

UOT 620.9:005; 004.021

**Əhmədov M.Z.**

Mingəçevir Politexnik İnstitutu, Mingəçevir, Azərbaycan  
[m\\_axmedov@mail.ru](mailto:m_axmedov@mail.ru)

## ELEKTRİK ENERJİSİ İSTEHSALININ QEYRİ-SƏLİS ZAMAN SIRALARININ TƏTBİQİ İLƏ PROQNOZLAŞDIRILMASI

*Məqalədə elektrik enerjisi istehsalının qeyri-səlis zaman sıraları əsasında proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün yeni üsul təklif olunur. Təklif olunan üsulda qeyri-səlis münasibətlər matrisinin formalaşdırılması və proqnoz nəticələrin alınması məqsədilə ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyasından istifadə olunmuşdur. Xronoloji verilənlərin qeyri-səlis çoxluqlar şəklində təsviri üçün zəngformalı mənsubiyyət funksiyası, qeyri-səlis münasibətlər matrisinin formalaşması üçün isə IF...THEN...ELSE... strukturlu qeyri-səlis şərti məntiqi çıxarılış qaydası istifadə olunmuşdur. Təklif edilmiş üsul əsasında enerji istehsalının proqnoz nəticələri təyin olunmuş, bu üsulun tətbiqinin səmərəliliyi əsaslandırılmışdır.*

**Açar sözlər:** Qeyri-səlis çoxluq, qeyri-səlis münasibət, mənsubiyyət funksiyası, qeyri-səlis zaman sırası, qeyri-səlis implikasiya.

### Giriş

Proqnozlaşdırma probleminin həlli üçün qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsi 1993-cü ildə Song və Chissom tərəfindən təklif olunmuşdur. Məlum olmuşdur ki, xronoloji verilənlər linqvistik dəyişənlərlə verildikdə klassik zaman sıraları ilə bağlı ənənəvi proqnozlaşdırma üsulları proqnozlaşdırma probleminin həlli üçün yararlı deyildir. Ötən 20 il ərzində qeyri-səlis zaman sıraları əsasında proqnozlaşdırma probleminin həlli üçün bir çox tədqiqatçılar müxtəlif proqnozlaşdırma metodları təklif etmişlər. [1–3]-də Song və Chissom qeyri-səlis zaman sıralarının tərifini verməklə bərabər zamana görə dəyişən (time-variant) və zamana görə dəyişməyən (time-invariant) qeyri-səlis zaman sıraları (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 nəticələr almağa imkan verən yeni üsul təklif edilmişdir. Huarng [5]-də Chen tərəfindən təklif olunan üsula evristik qaydalar əlavə etməklə daha yaxşı proqnoz nəticələr əldə etmişdir. [6]-da Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması üçün yüksək tərtibli qeyri-səlis zaman sıraları modeli istifadə edilmişdir. [7]-də Alabama Universitetində tələbə qeydiyyatının proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli üçün yeni yanaşma təklif olunmuş və zamana görə dəyişən zaman sıraları modeli üçün daha yaxşı proqnoz nəticələr əldə olunmuşdur. [8]-də müəlliflər 14 il zaman kəsiyində Azərbaycan əhalisinin proqnozlaşdırılması probleminin həlli üçün qeyri-səlis zaman sıraları modelindən istifadə edərək proqnoz nəticələr əldə etmişlər.

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 da heç bir əlavə informasiya əldə edilmədən məlum statistik verilənlərin ilkin formada variasiyaları istifadə olunmuşdur.

Məqalədə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında proqnozlaşdırma metoduna, qeyri-səlis münasibətlər matrisinin formalaşdırılması və proqnoz nəticələrin alınması üçün ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyasına əsaslanan yeni üsul təklif olunur. Bu üsulun tətbiqi ilə İstilik Enerjisi Stansiyalarında (İES) elektrik enerjisinin istehsalı ilə bağlı statistik verilənlər istifadə olunmaqla enerji istehsalının proqnozlaşdırılması məsələsinə baxılmışdır.

### Qeyri-səlis zaman sıraları ilə bağlı əsas konsepsiyalar

Məqalədə təqdim olunan yeni proqnozlaşdırma üsulunda istifadə olunan əsas anlayışların izahının verilməsi məqsəddə uyğun hesab olunur [1–3] .

**Tərif 1.** Fərz edək ki,  $Y(t)$ ,  $(t = \dots, 0, 1, 2, \dots)$  universal çoxluqdur və  $Y(t) \subseteq R$ . Fərz edək ki,  $Y(t)$ -da  $f_i(t), (i=1, 2, \dots)$  qeyri-səlis çoxluqları təyin olunmuşdur və  $F(t)$  isə  $f_i(t), (i=1, 2, \dots)$  kolleksiyasından təşkil olunmuşdur. Bu halda  $F(t)$ -yə  $Y(t)$   $(i=1, 2, \dots)$  - da qeyri-səlis zaman sırası deyilir.

