

Əhmədov M.Z.

Mingəçevir Dövlət Universiteti, Mingəçevir, Azərbaycan

m_axmedov@mail.ru**QEYRİ-SƏLİS MƏNTİQ ƏSASINDA ELEKTRİK ENERJİSİ İSTEHSALININ
PROQNOZLAŞDIRILMASI**

Elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün invariant qeyri-səlis zaman sıraları modeli və qeyri-səlis implikasiyalar istifadə olunmaqla təklif olunan metodda alınan proqnoz dəqiqliyi müasir dövrün tələblərinə cavab vermir. Eyni zamanda proqnoz nəticələrinin alınması və qeyri-səlis münasibətlər matrisinin formalaşdırılması üçün istifadə olunan qeyri-səlis implikasiyalar ilə bağlı aparılan əməliyyatlarda da müəkkəb hesablamalardan istifadə olunur. Məqalədə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında universal çoxluğun müxtəlif sayda bərabər uzunluqlu intervallara bölünməsi ilə elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün sadə hesabi əməliyyatlar istifadə olunmaqla daha dəqiq proqnoz nəticələri almağa imkan verən yeni üsul təklif olunur. Təklif olunan üsulda proqnoz nəticələrinin hesablanması asanlaşdırılan ortalaşdırılmış fərqlər metodundan istifadə olunur. Xronoloji verilənlərin bərabər uzunluğa malik müxtəlif saylı intervallara düşməsi ilə təyin olunan bu üsul həm universal çoxluğun bölgüsünün, həm də bununla bağlı linqvistik termlərin optimal sayının tapılmasının əsaslandırılması məqsədilə də istifadə oluna bilər. Təklif edilmiş üsul istifadə olunmaqla elektrik enerjisi istehsalının proqnoz nəticələri hesablanaraq, bu üsulun tətbiqinin səmərəliliyi əsaslandırılmışdır.

Açar sözlər: qeyri-səlis çoxluqlar, qeyri-səlis zaman sıraları, orta kvadratik xəta, orta proqnozlaşdırma xətası.

Giriş

Mütəxəssislərə yaxşı məlumdur ki, əgər gələcəklə bağlı müəyyən şübhə və tərəddüdlər varsa, onda proqnozlaşdırma prosesinin həyata keçirilməsi aktual və zəruridir. Proqnozlaşdırma prosesi gələcək üçün nəzərdə tutulan proqnoz nəticələrinin əldə olunması məqsədilə həyata keçirilir. Xronoloji verilənlər və istifadə olunan iqtisadi göstəricilər dəqiq proqnoz nəticələrinin əldə olunması məqsədilə diqqətlə yoxlanılır və təhlil olunur. Ümumiyyətlə, proqnozlaşdırma prosesi ilə bağlı zaman sıralarının seçilməsinin 2 səbəbi qeyd olunur. Birincisi, real həyatda, o cümlədən, iqtisadi, biznes və maliyyə sahələrində mövcud olan verilənlərin çox böyük qismi zaman sıraları şəklində formalaşdırılaraq təqdim olunur. İkincisi, zaman sıraları verilənlərinin qiymətləndirilməsi asandır, həm də zaman sıralarının proqnozlaşdırılmasının qiymətləndirilməsi üçün çoxlu sayda müxtəlif texnologiyalar işlənib hazırlanmışdır. Bu texnologiyalardan biri də L.Zadənin qeyri-səlis məntiq və qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsinə əsaslanan qeyri-səlis zaman sıralarının tətbiqi ilə proqnozlaşdırma adlanır. 1993-cü ildə ABŞ-da Alabama Universitetinin professorları Q.Song və B.Chissom tərəfindən əsası qoyulan qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsi hədləri verbal sözlər və ya müəyyən bir linqvistik dəyişənin qiymətləri, linqvistik termlər olan zaman sıralarının proqnozlaşdırılması məqsədilə təklif olunmuşdur. Ötən 30 ilə yaxın bir dövr ərzində dünyanın müxtəlif ölkələrinin alimləri qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsinə əsaslanan müxtəlif proqnozlaşdırma üsulları təklif etmişlər [1–10]. Təəssüf hissi ilə qeyd etmək lazımdır ki, təklif olunan üsullarda proqnozlaşdırma xətası müasir dövrdə qoyulan tələblərə hələ də cavab vermir. Bu proqnozlaşdırma üsullarında universal çoxluğun bölgüsü ya xronoloji verilənlərin bölgü intervallarına düşmə tezliyi, ya da verilənlər ardıcılığında mövcud olan variasiyalar əsasında aparılmışdır. Təklif olunan proqnozlaşdırma üsullarının əksəriyyətində universal çoxluğun 6, 7, 9, 15 və, hətta 30 intervala bölgüsü aparılmış və heç birində bu fakt lazım olan səviyyədə əsaslandırılmamışdır. Məqalədə bu sualın cavabının tapılmasına təşəbbüs göstərilməklə bərabər proqnozlaşdırma prosesinin asanlaşdırılması məqsədilə sadə alqoritm təklif olunaraq, elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli üçün tətbiq olunmuş və mövcud proqnozlaşdırma üsulları ilə müqayisədə daha yaxşı proqnoz nəticələri alınmışdır.

Qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsinin tətbiqləri

Müasir dövrdə aparılan bütün elmi tədqiqatlarda əgər informasiya qeyri-aşkar, qeyri-səlis və müəyyən mənada təqribdirsə, onda bu sahələrdə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında proqnozlaşdırma ən doğru seçimdir. Ona görə ki, burada həm tendensiyaların öyrənilməsi və təhlili, həm də zaman sıralarında mövcud olan qanunauyğunluqların vizuallaşdırılması ilə bağlı heç bir tələb qoyulmur. Bu konsepsiya istifadə olunmaqla, 1993-cü ildən başlayaraq iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində bir çox elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır [1–10].

