

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**QEYRİ-SƏLİS ZAMAN SİRALARININ  
PROQNOZLAŞDIRILMASI ÜÇÜN ÜSUL VƏ  
ALQORİTMLƏRİN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 3338.01 – “Sistemli analiz, idarəetmə və  
informasiyanın işlənməsi”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Pərvin Elçin qızı Əlizadə**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2024**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Texnika elmləri doktoru, professor  
**Ramin Rza oğlu Rzayev**

Rəsmi opponetlər: Texnika elmləri doktoru, professor  
**Fazil Həzin oğlu Ələkbərli**

Texnika elmləri doktoru, dosent  
**Kəmalə Rafiq qızı Əliyeva**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Rahib Aydın oğlu İmamquliyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəznində fəaliyyət göstərən ED 2.48 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmləri doktoru, professor  
**Rafiq Əziz oğlu Əliyev**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Akil Vəlif oğlu Əlizadə**

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, professor  
**Məhəmməd Nurməhəmməd oğlu Nuriyev**



## İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Sosial-iqtisadi sistemlərin əsas xüsusiyyəti onların dəyişkən dinamika ilə səciyyələndirilən mürəkkəb davranışlarıdır. Buna görə də sosial-iqtisadi sistemlərin davranışlarına uyğun zaman sıralarının yüksək dərəcədə qeyri-müəyyənlik ilə xarakterizə olunması təəccüblü deyil. Qeyri-müəyyənliyin əsas səbəbləri tədqiq olunan proseslərin qeyri-stasionarlığı, müşahidələrin qeyri-kafi müddəti və dəqiqliyi, habelə nəzərə çarpmayan trend və/və ya sadəcə müşahidə olunmayan inkişaf tendensiyasıdır. Zaman sırasının davranışının dəyişkənliyində sadalanan xüsusiyyətlərin olması, dinamik sıraların öyrənilməsinin qeyri-xətti dinamikanın müxtəlif üsullarını tətbiq etməklə getdikcə daha çox nəzərə alınmasının səbəblərini müəyyənləşdirir: xaos nəzəriyyəsi və fraktal həndəsə, qeyri-səlis məntiq və qeyri-səlis çoxluq nəzəriyyəsi, neyron şəbəkələri və hibrid modelləşdirmə<sup>1</sup> sistemləri nəzəriyyələri.

Qeyri-səlis paradigmada zaman sıralarının proqnozlaşdırılması yüksək proqnozlaşdırma dəqiqliyini iddia etmir və əsasən əmək bazarındakı tendensiyaların proqnozlaşdırılması kimi qısamüddətli planlaşdırma üçün tətbiq olunur. Qeyri-səlis zaman sıraları daha çox öyrənilən sistemin davranış dinamikası haqqında keyfiyyətli məlumatların formalaşmasına yönəldilir və verilənlərin intellektual analizi (data mining) vasitələrindən biri kimi qərar qəbulətmə üçün məlumat dəstəyi verir. Başqa sözlə, qeyri-səlis zaman sıraları, əsas istiqamətləri qeyri-müəyyənlik şəraitində baş verən proseslərin, o cümlədən qeyri-stoxastik tipli qeyri-müəyyənliklərin təhlili və modelləşdirilməsi; gizli qanunauyğunluqların aşkarlanması və yeni

---

<sup>1</sup>Минаев Ю.М., Филимонова О.Ю., Бенамеур Лиес. Методы и алгоритмы решения задач идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейро-сетевом логическом базисе. М.: Горячая линия-Телеком, 2003. 205 с.

biliklərin tərtib edilməsi (məsələn, proqnozlaşdırılan zaman sıraları<sup>2</sup> şəklində) olan Data Mining texnologiyasının tərkib hissəsinə çevrilmişdir.

Beləliklə, kontekst verilənlərin tədqiqi və onlar arasındakı qanunauyğunluqların öyrənilməsi üsullarının təhlili yeni praktik istiqaməti - verilənlərin mədənciliyini və ya Data Miningi formalaşdırmışdır. Son iki onillikdə bir sıra xarici alimlərin, məsələn, K. Xirota, X. Tanak, V. Pedrix və J. Kaprjikin söyləri ilə qeyri-səlis reqressiya və qeyri-səlis zaman sıralarının verilənlərinin təhlili üsulları tədqiq edilmişdir. Azərbaycanlı alimlər arasında ilk növbədə R. Əliyevin, Q. İmanovun, R. Rzayevin qeyri-müəyyənlik şəraitində sosial-iqtisadi sistemlərin davranışının öyrənilməsi sahəsində mühüm töhfələr vermiş əsərlərini qeyd etmək lazımdır.