**Tərif 2.** Əgər  $F(t) = F(t-1) \circ R(t, t-1)$  bərabərliyini şərtləndirən  $R(t, t-1)$  mövcud olarsa, bu halda  $F(t)$  (t anındakı müşahidə/qiyəmət) ancaq  $F(t-1)$  ilə şərtlənir və bu münasibət simvolik olaraq  $F(t-1) \rightarrow F(t)$  kimi yazılır. Burada,  $R(t, t-1)$  qeyri-səlis münasibətlər matrisi,  $F(t)-1$ -tərtibli qeyri-səlis zaman sırası modeli, “ $\circ$ ” – isə Max-Min kompozisiya operatoru adlanır.

**Tərif 3.** Əgər istənilən  $t$  zaman anı üçün  $F(t)$  qeyri-səlis zaman sırası ancaq və ancaq  $F(t-1)$ -dən asılıdırsa, bu halda bu cür əlaqə  $F(t) = F(t-1) \circ R(t, t-1)$  şəklində ifadə olunur. Eyni zamanda ixtiyari  $t$  zamanı  $R(t, t-1) = R(t-1, t-2)$  şərti ödənərsə, bu halda  $F(t)$ –qeyri-səlis zaman sırası stasionar – zamana görə dəyişməyən (time-invariant), əks halda isə qeyri-stasionar – zamana görə dəyişən (time-variant) qeyri-səlis zaman sırası adlanır.

**Tərif 4.** Əgər  $F(t-1)$ -i  $A_i$  və  $F(t)$  isə  $A_j$  kimi işarə etsək, bu halda  $F(t-1)$  və  $F(t)$  arasındakı münasibət  $A_i \rightarrow A_j$  məntiqi implikasiya münasibəti kimi yazılır.

Zamana görə dəyişən (time-variant) qeyri-səlis zaman sıraları modeli üçün proqnozlaşdırma alqoritmi aşağıdakı kimidir:

*1-ci addım.* Qeyri-səlis çoxluqlar təyin olunacaq universal çoxluq təyin edilir.

*2-ci addım.* Proqnozlaşdırma aparmaq üçün linqvistik kəmiyyətlərdən ibarət ilkin verilənlər təyin edilir.

*3-cü addım.* Linqvistik verilənlərdən istifadə etməklə universal çoxluqda qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilir.

*4-cü addım.* Müvafiq pəncərə bazisi (W) seçildikdən sonra bu bazisə uyğun əməliyyat  $(O_w(t)[i, j])$  və kriteriya matrisləri  $(C(t)[j])$  yaradılır. Əməliyyat və kriteriya matrisləri əsasında qeyri-səlis münasibətlər matrisinin hesablanması həyata keçirilir.  $R(t)$  qeyri-səlis münasibətlər matrisi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$R(t)[i, j] = O_w(t)[i, j] \times C(t)[j], \text{ burada } 1 \leq i \leq n \text{ və } 1 \leq j \leq m.$$

*5-ci addım.* Yekun proqnoz qiymətləri hesablanır və bu zaman  $R(t)[i, j]$  qeyri-səlis münasibətlər matrisinin hər bir sətirində alınmış informasiyalar üzərində birləşdirmə əməliyyatı aparılaraq yekun proqnoz nəticə hesablanır.

*6-cı addım.* Nəzərdə tutulan dövr üçün proqnozlaşdırma prosesini başa çatdırmaq üçün 4-cü addıma keçilir.

*7-ci addım.* Alınmış qeyri-səlis proqnoz nəticələr üzərində defazzifikasiya əməliyyatı aparılmaqla proqnoz qiymətlər hesablanır.

Zamana görə dəyişməyən (time-invariant) qeyri-səlis zaman sıraları modeli üçün proqnozlaşdırma alqoritmi aşağıdakı kimidir:

*1-ci addım.* Qeyri-səlis çoxluqlar təyin olunacaq universal çoxluq təyin edilir.

*2-ci addım.* Proqnozlaşdırma aparmaq üçün əsasən linqvistik kəmiyyətlərdən ibarət ilkin verilənlər təyin edilir.

*3-cü addım.* Linqvistik verilənlərdən istifadə etməklə universal çoxluqda qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilir.

*4-cü addım.* İlkin verilənlərdən istifadə etməklə qeyri-səlis münasibətlər əsaslandırılır və təyin edilir.