[1–3]-də Song və Chissom qeyri-səlis zaman sıralarının əsaslarını şərh edərək, zamana görə dəyişən (*ing. time-variant*) və zamana görə dəyişməyən (*ing. time-invariant*) qeyri-səlis zaman sıraları (*ing. fuzzy time series*) modellərini tədqiq etmişlər. Hər iki model istifadə olunmaqla, standart məsələ kimi təklif olunan Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması məsələsi həll edilmişdir. Həm zamana görə dəyişən, həm də zamana görə dəyişməyən modellərdə Max-Min kompozisiya operatoru istifadə olunmuşdur. [4]-də Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması üçün sadə hesabi əməliyyatlardan istifadə etməklə daha yaxşı proqnoz nəticələri almağa imkan verən yeni üsul təklif edilmişdir. Huanq [5]-də universal çoxluğun formalaşdırılması məqsədilə xronoloji verilənlərin variasiyasını götürmüş, Chen tərəfindən təklif olunan üsula evristik qaydalar əlavə etməklə daha yaxşı proqnoz nəticələri əldə etmişdir. [6]-da Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması üçün qeyri-səlis zaman sıralarının evristik modeli istifadə edilmişdir. [7]-də Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması üçün qeyri-səlis zaman sıralarının yüksək tərtibli modeli istifadə edilmişdir. [8]-də Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli üçün yeni yanaşma təklif olunmuş və zamana görə dəyişən zaman sıraları modeli üçün daha yaxşı proqnoz nəticələri əldə olunmuşdur. [9]-da müəlliflər 14 il zaman kəsiyində Azərbaycan əhalisinin sayının proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün qeyri-səlis zaman sıraları modelindən istifadə edərək proqnoz nəticələri əldə etmişlər. [10]-da qeyri-səlis implikasiyalardan istifadə etməklə qeyri-səlis münasibətlər matrisi formalaşdırılaraq, ALI-3 qeyri-səlis implikasiyası əsasında yeni proqnozlaşdırma üsulu ilə elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması məsələsi həll olunmuşdur.

Xüsusilə bir faktı qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda göstərilən bütün yanaşmalarda ya universitetdə tələbə qeydiyyatının xronoloji verilənləri (və ya alternativ olaraq konkret ölkə əhalisinin sayının illik statistik göstəriciləri), ya elektrik enerjisi istehsalı üzrə statistik göstəricilər, ya da heç bir əlavə informasiya əldə edilmədən məlum statistik verilənlərin ilkin formada variasiyaları istifadə olunmuşdur.

Təklif olunan proqnozlaşdırma üsulu

Bu bölmədə elektrik enerjisi istehsalı ilə bağlı statistik göstəricilər istifadə olunmaqla formalaşdırılan universal çoxluq və onun müxtəlif sayda bərabər uzunluqlu intervallara bölgüsünə əsaslanan proqnozlaşdırma metodu təqdim olunur. Bu metodun mahiyyətində proqnozlaşdırılan göstəriciyə qədər mövcud olan xronoloji verilənlərin ardıcıl variasiyalarının ədədi orta qiymətlərinin hesablanması durur. Ona görə də bu metodu ortalaşdırılmış fərqlər metodu da adlandırmaq olar. Təklif olunan proqnozlaşdırma metodunun alqoritmi aşağıdakı kimidir:

Addım 1. Cədvəl 1-dəki statistik verilənlər əsasında U – universal çoxluğu təyin olunur. Münasib $d_{\min} = -64$ və $d_{\max} = 68$ qiymətləri eksperimental şəkildə cədvəl 1-dəki verilənlərə uyğun olaraq seçildikdən sonra $d_{\text{sol}} = 1764 + d_{\min} = 1700$ və $d_{\text{sag}} = 11832 + d_{\max} = 11900$ kimi təyin olunur. Beləliklə, universal çoxluq $U = \{1700, 11900\}$ kimi təyin olunur.

Cədvəl 1

Elektrik enerjisi istehsalı göstəriciləri

| İllər | İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat) | İllər | İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat) | İllər | İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mvt/saat) |
|-------|--|-------|--|-------|--|
| 1982 | 1764 | 1995 | 8384 | 2008 | 9185 |
| 1983 | 3651 | 1996 | 9076 | 2009 | 6759 |
| 1984 | 4619 | 1997 | 8110 | 2010 | 5237 |
| 1985 | 6689 | 1998 | 10090 | 2011 | 6289 |
| 1986 | 7174 | 1999 | 10157 | 2012 | 8127 |
| 1987 | 8172 | 2000 | 10863 | 2013 | 7633 |
| 1988 | 9154 | 2001 | 11020 | 2014 | 7684 |
| 1989 | 9562 | 2002 | 10099 | 2015 | 7403 |
| 1990 | 10613 | 2003 | 10566 | 2016 | 6763 |
| 1991 | 11832 | 2004 | 10236 | 2017 | 8160 |
| 1992 | 9679 | 2005 | 10412 | 2018 | 7464 |
| 1993 | 8650 | 2006 | 11601 | 2019 | 7051 |
| 1994 | 8650 | 2007 | 9662 | 2020 | 5920 |

Addım 2. Bu mərhələdə F_i ($i=1,2,\dots$) qeyri-səlis çoxluqları təyin olunur və sonra isə xronoloji verilənlərin fəzifikasiyası prosesi aparılır. Təyin olunmuş U – universal çoxluğu müvafiq olaraq 5, 6, 7, 8, 9 sayda bərabər uzunluqlu intervallara bölünür (cədvəl 2). Sonra hər bölgüdə intervalların orta nöqtələri tapılaraq, onlar da öz növbəsində 2 alt intervala bölünür. Cədvəl 1-dəki xronoloji verilənlərin bu interval və alt intervallar nəzərə alınmaqla fəzifikasiya prosesi aparılır. Bu fəzifikasiya prosesinin nəticələri universal çoxluğun bütün bölgüləri üçün cədvəl 3, cədvəl 4, cədvəl 5, cədvəl 6 və cədvəl 7-də təsvir olunmuşdur.

