər ithalat miqdarlarının arıma və yapay sinir ağırları yontemleriyle tahmini // – İstanbul: Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, – 2017. №3, – p. 60-70

qiymət prosesini qurmaq üçün şirkətlər kimi müxtəlif agentlər arasında qarşılıqlı əlaqəni simulyasiya edir. Bu modellər daha çox keyfiyyət göstəricilərinə diqqət yetirir və elektrik enerjisi qiymətlərinin dəqiq proqnozlaşdırılmasında məhdudiyyətlərə malikdir¹⁰. Fundamental modellər elektrik enerjisi istehsalı və ticarətində fiziki və iqtisadi əlaqələri müəyyən etmək məqsədi daşıyır. Azaldılmış forma modelləri elektrik enerjisi qiymətlərinin statistik xüsusiyyətlərini xarakterizə etməyə diqqət yetirir, zaman seriyası modelləri isə gecikmiş dəyişənlər, xətlər və hər ikisinin birləşmələri əsasında gələcək dəyərləri proqnozlaşdırmaq üçün xronoloji məlumatları təhlil edir.

Bununla yanaşı, son illərdə ənənəvi statistik modellərə əlavə olaraq, maşın öyrənmə üsulları, xüsusən də süni neyron şəbəkələri (ANN) zaman sıralarının təhlilində geniş istifadə olunur. Süni neyron şəbəkələrinin (ANN) üstünlüklərinə gəldikdə, onlar bir çox proqnozlaşdırma tapşırıqlarında, o cümlədən, mürəkkəb problemlərin həllində, natamam məlumatlarda və paralel emalda ənənəvi üsullarla müqayisədə üstün performans göstərilir. Bununla yanaşı, məlumatların emalı zamanı bəzi neyronlar sıradan çıxsa belə, ANN-lərin işləmə qabiliyyəti, qeyri-xətti problemlərin həlli üçün uyğunluğu və öyrənilmiş hadisələr əsasında məntiqi və real qərarlar qəbul etmək qabiliyyəti daha yüksək nəticələrə malikdir.

Bütövlükdə, ədəbiyyat elektrik enerjisinin qiymətinin proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan bir sıra modelləri təqdim edərək, onların hər birinin güclü tərəflərini və konkret bazar şərtlərinə uyğunluğunu ortaya qoyur. Bu modellərin müqayisəli təhlili elektrik enerjisinin qiymətinin dəqiq və etibarlı proqnozlaşdırılması üçün ən effektiv yanaşmaları müəyyən etməyə kömək edir.

Həm ARİMA modelinin, həm də LSTM modelinin Azərbaycanda istehsal olunan elektrik enerjisinin ixrac qiymətlərini yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırılması hər iki modelin istifadəsinin məqsədəuyğun olduğunu göstərsə də, maşın öyrənmə modeli olan LSTM-in ARİMA-yə nəsərən daha effektiv olduğu nəzərə çarpır.

¹⁰ Yücel, C. Ö. Elektrik üretiminde hakim durumun tespiti: / Uzmanlık Tezi./, – Ankara, – 2012.

Nəticə:

Tədqiqat nəticəsində aşağıdakı nəticələr əldə olunmuşdur:

1. Elektrik enerjisi ixracının Azərbaycanın uzunmüddətli strateji hədəflərinə nail olmaqda vacib rolunu nəzərə alaraq, ixrac üçün beynəlxalq strategiyalar nəzərdən keçirilmişdir.

2. Tədqiqat zamanı statistik model olan ARİMA və süni neyron şəbəkə modeli olan LSTM-dən istifadə etməklə əvvəlki dövrlərdə aparılmış qiymət təxmini modellərindən daha dəqiqliklə nəticə göstərən hibrid modelin tətbiqinə nail olunmuşdur.

3. Tədqiqat məlum olmuşdur ki, son illərdə elektrik enerjisi bazarlarını xarakterizə edən ən vacib dəyişikliklərdən biri tənzimlənən elektrik enerjisinin qiymətlərinin bazar tərəfindən müəyyən edilən qiymətlərlə əvəz edilməsi və şaquli inteqrasiya olunmuş dövlət şirkətləri tərəfindən idarə olunan sahənin tədricən müstəqil bazar iştirakçılarının aktiv fəaliyyət göstərdiyi liberal bazar modellərinə keçid etməsidir.