5-ci addım. 4-cü addımda təyin olunan bütün qeyri-səlis münasibətlərə yekun vuraraq, yekun qeyri-səlis münasibətlər matrisi təyin edilir.

6-cı addım. Modelin girişinə ilkin informasiya verməklə çıxışı hesablanır, başqa sözlə proqnozlaşdırma həyata keçirilir. Alınmış qiymət proqnoz qiymət olacaqdır.

7-ci addım. Alınmış nəticə defazzifikasiya edilir (bəzi hallarda bu çox lazım olur).

Aparılmış elmi-tədqiqat işində zamana görə dəyişməyən qeyri-səlis zaman sıraları modelində proqnozlaşdırma probleminin həlli məqsədilə Zadə, Goguen, Lukaşeviç, ALİ-1, ALİ-2 və ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyaları tədqiq olunmuşdur. Qeyri-səlis implikasiyalar istifadə olunarkən qeyri-səlis münasibətlər matrisi IF...THEN...ELSE... qeyri-səlis münasibəti ilə təyin olunmuşdur. Proqnozlaşdırma alqoritminin 4-cü addımında qeyri-səlis münasibətlər matrisinin formalaşması üçün aşağıdakı düsturlardan istifadə olunmuşdur [9]:

Zadə implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \min \{ \max [ \min (a, b), 1 - a ], \max [ \min (1 - a, 1 - b), a ] \} \quad (1)$$

Lukaşeviç implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \min \{ 1, \min [ (1 - a + b), (1 + a - b) ] \} \quad (2)$$

Goguen implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \begin{cases} \min \left( 1, \frac{b}{a} \right), & \text{əgər } a = 1 \\ \min \left( 1, \frac{1 - b}{1 - a} \right), & \text{əks halda} \end{cases} \quad (3)$$

ALİ-1 implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \begin{cases} 1 - b, & \text{əgər } a < b \\ 1, & \text{əgər } a = b \\ b, & \text{əgər } a > b \end{cases} \quad (4)$$

ALİ-2 implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \begin{cases} \min(a, 1 - b), & \text{əgər } a < b \\ 1, & \text{əgər } a = b \\ \min(1 - a, b), & \text{əgər } a > b \end{cases} \quad (5)$$

ALİ-3 implikasiyası üçün:

$$a \rightarrow b = \begin{cases} (1 - b) / (1 - a + b), & \text{əgər } a < b \\ 1, & \text{əgər } a = b \\ b / [a + (1 - b)], & \text{əgər } a > b \end{cases} \quad (6)$$

Hesablanmış qeyri-səlis münasibətlər matrisləri istifadə olunmaqla 6-cı addımda alınmış proqnoz nəticələr üzərində qeyri-səlis konyunksiya əməliyyatı hər bir qeyri-səlis implikasiya operatoru üçün məxsusi olaraq aşağıda göstərilmişdir [9]:

Goguen implikasiyası üçün:

$$P \wedge Q = \begin{cases} 0, & \text{əgər } p = 0 \\ \max \left( 0, \frac{(p + q - 1)}{p} \right), & \text{əgər } p > 0 \end{cases} \quad (7)$$

ALİ-1 implikasiyası üçün:

$$P \wedge Q = \begin{cases} p, & \text{əgər } p + q < 1 \\ 0, & \text{əgər } p + q = 1 \\ q, & \text{əgər } p + q > 1 \end{cases} \quad (8)$$

ALİ-2 implikasiyası üçün:

$$P \wedge Q = \begin{cases} 0, & \text{əgər } p + q \leq 1 \\ \max(p, q), & \text{əgər } p + q > 1 \end{cases} \quad (9)$$

ALİ-3 implikasiyası üçün:

$$P \wedge Q = \begin{cases} (1 - q)/(1 - p + q), & \text{əgər } p < q \\ 1, & \text{əgər } p = q \\ q/[p + (1 - q)], & \text{əgər } p > q \end{cases} \quad (10)$$

Zadə və Lukaşeviç qeyri-səlis implikasiyaları üçün isə sadə konyunksiya əməliyyatı nəzərdə tutulmuşdur.

Cədvəl 1-də İES-də elektrik enerjisi istehsalı üzrə 1982-ci ildən 2011-ci ilədək statistik verilənlər təsvir olunmuşdur.