Cədvəl 2

Universal çoxluğun 5, 6, 7, 8, 9 saylı intervallara bölgüsü

| Interval sayı N=5 | | | Interval sayı N=6 | | | Interval sayı N=7 | | | Interval sayı N=8 | | | Interval sayı N=9 | | |
|-------------------|------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| B1 | 1700 | 3740 | C1 | 1700 | 3400 | D1 | 1700 | 3157 | E1 | 1700 | 2975 | E1 | 1700 | 2833 |
| B2 | 3740 | 5780 | C2 | 3400 | 5100 | D2 | 3157 | 4614 | E2 | 2975 | 4250 | E2 | 2833 | 3966 |
| B3 | 5780 | 7820 | C3 | 5100 | 6800 | D3 | 4614 | 6071 | E3 | 4250 | 5525 | E3 | 3966 | 5099 |
| B4 | 7820 | 9860 | C4 | 6800 | 8500 | D4 | 6071 | 7528 | E4 | 5525 | 6800 | E4 | 5099 | 6232 |
| B5 | 9860 | 11900 | C5 | 8500 | 10200 | D5 | 7528 | 8985 | E5 | 6800 | 8075 | E5 | 6232 | 7365 |
| | | | C6 | 10200 | 11900 | D6 | 8985 | 10442 | E6 | 8075 | 9350 | E6 | 7365 | 8498 |
| | | | | | | D7 | 10442 | 11900 | E7 | 9350 | 10625 | E7 | 8498 | 9631 |
| | | | | | | | | | E8 | 10625 | 11900 | E8 | 9631 | 10764 |
| | | | | | | | | | | | | | 10764 | 11900 |

Addım 3. Bu mərhələdə proqnozlaşdırma prosesinə hazırlıq başlayır. Fərz edək ki, məsələn, 1986-cı il üçün proqnoz qiymətinin tapılması tələb olunur və əvvəlki illərdəki faktiki verilənlər artıq məlumdur:

1982 – 1764 (Fərz edək ki, x -dir) və onun qeyri-səlis çoxluqları B1, C1, D1, E1, F1-dir.

1983 – 3651 (Fərz edək ki, y -dir) və onun qeyri-səlis çoxluqları B1, C2, D2, E2, F2-dir.

1984 – 4619 (Fərz edək ki, z -dir) və onun qeyri-səlis çoxluqları B2, C2, D3, E3, F3-dür.

1985 – 6689 (Fərz edək ki, a -dir) və onun qeyri-səlis çoxluqları B3, C3, D4, E4, F5-dir.

1986 - ? (Fərz edək ki, b -dir). Biz b qiymətini proqnozlaşdırmalıyıq.

Cədvəl 3, cədvəl 4, cədvəl 5, cədvəl 6 və cədvəl 7-dən görünür ki, b -nin qiyməti B3, C4, D4, E5, F5 intervallarına düşür. Beləliklə, hesablama prosesi aşağıdakı kimi aparılır:

1. Əvvəlcə x -dən başlayırıq: x -in qiymətindən ondan sonra gələnlərin qiymətləri çıxılır. Yəni, $(x-y)$, $(x-z)$ və $(x-a)$ hesablanır və sonra onların ədədi orta qiyməti (ΘOQ_1) hesablanır.

Cədvəl 3

Qeyr-səlis çoxluqlar ($N=5$)

| İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval |
|-------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|--------------|-------|------|---------|--------------|
| 1982 | 1764 | B1 | B11 | 1995 | 8384 | B4 | B41 | 2008 | 9185 | B4 | B42 |
| 1983 | 3651 | B1 | B12 | 1996 | 9076 | B4 | B42 | 2009 | 6759 | B3 | B31 |
| 1984 | 4619 | B2 | B21 | 1997 | 8110 | B4 | B41 | 2010 | 5237 | B2 | B22 |
| 1985 | 6689 | B3 | B31 | 1998 | 10090 | B5 | B51 | 2011 | 6289 | B3 | B31 |
| 1986 | 7174 | B3 | B32 | 1999 | 10157 | B5 | B51 | 2012 | 8127 | B4 | B41 |
| 1987 | 8172 | B4 | B41 | 2000 | 10863 | B5 | B51 | 2013 | 7633 | B3 | B32 |
| 1988 | 9154 | B4 | B42 | 2001 | 11020 | B5 | B52 | 2014 | 7684 | B3 | B32 |
| 1989 | 9562 | B4 | B42 | 2002 | 10099 | B5 | B51 | 2015 | 7403 | B3 | B32 |
| 1990 | 10613 | B5 | B51 | 2003 | 10566 | B5 | B51 | 2016 | 6763 | B3 | B31 |
| 1991 | 11832 | B5 | B52 | 2004 | 10236 | B5 | B51 | 2017 | 8160 | B4 | B41 |
| 1992 | 9679 | B4 | B42 | 2005 | 10412 | B5 | B51 | 2018 | 7464 | B3 | B32 |
| 1993 | 8650 | B4 | B41 | 2006 | 11601 | B5 | B52 | 2019 | 7051 | B3 | B32 |
| 1994 | 8650 | B4 | B41 | 2007 | 9662 | B4 | B42 | 2020 | 5920 | B3 | B31 |