4. Dissertasiya işində respublikanın elektroenergetika sənayesinin G.Z.İ.T. təhlili işlənib hazırlanmışdır.

5. Araşdırma zamanı aparılan təhlillər üzrə bütün modellər müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmiş və cədvəllər şəklində təqdim edilmişdir.

6. Dissertasiya işində MAE və RMSE əsasında proqnozların dəqiqliyinin müqayisəsi zamanı qısa müddətli proqnozlaşdırmada ARİMA modelinin qənaətbəxş nəticələr verdiyi aşkar edilsə də, qiymət dəyişkənliyinin dəqiqliklə müəyyənləşdirilməsində neyron şəbəkə sisteminə əsaslanan maşın öyrənməsi modellərindən LSTM-in daha yüksək uğura malik olduğu ortaya çıxmışdır.

7. Bununla yanaşı, aparılan tədqiqat nəticələri göstərir ki, təqdim edilən model MAE və RMSE kimi xəta ölçüləri baxımından ədəbiyyatda mövcud olan standart və hətta çox yaxşı işləyən metodları da açıq şəkildə üstələyir.

8. Əldə edilən nəticələrə əsaslanaraq, növbəti tədqiqatlarda elektrik enerjisinin qiymətinin proqnozlaşdırılması üçün müvafiq modellərin təkmilləşdirilməsi və daha dəqiq nəticələr əldə etmək üçün elektrik enerjisi bazarlarında hibrid modellərin mümkün istifadəsinin öyrənilməsi istiqamətində işlərin davam etməsi arzu olunur.

Dissertasiyanın əsas məzmunu müəllifin nəşr olunmuş əsərlərində öz əksini tapmışdır:

1. Ali Abbasov. Electricity market establishment and its current situation in Europe. Aqrosvit, Kiyev 2020, səh: 48-53.
2. Ali Abbasov. Electricity price forecasting models. Investicii-Praktika. Kiyev 2020, N:886, səh: 75-79
3. Nazim Həjiyev, Klaudia Smolag, Ali Abbasov, Valeriy Prasolov. Energy war strategies: The 21th century experience. Energies. 2020
4. Ali Abbasov. “Karakabk is My Native Land!” The XXVIII International Scientific Symposium. Amsterdam, Holland 2022, səh:167-170.
5. Ali Abbasov. “Turks and the World: Problems of Mutual Relations”, The XXIX International Scientific Symposium, Kars, Turkey, 2022, səh:164-168.
6. Əli Abbasov. Azərbaycan Əmək və Sosial Münasibətlər Akademiyası, I Beynəlxalq Sosial Elmlər Konfransı, Sosial-İqtisadi və Tarixi-Mədəni Əlaqələrin Strateji Prioritetləri. Bakı 2022, səh:424-427.
7. Ali Abbasov. Enhanced ARIMA approach of electricity price forecasting. European Chemical Bulletin. Budapest, Hungary 2023, səh:3405-3426.
8. Ali Abbasov. Forecasting hourly electricity prices in European Nations: Utilizing machine learning and deep learning techniques for sustainable energy decision-making. Journal of Harbin Engineering University, Harbin, China 2023, səh: 2383-2392.
9. Əli Abbasov. Elektrik enerjisi bazarlarında qiymət formalaşma mexanizmi və ticarətin strukturu. İqtisadi İstlahatlar Jurnalı. Azərbaycan Respublikası İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi. Bakı 2023, səh:92-96.
10. Ali Abbasov. Common Indicators of Electricity Markets and Trade Structures. International Convergence of Young Social Science Researchers ICYSSR 2023, UNEC, Bakı 2023, səh:7.
11. Əli Abbasov. Box-Jenkins Metodologiyası əsasında qısamüddətli dövr üçün elektrik enerjisinin qiymətlərinin proqnozlaşdırılması xüsusiyyətləri. İpək Yolu Jurnalı, Bakı 2023, səh: 5-10.

Dissertasiyanın müdafiəsi 28 iyun 2024-cü il tarixində saat 11.⁰⁰-da AR ETN İqtisadiyyat İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED1.10 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Bakı şəh., H.Cavid pr., 115

e-mail: economicscomaz@gmail.com

Dissertasiya ilə AR ETN İqtisadiyyat İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AR ETN İqtisadiyyat İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 16 may 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 13.05.2024
Kağızın formatı: A5
Həcm: 38000
Tiraj: 100