Cədvəl 1

İstilik elektrik stansiyasında elektrik enerjisi istehsalı göstəriciləri

İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mln Kvt/saat)	İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mln Kvt/saat)	İllər	İstehsal olunan elektrik enerjisi (Mln Kvt/saat)
1982	1764	1993	8650	2004	10236
1983	3651	1994	8650	2005	10412
1984	4619	1995	8384	2006	11601
1985	6689	1996	9076	2007	9662
1986	7174	1997	8110	2008	9185
1987	8172	1998	10090	2009	6759
1988	9154	1999	10157	2010	5237
1989	9562	2000	10863	2011	6289
1990	10613	2001	11020	2012	8127
1991	11832	2002	10099		
1992	9679	2003	10566		

Cədvəl 1-də verilmiş statistik verilənlərin fəzafikasıyası üçün üçbucaqşəkilli və zəngformalı mənsubiyyət funksiyaları götürülmüş, U – universal çoxluğu təyin olunaraq 30 bərabər uzunluqlu intervallara bölünmüşdür (cədvəl 2).

Cədvəl 2

Statistik verilənlərin paylanma sıxlığı

İntervalın adı	İnterval	Verilənlərin sayı	İntervalın adı	İnterval	Verilənlərin sayı
U <sub>1</sub>	[1700,2040]	1	U <sub>16</sub>	[6800,7140]	0
U <sub>2</sub>	[2040,2380]	0	U <sub>17</sub>	[7140,7480]	1
U <sub>3</sub>	[2380,2720]	0	U <sub>18</sub>	[7480,7820]	0
U <sub>4</sub>	[2720,3060]	0	U <sub>19</sub>	[7820,8160]	1
U <sub>5</sub>	[3060,3400]	0	U <sub>20</sub>	[8160,8500]	2
U <sub>6</sub>	[3400,3740]	1	U <sub>21</sub>	[8500,8840]	2
U <sub>7</sub>	[3740,4080]	0	U <sub>22</sub>	[8840,9180]	2
U <sub>8</sub>	[4080,4420]	0	U <sub>23</sub>	[9180,9520]	1
U <sub>9</sub>	[4420,4760]	1	U <sub>24</sub>	[9520,9860]	3
U <sub>10</sub>	[4760,5100]	0	U <sub>25</sub>	[9860,10200]	3
U <sub>11</sub>	[5100,5440]	1	U <sub>26</sub>	[10200,10540]	2
U <sub>12</sub>	[5440,5780]	0	U <sub>27</sub>	[10540,10880]	3
U <sub>13</sub>	[5780,6120]	0	U <sub>28</sub>	[10880,11220]	1
U <sub>14</sub>	[6120,6460]	1	U <sub>29</sub>	[11220,11560]	0
U <sub>15</sub>	[6460,6800]	2	U <sub>30</sub>	[11560,11900]	2

Universal çoxluğun 7, 9, 11 və 15 sayılı bölgüsünə müvafiq lingvistik termlər istifadə olunaraq proqnozlaşdırma aparılmışdır. Aparılmış proqnozlaşdırma prosesində alınmış proqnoz nəticələrin orta kvadratik xətalərinin müqayisəsi cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3

Müxtəlif implikasiyaların tətbiqi ilə alınmış orta kvadratik xətalərin müqayisəsi

Sistemin ölçüsü	Mənsubiyyət funksiyaları	Qeyri-səlis implikasiyalar					
		Zadə	Lukaşeviç	Goguen	ALİ-1	ALİ-2	ALİ-3
7	Üçbucaq	2876,52	1861,77	-----	1460,76	-----	1217,18
	Zəngformalı	2749,96	1293,46	-----	1632,44	1170,22	1101,64
9	Üçbucaq	2877,23	2157,65	-----	1583,02	-----	1323,74
	Zəngformalı	2651,86	1317,03	-----	2063,89	-----	1156,80
11	Üçbucaq	2877,95	2088,82	-----	2403,61	-----	1750,33
	Zəngformalı	2693,93	1775,37	-----	2122,02	-----	1083,25
15	Üçbucaq	2876,52	1801,13	-----	1680,21	-----	2057,31
	Zəngformalı	2583,09	1333,26	-----	2062,01	-----	1121,83

Cədvəl 3-də xanalarda təsvir olunan “-----” onu göstərir ki, cari qeyri-səlis implikasiya universal çoxluqda aparılmış bölgü ilə qeyri-korrekt nəticə vermişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi, İES-də elektrik enerjisinin istehsalının proqnozlaşdırılması prosesində ALİ-3 qeyri-səlis

implikasiyası digər qeyri-səlis implikasiyalar ilə müqayisədə daha kiçik orta kvadratik xəta vermişdir. Eyni zamanda ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyasının tətbiqi zamanı verilənlərin fəzififikasiyası üçün zəngformalı mənsubiyyət funksiyası istifadə olunarkən, üçbucaqşəkilli mənsubiyyət funksiyası ilə müqayisədə universal çoxluğun bütün bölgələrində daha yaxşı orta kvadratik xəta əldə olunmuşdur. Məhz elə buna görə də, elektrik enerjisinin proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli məqsədilə təklif olunan yeni üsulda da ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyası istifadə olunmuşdur.