Cədvəl 4

Qeyr-səlis çoxluqlar ($N=6$)

| İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval |
|-------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|--------------|-------|------|---------|--------------|
| 1982 | 1764 | C1 | C11 | 1995 | 8384 | C4 | C42 | 2008 | 9185 | C5 | C51 |
| 1983 | 3651 | C2 | C21 | 1996 | 9076 | C5 | C51 | 2009 | 6759 | C3 | C32 |
| 1984 | 4619 | C2 | C22 | 1997 | 8110 | C4 | C42 | 2010 | 5237 | C3 | C31 |
| 1985 | 6689 | C3 | C32 | 1998 | 10090 | C5 | C52 | 2011 | 6289 | C3 | C32 |
| 1986 | 7174 | C4 | C41 | 1999 | 10157 | C5 | C52 | 2012 | 8127 | C4 | C42 |
| 1987 | 8172 | C4 | C42 | 2000 | 10863 | C6 | C61 | 2013 | 7633 | C4 | C41 |
| 1988 | 9154 | C5 | C51 | 2001 | 11020 | C6 | C61 | 2014 | 7684 | C4 | C42 |
| 1989 | 9562 | C5 | C52 | 2002 | 10099 | C5 | C52 | 2015 | 7403 | C4 | C41 |
| 1990 | 10613 | C6 | C61 | 2003 | 10566 | C6 | C61 | 2016 | 6763 | C3 | C32 |
| 1991 | 11832 | C6 | C62 | 2004 | 10236 | C6 | C61 | 2017 | 8160 | C4 | C42 |
| 1992 | 9679 | C5 | C52 | 2005 | 10412 | C6 | C61 | 2018 | 7464 | C4 | C41 |
| 1993 | 8650 | C5 | C51 | 2006 | 11601 | C6 | C62 | 2019 | 7051 | C4 | C41 |
| 1994 | 8650 | C5 | C51 | 2007 | 9662 | C5 | C52 | 2020 | 5920 | C3 | C31 |

Cədvəl 5

Qeyr-səlis çoxluqlar (N=7)

| İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval |
|-------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|--------------|-------|------|---------|--------------|
| 1982 | 1764 | D1 | D11 | 1995 | 8384 | D5 | D52 | 2008 | 9185 | D6 | D61 |
| 1983 | 3651 | D2 | D21 | 1996 | 9076 | D6 | D61 | 2009 | 6759 | D4 | D41 |
| 1984 | 4619 | D3 | D31 | 1997 | 8110 | D5 | D51 | 2010 | 5237 | D3 | D31 |
| 1985 | 6689 | D4 | D41 | 1998 | 10090 | D6 | D62 | 2011 | 6289 | D4 | D41 |
| 1986 | 7174 | D4 | D42 | 1999 | 10157 | D6 | D62 | 2012 | 8127 | D5 | D51 |
| 1987 | 8172 | D5 | D51 | 2000 | 10863 | D7 | D71 | 2013 | 7633 | D5 | D51 |
| 1988 | 9154 | D6 | D61 | 2001 | 11020 | D7 | D71 | 2014 | 7684 | D5 | D51 |
| 1989 | 9562 | D6 | D61 | 2002 | 10099 | D6 | D62 | 2015 | 7403 | D4 | D42 |
| 1990 | 10613 | D7 | D71 | 2003 | 10566 | D7 | D71 | 2016 | 6763 | D4 | D41 |
| 1991 | 11832 | D7 | D72 | 2004 | 10236 | D6 | D62 | 2017 | 8160 | D5 | D51 |
| 1992 | 9679 | D6 | D61 | 2005 | 10412 | D6 | D62 | 2018 | 7464 | D4 | D42 |
| 1993 | 8650 | D5 | D52 | 2006 | 11601 | D7 | D72 | 2019 | 7051 | D4 | D42 |
| 1994 | 8650 | D5 | D52 | 2007 | 9662 | D6 | D61 | 2020 | 5920 | D3 | D32 |

Cədvəl 6

Qeyr-səlis çoxluqlar (N=8)

| İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval |
|-------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|--------------|-------|------|---------|--------------|
| 1982 | 1764 | E1 | E11 | 1995 | 8384 | E6 | E61 | 2008 | 9185 | E6 | E62 |
| 1983 | 3651 | E2 | E22 | 1996 | 9076 | E6 | E62 | 2009 | 6759 | E4 | E42 |
| 1984 | 4619 | E3 | E31 | 1997 | 8110 | E6 | E61 | 2010 | 5237 | E3 | E32 |
| 1985 | 6689 | E4 | E42 | 1998 | 10090 | E7 | E72 | 2011 | 6289 | E4 | E42 |
| 1986 | 7174 | E5 | E51 | 1999 | 10157 | E7 | E72 | 2012 | 8127 | E6 | E61 |
| 1987 | 8172 | E6 | E61 | 2000 | 10863 | E8 | E81 | 2013 | 7633 | E5 | E52 |
| 1988 | 9154 | E6 | E62 | 2001 | 11020 | E8 | E81 | 2014 | 7684 | E5 | E52 |
| 1989 | 9562 | E7 | E71 | 2002 | 10099 | E7 | E72 | 2015 | 7403 | E5 | E51 |
| 1990 | 10613 | E7 | E72 | 2003 | 10566 | E7 | E72 | 2016 | 6763 | E4 | E42 |
| 1991 | 11832 | E8 | E82 | 2004 | 10236 | E7 | E72 | 2017 | 8160 | E6 | E61 |
| 1992 | 9679 | E7 | E71 | 2005 | 10412 | E7 | E72 | 2018 | 7464 | E5 | E52 |
| 1993 | 8650 | E6 | E61 | 2006 | 11601 | E8 | E82 | 2019 | 7051 | E5 | E51 |
| 1994 | 8650 | E6 | E61 | 2007 | 9662 | E7 | E71 | 2020 | 5920 | E4 | E41 |

Qeyr-səlis çoxluqlar (N=9)

| İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval | İllər | Fakt | İnteval | Alt interval |
|-------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|--------------|-------|------|---------|--------------|
| 1982 | 1764 | F1 | F11 | 1995 | 8384 | F6 | F62 | 2008 | 9185 | F7 | F71 |
| 1983 | 3651 | F2 | F22 | 1996 | 9076 | F7 | F72 | 2009 | 6759 | F5 | F51 |
| 1984 | 4619 | F3 | F32 | 1997 | 8110 | F6 | F62 | 2010 | 5237 | F4 | F41 |
| 1985 | 6689 | F5 | F51 | 1998 | 10090 | F8 | F81 | 2011 | 6289 | F5 | F51 |
| 1986 | 7174 | F5 | F52 | 1999 | 10157 | F8 | F81 | 2012 | 8127 | F6 | F62 |
| 1987 | 8172 | F6 | F62 | 2000 | 10863 | F9 | F91 | 2013 | 7633 | F6 | F61 |
| 1988 | 9154 | F7 | F72 | 2001 | 11020 | F9 | F91 | 2014 | 7684 | F6 | F61 |
| 1989 | 9562 | F7 | F72 | 2002 | 10099 | F8 | F81 | 2015 | 7403 | F6 | F61 |
| 1990 | 10613 | F8 | F82 | 2003 | 10566 | F8 | F82 | 2016 | 6763 | F5 | F51 |
| 1991 | 11832 | F9 | F92 | 2004 | 10236 | F8 | F82 | 2017 | 8160 | F6 | F62 |
| 1992 | 9679 | F8 | F81 | 2005 | 10412 | F8 | F82 | 2018 | 7464 | F6 | F61 |
| 1993 | 8650 | F7 | F71 | 2006 | 11601 | F9 | F92 | 2019 | 7051 | F5 | F52 |
| 1994 | 8650 | F7 | F71 | 2007 | 9662 | F8 | F81 | 2020 | 5920 | F4 | F42 |

2. Analoji qaydada y -in qiymətindən sonra gələn, yəni $(y-z)$ və $(y-a)$ hesablandıqdan sonra alınan bu qiymətlərin ədədi orta qiyməti (ΘOQ_2) hesablanır.

3. Nəhayət, z -dən sonra gələn, yəni $(z-a)$ hesablanır və alınan nəticəni $Z_1=(z-a)$ kimi işarə edək.

4. İndi isə F_{ort} qiymətini aşağıdakı kimi hesablayaq:

$F_{ort}=(\Theta OQ_1+\Theta OQ_2+Z_1)/3$. Yəni, hesablamaların nəticəsində alınmış ədədlərin də ədədi orta qiymətləri hesablanır. Baxılan hal üçün alınan qiymət $F_{ort}=-2431.8$ olacaqdır.

Analoji qaydada proqnozlaşdırılan bütün illər üçün F_{ort} qiymətləri bu qayda ilə hesablanır. Proqnozlaşdırılan bütün illər üçün hesablanan bu qiymətlər növbəti mərhələlərdə elektrik enerjisi istehsalının qiymətlərini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunacaqdır. Cədvəl 1-dəki xronoloji verilənlər istifadə olunaraq, 1985-ci ildən başlayaraq 2020-ci ilədək hesablanmış F_{ort} qiymətləri cədvəl 8-də göstərilib.

Cədvəl 8

Hesablanmış F_{ort} qiymətləri

| İllər | F_{ort} | İllər | F_{ort} | İllər | F_{ort} |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 1982 | - | 1995 | -1545.1 | 2008 | -1239.5 |
| 1983 | - | 1996 | -1286.9 | 2009 | -1063.0 |
| 1984 | - | 1997 | -1280.9 | 2010 | -601.3 |
| 1985 | -1669.5 | 1998 | -993.4 | 2011 | -142.7 |
| 1986 | -2431.8 | 1999 | -1267.6 | 2012 | -6.9 |
| 1987 | -2269.1 | 2000 | -1323.6 | 2013 | -107.8 |
| 1988 | -2403.5 | 2001 | -1471.6 | 2014 | -41.2 |
| 1989 | -2575.0 | 2002 | -1544.5 | 2015 | -4.31 |
| 1990 | -2555.7 | 2003 | -1403.9 | 2016 | 65.4 |
| 1991 | -2751.8 | 2004 | -1422.6 | 2017 | 190.6 |
| 1992 | -3038.4 | 2005 | -1348.4 | 2018 | 101.9 |
| 1993 | -2362.7 | 2006 | -1329.5 | 2019 | 162.3 |
| 1994 | -1817.4 | 2007 | -1485.9 | 2020 | 238.4 |