### Qeyri-səlis zaman sıralarının tətbiqi ilə elektrik enerjisinin proqnozlaşdırılması üsulu

Qeyri-səlis zaman sıralarının proqnozlaşdırılması üçün təklif olunan üsul İES-də elektrik enerjisi istehsalı üzrə illik statistik göstəricilər istifadə olunmaqla şərh olunur.

**Məsələnin qoyuluşunu** aşağıdakı kimi ifadə etmək olar: cədvəl 1-də verilmiş statistik verilənlər əsasında 2012-ci ildə istehsal olunacaq elektrik enerjisinin miqdarını proqnozlaşdırmaq tələb olunur.

Qeyri-səlis zaman sıralarının proqnozlaşdırılması məqsədilə təklif olunan alqoritmin təsviri 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  $d_{\text{sağ}}=11832+d_{\max}=11900$  kimi təyin olunur. Beləliklə, universal çoxluq  $U = \{1700, 11900\}$  kimi təyin olunur.

**Addım 2.** Təyin olunmuş  $U$ -universal çoxluğu 30 bərabər uzunluqlu intervallara bölünür. Bölgünün nəticəsi cədvəl 2-də təsvir olunmuşdur. Cədvəl 2-dən görüldüyü kimi, burada elə intervallar vardır ki, oraya düşən statistik göstəricilərin sayı 0-a bərabərdir. Ona görə də bu cür intervallar atılır və nəticələr cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4

Son bölgüdən sonra statistik verilənlərin paylanma sıxlığı

İntervalın adı	İnterval	Verilənlərin sayı	İntervalın adı	İnterval	Verilənlərin sayı
$U_1$	[1700,2040]	1	$U_{10}$	[8500,8840]	2
$U_2$	[3400,3740]	1	$U_{11}$	[8840,9180]	2
$U_3$	[4420,4760]	1	$U_{12}$	[9180,9520]	1
$U_4$	[5100,5440]	1	$U_{13}$	[9520,9860]	3
$U_5$	[6120,6460]	1	$U_{14}$	[9860,10200]	3
$U_6$	[6460,6800]	2	$U_{15}$	[10200,10540]	2
$U_7$	[7140,7480]	1	$U_{16}$	[10540,10880]	3
$U_8$	[7820,8160]	1	$U_{17}$	[10880,11220]	1
$U_9$	[8160,8500]	2	$U_{18}$	[11560,11900]	2

**Addım 3.** Bu mərhələdə elektrik enerjisi istehsalı prosesinin statistik göstəricilərini xarakterizə edən linqvistik «Enerji istehsalı» dəyişənini təyin etmək lazımdır. Qeyri-səlis çoxluqlar vasitəsilə təsvir olunan bu linqvistik dəyişənin linqvistik termləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

$A_1=(\text{çox deyil}), A_2=(\text{həmçinin çox deyil}), A_3=(\text{çox}), A_4=(\text{çox çox}), A_5=(\text{ən çox}),$   
 $A_6=(\text{həmçinin çox}), A_7=(\text{həmçinin çox}^2), A_8=(\text{həmçinin çox}^3), A_9=(\text{həmçinin çox}^4),$   
 $A_{10}=(\text{həmçinin çox}^5), A_{11}=(\text{həmçinin çox}^6), A_{12}=(\text{həmçinin çox}^7), A_{13}=(\text{həmçinin çox}^8),$   
 $A_{14}=(\text{həmçinin çox}^9), A_{15}=(\text{həmçinin çox}^{10}), A_{16}=(\text{həmçinin çox}^{11}), A_{17}=(\text{həmçinin çox}^{12}),$   
 $A_{18}=(\text{həmçinin çox}^{13}).$

**Addım 4.** Bu linqvistik kəmiyyətləri – termləri xarakterizə edən qeyri-səlis çoxluqları təyin etmək üçün, əvvəldə qeyd olunduğu kimi, zəngformalı mənsubiyyət funksiyasından istifadə olunmuşdur:

$$\mu(u_1) = \frac{1}{1 + [C * (U - u_1^*)]^2} \quad (11)$$

Burada:

$u_1^*$  – müvafiq intervalların orta nöqtələri;

$U$ – universal çoxluqda statistik verilənlər;

$C$  – sabit ədəddir.

Seçilmiş mənsubiyyət funksiyası istifadə olunmaqla ilkin verilənlərin fəzafikasıyası və bunun nəticəsi olaraq qeyri-səlis zaman sıralarının qurulması prosesi aparılır.