Addım 4. Bu mərhələdə proqnozlaşdırma prosesi aparılır. Bu məqsədlə cədvəl 3, cədvəl 4, cədvəl 5, cədvəl 6 və cədvəl 7-də xronoloji verilənlərin fəzifikasiyasının nəticəsi olaraq alınan məlumat istifadə olunacaqdır. Məsələn, universal çoxluğun $N=5$ bölgüsü halında 1986-cı il üçün qeyri-səlis çoxluq kimi B3 qəbul olunmuşdur. Bu halda 1986-cı il üçün proqnoz qiymətinin tapılması məqsədlə 1986-cı il üçün qeyri-səlis çoxluq təyin olunan interval, yəni B3 intervalının sağ kənarı – $R=7820$ (B3 intervalının sağ kənar nöqtəsi) qəbul edilir. Sonra isə aşağıdakı düstur əsasında proqnoz qiyməti hesablanır:

$$F_{1986}=R_{1986}+F_{\text{ort}}(1985)/4 \quad (1)$$

Əgər əvvəlki $(x-1)$ ili üçün qiymət intervalın birinci yarısına düşərsə, bu halda R_{x-1} kimi intervalın orta qiyməti götürüləcəkdir. Beləliklə, bu qayda ilə universal çoxluğun bütün bölgüləri üçün proqnozlaşdırmanın nəticələri cədvəl 9-da verilmişdir.

Cədvəl 9

Müxtəlif intervallar üçün proqnoz nəticələri

| İllər | Fakt | F_5 | F_6 | F_7 | F_8 | F_9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1982 | 1764 | - | - | - | - | - |
| 1983 | 3651 | - | - | - | - | - |
| 1984 | 4619 | - | - | - | - | - |
| 1985 | 6689 | 6383 | 6383 | 6382 | 6383 | 6381 |
| 1986 | 7174 | 6192 | 7042 | 6920 | 6829 | 6757 |
| 1987 | 8172 | 8273 | 7933 | 7689 | 8145 | 7931 |
| 1988 | 9154 | 8239 | 8749 | 9112 | 8749 | 9030 |
| 1989 | 9562 | 8196 | 9556 | 9069 | 9343 | 8987 |
| 1990 | 10613 | 10241 | 10411 | 10531 | 9986 | 10125 |
| 1991 | 11832 | 10192 | 11212 | 11212 | 11212 | 11212 |
| 1992 | 9679 | 8080 | 9440 | 8953 | 9227 | 9437 |
| 1993 | 8650 | 8249 | 8759 | 8394 | 8121 | 8473 |
| 1994 | 8650 | 8385 | 8896 | 8531 | 8258 | 8610 |
| 1995 | 8384 | 8453 | 8114 | 8599 | 8326 | 8112 |
| 1996 | 9076 | 8518 | 9878 | 9391 | 9028 | 9309 |
| 1997 | 8110 | 8519 | 8180 | 7936 | 8392 | 8178 |
| 1998 | 10090 | 10631 | 9952 | 10194 | 10377 | 9949 |
| 1999 | 10157 | 10563 | 9883 | 10125 | 10308 | 9880 |
| 2000 | 10863 | 10549 | 10719 | 10839 | 10931 | 11001 |
| 2001 | 11020 | 10512 | 10682 | 10802 | 10894 | 10964 |
| 2002 | 10099 | 10493 | 9814 | 10056 | 10239 | 9811 |
| 2003 | 10566 | 10529 | 10699 | 10819 | 10274 | 10413 |
| 2004 | 10236 | 10524 | 10694 | 10086 | 10269 | 10408 |
| 2005 | 10412 | 10543 | 10713 | 10105 | 10288 | 10427 |

| | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2006 | 11601 | 10548 | 10718 | 11568 | 11568 | 11568 |
| 2007 | 9662 | 8469 | 9829 | 9342 | 9616 | 9826 |
| 2008 | 9185 | 8530 | 9040 | 9403 | 9040 | 9321 |
| 2009 | 6759 | 6534 | 6534 | 6533 | 6534 | 6532 |
| 2010 | 5237 | 4610 | 5800 | 5192 | 5375 | 5515 |
| 2011 | 6289 | 6764 | 6764 | 6763 | 6764 | 6762 |
| 2012 | 8127 | 8838 | 8498 | 8254 | 8710 | 8496 |
| 2013 | 7633 | 6773 | 7623 | 8229 | 8048 | 7904 |
| 2014 | 7684 | 6789 | 8490 | 8246 | 8065 | 7921 |
| 2015 | 7403 | 6799 | 7649 | 7527 | 7436 | 7930 |
| 2016 | 6763 | 6816 | 6816 | 6815 | 6816 | 6814 |
| 2017 | 8160 | 8888 | 8548 | 8304 | 8760 | 8546 |
| 2018 | 7464 | 6826 | 7676 | 7554 | 8101 | 7957 |
| 2019 | 7051 | 6841 | 7691 | 7569 | 7478 | 7406 |
| 2020 | 5920 | 6860 | 6010 | 6131 | 6222 | 6292 |

Proqnozlaşdırma nəticələrinin müqayisəli təhlili

Məqalədə proqnozlaşdırma prosesinin nəticələrini müqayisəli şəkildə təhlil etmək məqsədilə 2 parametrdən istifadə olunur. Bu parametrlər aşağıdakılardır:

a) Orta proqnozlaşdırma xətası (ing. *Average Forasting Error Rate*):

$$AFER = \left(\sum_{i=1}^n \left(|A_i - F_i| / A_i \right) \right) / n * 100\% \quad (2)$$

b) Orta kvadratik xəta (ing. *Mean Square Error*):

$$MSE = \left(\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2 \right) / n \quad (3)$$

Burada, A_i – real statistik verilənlər, F_i – proqnoz qiymətləridir.

Universal çoxluğun bütün bölgüləri üçün orta proqnozlaşdırma xətası (*AFER*) və orta kvadratik xətanın (*MSE*) qiymətlərinin müqayisəsi cədvəl 10-da verilmişdir.

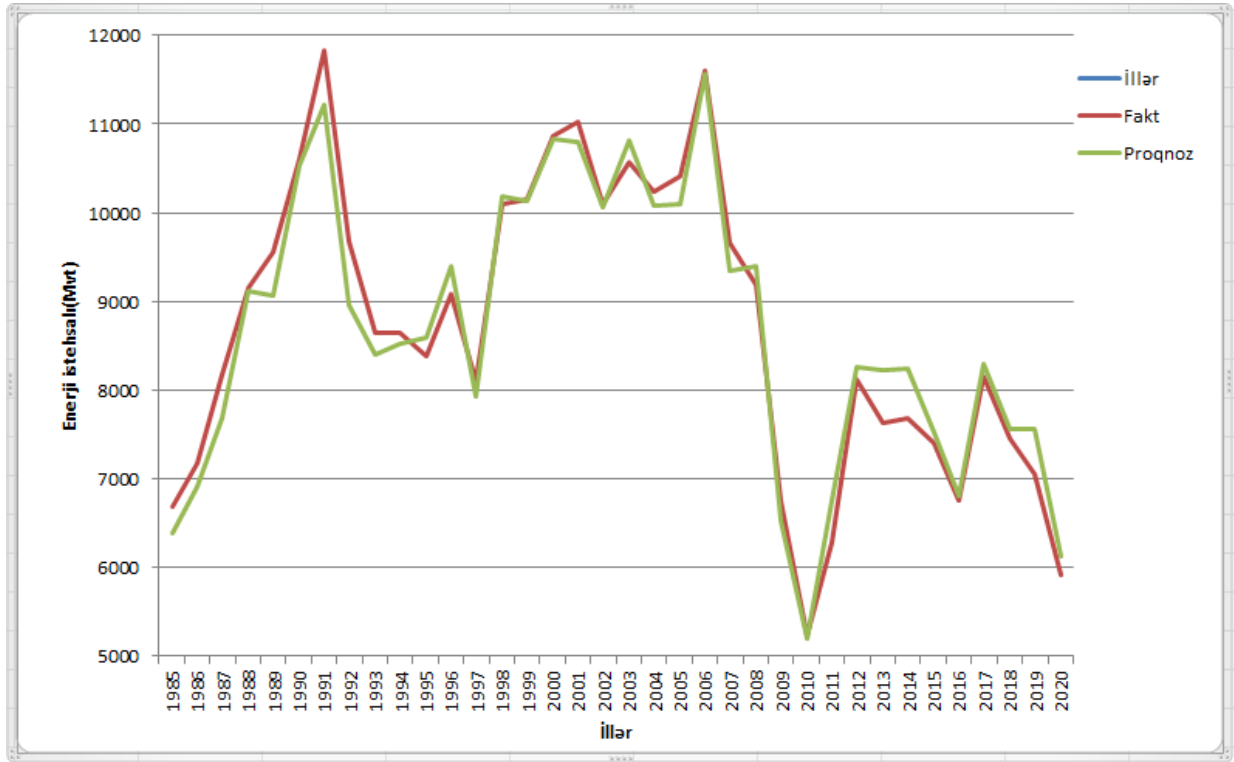
Cədvəl 10.

Universal çoxluğun müxtəlif bölgüləri üçün xətalərin müqayisəsi

| | N=5 | N=6 | N=7 | N=8 | N=9 |
|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| AFER | 6,97% | 3,62% | 2,98% | 3,36% | 3,21% |
| MSE | 523626,63 | 142266,56 | 97996,43 | 116406,60 | 93747,86 |

Universal çoxluğun 7 intervala bölgüsü üzrə elektrik enerjisi istehsalının faktiki göstəriciləri və proqnoz qiymətlərinin qrafik təsviri şəkil 1-də verilmişdir. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, faktiki göstəricilər ilə proqnoz qiymətləri arasındakı orta kvadratik xəta (*MSE*) əhəmiyyətli dərəcədə kiçikdir və proqnoz qiymətləri bütün universal çoxluqda faktiki göstəriciləri tendensiyaya müvafiq olaraq izləyir. Başqa sözlə desək, təklif olunan proqnozlaşdırma alqoritmi, şəkildən görüldüyü kimi, faktiki istehsal göstəricilərinə çox yaxın qiymətlər proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu isə

orta proqnozlaşdırma xətasının (*AFER*) qiymətindən də aşkar görünür.



Şəkil 1. Elektrik enerjisi istehsalının faktiki göstəriciləri və proqnoz qiymətlərinin qrafiki təsviri

Beləliklə, elmi-tədqiqat işində yeni proqnozlaşdırma metodunun təklif olunması ilə bərabər bu alqoritmin universal çoxluğun müxtəlif sayda bərabər uzunluqlu intervallara bölgüsündə tətbiqi zamanı baş verən variasiyaları müşahidə etmək mümkün olmuşdur. Alınan proqnoz nəticələri bir daha əyani şəkildə göstərdi ki, qeyri-səlis məntiq əsasında proqnozlaşdırma prosesi digər intervallarla müqayisədə universal çoxluğun 7 intervala bölgüsü halında daha yaxşı proqnoz nəticələri verir. Beləliklə, təklif olunan model tədqiqatçıların qeyri-səlis məntiq əsasında proqnozlaşdırma zamanı nə üçün linqvistik termlərin sayının 7 seçilməsi sualına da cavab vermiş olur. Buradan aydın olur ki, intervalların sayı 7-dən kiçik olduqda, statistik verilənlər intervallarda sıxlaşaraq toplanır, 7-dən çox olduqda isə həddən çox yüklənir. Başqa sözlə desək, universal çoxluğun 7 saylı intervallara bölgüsü qeyri-səlis məntiq əsasında proqnozlaşdırma modelləri üçün daha münasib hesab olunur.