Proqnozlaşdırma modelinin qurulması məqsədilə İES-də elektrik enerjisi istehsalı üzrə 2011-ci ilədək statistik verilənlər götürülmüş və cədvəl 5-də fəzafikasıya təsvir edilmişdir.

Cədvəl 5

İlkin verilənlərin fəzafikasıyası

İllər	Faktiki verilənlər	Linqvistik kəmiyyətlər	İllər	Faktiki verilənlər	Linqvistik kəmiyyətlər
1982	1764	$A_1$	1997	8110	$A_8$
1983	3651	$A_2$	1998	10090	$A_{14}$
1984	4619	$A_3$	1999	10157	$A_{14}$
1985	6689	$A_6$	2000	10863	$A_{16}$
1986	7174	$A_7$	2001	11020	$A_{17}$
1987	8172	$A_9$	2002	10099	$A_{14}$
1988	9154	$A_{11}$	2003	10566	$A_{16}$
1989	9562	$A_{13}$	2004	10236	$A_{15}$
1990	10613	$A_{16}$	2005	10412	$A_{15}$
1991	11832	$A_{18}$	2006	11601	$A_{18}$
1992	9679	$A_{13}$	2007	9662	$A_{13}$
1993	8650	$A_{10}$	2008	9185	$A_{12}$
1994	8650	$A_{10}$	2009	6759	$A_6$
1995	8384	$A_9$	2010	5237	$A_4$
1996	9076	$A_{11}$	2011	6289	$A_5$

**Addım 5.** Fazzifikasiya olunmuş statistik verilənlər əsasında qeyri-səlis münasibətlər matrisi  $A_j \rightarrow A_q$  münasibəti kimi təyin olunur: Yəni,  $(n-1)$ -ci il üçün fazzifikasiya olunmuş verilən  $A_j$  olarsa,  $n$ -ci il üçün fazzifikasiya olunan statistik göstərici  $A_q$  olacaqdır. Qeyri-səlis şərti məntiqi nəticə çıxarma qaydası kimi «ƏGƏR ... ONDA ... ƏKS HALDA ...» qaydası istifadə olunmaqla qeyri-səlis münasibətlər matrisi qurulmuşdur. ALİ-3 implikasiyası halında qeyri-səlis münasibətlər matrisinin qurulması üçün (6) düsturundan istifadə olunmuşdur [9].

Qeyri-səlis münasibətlər matrisinin qurulması məqsədilə istifadə olunan qeyri-səlis münasibətlər cədvəl 6-da təsvir olunmuşdur.

Cədvəl 6

Qeyri-səlis münasibətlər

$A_1 \rightarrow A_2$	$A_1 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_6$	$A_4 \rightarrow A_5$	$A_6 \rightarrow A_4$
$A_6 \rightarrow A_7$	$A_7 \rightarrow A_9$	$A_8 \rightarrow A_{14}$	$A_9 \rightarrow A_{11}$	$A_{10} \rightarrow A_9$
$A_{10} \rightarrow A_{10}$	$A_{11} \rightarrow A_8$	$A_{11} \rightarrow A_{13}$	$A_{12} \rightarrow A_6$	$A_{13} \rightarrow A_{10}$
$A_{13} \rightarrow A_{12}$	$A_{13} \rightarrow A_{16}$	$A_{14} \rightarrow A_{14}$	$A_{14} \rightarrow A_{16}$	$A_{15} \rightarrow A_{15}$
$A_{15} \rightarrow A_{18}$	$A_{16} \rightarrow A_{15}$	$A_{16} \rightarrow A_{18}$	$A_{17} \rightarrow A_{14}$	$A_{18} \rightarrow A_{13}$

**Addım 6.** Proqnoz nəticələrin alınması prosesi «İndirekt» (bilavasitə) adlandırılan qaydada aparılmışdır. Hər bir qeyri-səlis münasibət matrisi üçün ayrı-ayrılıqda Max-Min kompozisiyası yerinə yetirilmiş və alınmış aralıq nəticələr əsasında yekun proqnoz nəticələrin alınması konyunksiya (kəsişmə) əməliyyatı tətbiq olunmaqla əldə olunmuşdur.

ALİ-3 implikasiyası üçün yekun proqnoz qiymətin əldə olunması məqsədilə aralıq qeyri-səlis çoxluqlar üzərində konyunksiya əməliyyatı (10) düsturu vasitəsilə yerinə yetirilmişdir.