Nəticə

Məqalədə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması üçün ortalaşdırılmış fərqlər istifadə olunmaqla daha yaxşı proqnoz nəticələri almağa imkan verən yeni üsul təklif olunmuşdur. Təklif olunan proqnozlaşdırma üsulu ilə universal çoxluğun 5, 6, 7, 8, 9 sayda müxtəlif uzunluqlu intervallara bölgüsü əsasında elektrik enerjisi istehsalının proqnozlaşdırılması məsələsi həll olunmuşdur. Aparılmış elmi-tədqiqat işində sübut olunmuşdur ki, qeyri-səlis məntiq əsasında proqnozlaşdırma zamanı universal çoxluğun $N=7$ sayda intervallara bölgüsü halında effektiv proqnoz nəticələri əldə olunur. Təklif olunan proqnozlaşdırma alqoritmi əsasında Visual Basic 6 obyekt-yönlü proqramlaşdırma sistemində proqram layihəsi işlənib hazırlanmış və universal çoxluğun $N=7$ sayda intervala bölgüsü halında

elektrik enerjisi istehsalı üzrə orta proqnozlaşdırma xətası (AFER) üçün – 2,98%, orta kvadratik xəta üçün isə 97996,43 qiymətləri alınmışdır.

Ədəbiyyat

1. Song Q., Chissom B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems, 1993, vol.54, issue 3, pp.269–277.
2. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part I // Fuzzy Sets and Systems, 1993, vol. 54, pp.1–9.
3. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part II // Fuzzy Sets and Systems, 1994, vol.62, issue 1, pp.1–8.
4. Chen S.M. Forecasting enrollments based on fuzzy time series // Fuzzy Sets and Systems, 1996, vol.81, issue 3, pp.311–319.
5. Hwang J.R., Chen S.M., Lee C.H. Handling Forecasting Problems using Fuzzy Time Series // Fuzzy Sets and Systems, 1998, vol.100, issue 1–3, pp.217–228.
6. Huarng K. Heuristic models of fuzzy time series for forecasting // Fuzzy Sets and Systems, 2001, vol.123, issue 3, pp.369–386.
7. Chen S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems, An International Journal, 2002, vol.33, issue 1, pp.1–16.
8. Ahmedov M.Z. Novyj variant resheniya problemy prognozirovaniya s pomoshch'yu nechetkih vremennyh ryadov // Izvestiya NAN Azerbajdzhana, Informatika i Problemy Upravleniya, 2001, tom 21, №3, s.96–104.
9. Mamedova M. G., Dzhabraïlova Z.G. Primenenie nechetkoj logiki v demograficheskom prognoze // Informacionnye Tekhnologii, 2004, no.3, s.75–83.
10. Ahmadov M.Z. Elektrik enerzhisi istehsalının geyri-salis zaman sıralarının tatbigi ilə prognozlaşdırılması // İnformasiya Tekhnologiyaları Problemləri, 2013, №2, s.53–63.

УДК 620.9:005;004.021

Ахмедов Мохуббат З.

Мингячевирский Государственный Университет, Мингячевир, Азербайджан
m_axmedov@mail.ru

Прогнозирование производства электрической энергии с применением нечеткой логики

Точность прогнозирования, полученная методом использования модели инвариантных нечетких временных рядов и нечетких импликаций для решения задачи прогнозирования производства электроэнергии, не соответствует современным требованиям. В то же время сложные вычисления применяются в операциях, связанных с нечеткими импликациями, которые используются для получения результатов прогнозирования и формирования матрицы нечетких отношений. В статье предлагается новый метод, позволяющий получать более точные результаты прогнозирования с помощью простых вычислительных операций для решения задачи прогнозирования производства электроэнергии путем разделения универсального множества на разное количество интервалов равной длины на основе нечетких временных рядов. Предлагаемый метод использует метод усредненных разностей, что упрощает расчет результатов прогноза. Этот метод, который определяется статистическими данными, относящимися к разным числовым интервалам равной длины, может использоваться для обоснования как распределения универсального множества, так и нахождения оптимального количества лингвистических терминов в этом отношении. Эффективность применения данного метода обоснована расчетом результатов прогноза производства электроэнергии с использованием предложенной методики.

Ключевые слова: нечеткое множество, нечеткие временные ряды, средняя частота ошибок прогнозирования, среднеквадратичная ошибка.

Mohubbat Z. Ahmadov

Mingechevir State University, Mingechevir, Azerbaijan

m_axmedov@mail.ru

Forecasting electricity production using fuzzy logic

The forecasting accuracy obtained by the method using the model of invariant fuzzy time series and fuzzy implications for solving the problem of electricity production forecasting does not meet modern requirements. Moreover, complex calculations are used in operations related to fuzzy implications, which are used to obtain forecast results and form a matrix of fuzzy relations. The paper proposes a new method for obtaining more accurate forecasting results using simple computational operations to solve the problem of electricity production forecasting by dividing the universal set into different numbers of equal intervals based on fuzzy time series. The proposed method uses the method of averaged differences, which simplifies the calculation of forecast results. This method, which is determined by the statistics related to different numerical equal intervals, can be used to justify both the distribution of universal set and to find the optimal number of linguistic terms in this regard. The effectiveness of this method is justified by calculating the results of electricity production forecasting through the proposed method.

Keywords: *Fuzzy set, fuzzy time series, Average forecasting error rate, Mean square error.*