**Addım 7.** Seçilmiş statistik göstəricilər əsasında qurulmuş qeyri-səlis münasibətlər matrisləri istifadə olunmaqla aparılan proqnozlaşdırma prosesi nəticəsində alınmış proqnoz nəticələr Maximum prinsipi əsasında defazzifikasiya olunmuşdur və proqnozlaşdırma prosesinin son nəticəsi cədvəl 7-də təsvir edilmişdir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, alınmış proqnoz nəticələrin proqnozlaşdırma xətlərinin hesablanması və müxtəlif qeyri-səlis implikasiyaların tətbiqi ilə alınan proqnoz nəticələrin müqayisə edilməsi məqsədilə orta proqnozlaşdırma xətası (average forecasting error rate - AFER) (12) düsturu əsasında, orta kvadratik xətanın kvadrat kökü (root mean square error - RMSE) isə (13) düsturu əsasında təyin olunmuşdur:

$$AFER = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i| / A_i}{n} \times 100\% \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}} \quad (13)$$



Cədvəl 7

Qeyri-səlis implikasiyalar vasitəsilə hesablanmış enerji istehsalı üzrə proqnoz nəticələri

İllər	Faktiki (Mln Kvt/saat)	Proqnoz			İllər	Faktiki (Mln Kvt/saat)	Proqnoz		
		ALI-1	ALI-3	Lukaşeviç			ALI-1	ALI-3	Lukaşeviç
1982	1764				1998	10090	7687	9146	8601
1983	3651	3587	3570	3720	1999	10157	9297	9720	9720
1984	4619	5440	4930	4916	2000	10863	9297	9720	9720
1985	6689	6599	6375	6825	2001	11020	9720	9720	9893
1986	7174	7402	8141	7411	2002	10099	9066	9720	10066
1987	8172	7395	8556	7803	2003	10566	9297	9720	9720
1988	9154	7461	9318	8601	2004	10236	9720	9720	9720
1989	9562	8742	9720	9065	2005	10412	9297	9720	9720
1990	10613	8917	9720	9720	2006	11601	9520	9720	9720
1991	11832	9720	9720	9720	2007	9662	9164	9720	10241
1992	9679	8908	9720	10481	2008	9185	8917	9720	9720
1993	8650	8917	9720	9720	2009	6759	6599	6970	7411
1994	8650	7217	9318	9720	2010	5237	6599	6375	6825
1995	8384	7217	9318	9720	2011	6289	7072	6970	6825
1996	9076	7623	9318	8742	2012	8127	7526	7747	7411
1997	8110	8284	9720	9065					

Cədvəl 7-də təsvir olunan qeyri-səlis implikasiyalar tətbiq olunmaqla alınmış proqnoz nəticələr üçün xətlərin müqayisəsi isə cədvəl 8-də verilmişdir.

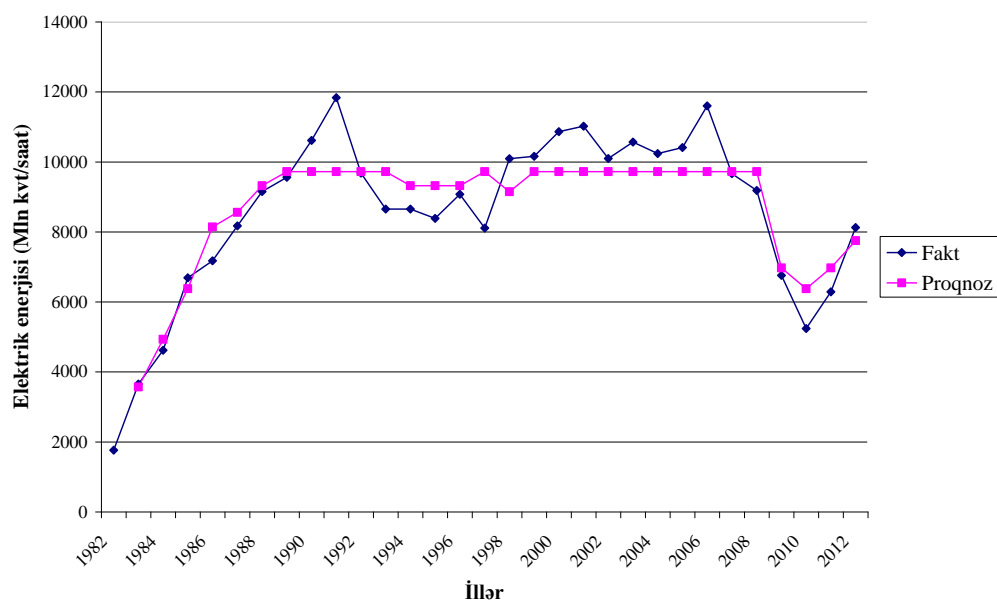
Cədvəl 8

Proqnozlaşdırma prosesində alınmış nəticələrin xətlərinin müqayisəsi

Xəta	ALI-1	ALI-3	Lukaşeviç
Orta proqnozlaşdırma xətası - AFER	10,83%	7,94%	8,84%
Orta kvadratik xətanın kvadrat kökü - RMSE	1166,03	878,80	934,69

ALI-3 qeyri-səlis implikasiyası əsasında İES-də elektrik enerjisi istehsalı üzrə aparılmış proqnozlaşdırma prosesində faktiki və proqnoz göstəricilərin qrafik təsviri isə şəkil 1-də göstərilmişdir.

### İES-də elektrik enerjisi istehsalı



Şəkil 1. Faktiki və proqnoz qiymətlərin qrafik təsviri

### Nəticə

Məqalədə qeyri-səlis zaman sıraları əsasında enerji istehsalının proqnozlaşdırılması üçün yeni üsul təklif olunmuşdur. Təklif olunan üsul birtərtibli zamana görə dəyişməyən (time-invariant) qeyri-səlis zaman sıraları modeli üçün nəzərdə tutulmuşdur. ALİ-3 qeyri-səlis implikasiyası əsasında İES-də elektrik enerjisinin istehsalı üzrə orta proqnozlaşdırma xətası (AFER) – 7,94%, orta kvadratik xətanın kvadrat kökü – 878,80 və konkret olaraq 2012-ci il üçün orta proqnozlaşdırma xətası (AFER) – 4,68% olmuşdur.

### Ədəbiyyat

1. Song Q., Chissom B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems, 1993, no.54, pp. 269–277.
2. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part I // Fuzzy Sets and Systems, 1993, no.54, pp.1–9.
3. Song Q., Chissom B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series part II // Fuzzy Sets and Systems, 1994, no.62, pp. 1–8.
4. Chen S.M. Forecasting enrollments based on fuzzy time series // Fuzzy Sets and Systems, 1996, no.81, pp.311–319.
5. Huarng K. Heuristic models of fuzzy time series for forecasting // Fuzzy Sets and Systems, 2001, no.123, pp. 369–386.
6. Chen S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems, An International Journal, 2002, no.33, pp.1–16.
7. Ахмедов М.З. Новый вариант решения проблемы прогнозирования с помощью нечетких временных рядов // Известия НАН Азербайджана, том 21, Информатика и проблемы управления, № 3, Баку, 2001, с. 96–104.
8. Мамедова М.Г., Джабраилова З.Г. Применение нечеткой логики в демографическом прогнозе // Информационные технологии, 2004, № 3, с. 75–83.
9. Əliyev R.Ə., Əliyev R.R. Soft kompüter (nəzəriyyə, texnologiya və praktika): Ali məktəblər üçün dərslik, Bakı: Çarşıoğlu, 2004, 617 s.

**UOT 620.9:005; 004.021**

**Ахмедов Мохуббат З.**

Мингячевирский Политехнический Институт, Мингячевир, Азербайджан

[m\\_axmedov@mail.ru](mailto:m_axmedov@mail.ru)

**Прогнозирование производства электрической энергии с применением нечетких временных рядов**

В статье предлагается новый метод для решения проблемы прогнозирования производства электрической энергии на основе нечетких временных рядов. В предложенном методе для формирования матрицы нечетких отношений и получения прогнозируемых значений используется нечеткая импликация АЛИ-3. Для представления хронологических данных в виде нечетких множеств была применена колоколообразная функция принадлежности, и для формирования матрицы нечетких отношений используется условное нечеткое правило вывода со структурой ЕСЛИ... ТОГДА... ИНАЧЕ ... На основе предложенного метода даны прогнозные результаты, обоснована эффективность применения данного метода.

***Ключевые слова:** нечеткое множество, нечеткое отношение, функция принадлежности, нечеткие временные ряды, нечеткая импликация.*

**Mohubbat Z. Akhmedov**

Mingechevir Politechnical Institute, Mingechevir, Azerbaijan

[m\\_axmedov@mail.ru](mailto:m_axmedov@mail.ru)

**Forecasting of electrical energy production with fuzzy time series application**

In this paper a new method for handling production electrical energy based on fuzzy time series is proposed. In the proposed method for fuzzy relation matrice formation and to get forecasting values a fuzzy implication of ALI-3 is used. For describing chronological data as fuzzy sets Bell membership function is applied and for formation of fuzzy relation matrice fuzzy rule with structure IF... THEN... ELSE.... is used. On the basis of suggested methods the forecasting results are given, and efficiency of methods application is conditioned.

***Key words:** Fuzzy set, fuzzy relation, membership function, fuzzy time series, fuzzy implication.*