Qeyri-səlis zaman sıraları nəzəriyyəsinin baniləri qeyri-səlis münasibətlər və təxmini nəticə çıxarma<sup>3</sup> texnikasından istifadə etməklə zəif strukturlaşdırılmış dinamik sıraların proqnozlaşdırılması metodologiyasını təklif edən K.Song və B.Çissomdur. Daha sonra bu istiqamət, ilk növbədə, qeyri-səlis modelləri hesablamaları əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirən S.Çenin<sup>4</sup>, N.Kumar<sup>5</sup>, K.Çenq<sup>6</sup>, C.Poulsen<sup>7</sup> və başqalarının söyləri ilə sürətlə inkişaf etmişdir. Onların qeyri-səlis zaman sıralarının proqnozlaşdırılmasına təklif etdikləri

---

<sup>2</sup> Батыршин И.З. Модели и методы перцептивного дата майнинга временных рядов для систем поддержки принятия решений // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Т. 2. – 2007. – №1.

<sup>3</sup> Song Q., Chissom B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems. 1993. №54. pp. 269–277.

<sup>4</sup> Chen S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems: An International Journal. 2002. № 33. pp. 1–16.

<sup>5</sup> Kumar N., Ahuja S., Kumar V., Kumar A. Fuzzy time series forecasting of wheat production // International Journal on Computer Science and Engineering. 2010. Vol. 2, № 3. pp. 635–640.

<sup>6</sup> Cheng C.H., Chang J.R., Yen C.A. Entropy-based and trapezoid fuzzification fuzzy time series approaches for forecasting IT project cost // Technological Forecasting & Social Change. 2006. № 73. pp. 524–542.

<sup>7</sup> Poulsen, J.R.: Fuzzy time series forecasting – developing a new forecasting model based on high order fuzzy time series. – AAUE: CIS 4, 2009. – 67 p.

yanaşmalar tarixi verilənlərin fazifikasiyası və qeyri-səlis proqnozlaşdırıcı modellərin çıxışlarının defazifikasiyası qaydaları ilə fərqlənir.

Qeyri-səlis paradıqmada zaman sıralarının təhlili üsulları artıq müxtəlif idarəetmə sahələrində qərar qəbul etməni dəstəkləmək üçün interaktiv modellərin (simulyasiyaların) kitabxanalarının yaradılması üçün əsas olmaq hüququnu qazanmışdır. Bununla belə, əldə edilmiş nəticələrə baxmayaraq, qeyri-səlis zaman sıralarının təhlilində bir çox məsələlər, xüsusən də daxili qeyri-səlis tendensiyaların aşkarlanması və onların tanınması üçün qaydaların generasiya edilməsi məsələləri həll edilməmiş qalır. Yuxarıda göstərilənlər sayəsində, qeyri-səlis zaman sıralarına əsaslanan zəif strukturlaşdırılmış sistemlərin davranışının proqnozlaşdırılması üzrə alətlərin gələcək inkişafı üçün sadalanan xüsusiyyətlərin əhəmiyyəti və aktuallığı aydın olur.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin əsas məqsədi zəif strukturlaşdırılmış zaman sıralarının qeyri-səlis tendensiyaların proqnozlaşdırıcı imkanlarının öyrənilməsi, tarixi verilənlərin fazifikasiyası və qeyri-səlis proqnozların defazifikasiyası üçün yeni qaydaların işlənilib hazırlanması, habelə dəyişkən zaman sıralarının proqnozlaşdırılması üçün müvafiq adekvat riyazi modelin qurulmasıdır.

Bu məqsədə çatmaq üçün Dou Cons sənaye indeksindəki dəyişikliklərin dinamikası nümunəsində bir ildən çox müddətdə aşağıdakı mürəkkəb məsələlərin həlli planlaşdırılır:

- zaman sıralarının tarixi verilənlərinin fazifikasiyasının mövcud üsullarının müqayisəli təhlilinin aparılması, onların imkanlarının və çatışmazlıqlarının müəyyənəşdirilməsi;
- həm sabit ixtiyari keyfiyyət qiymətləndirmə meyarları dəsti halında, həm də onların kəmiyyətinin əğlabatan seçimi halında zəif strukturlaşdırılmış tarixi verilənlərinin fazifikasiyası üçün yeni qaydanın işlənilib hazırlanması;
- zaman sıralarının qeyri-səlis tendensiyalarının müəyyən edilməsi texnikasının və qeyri-səlis tendensiyaların zaman sıralarının təhlili metodikasının qurulması;

- ilkin zaman sırasından qeyri-səlis zaman sırasının bərpası alqoritminin və nominal qiymətlərdə sıra generasiya etmək üçün tərs alqoritmin işlənilib hazırlanması;
- daxili qeyri-səlis tendensiyalar haqqında biliklərin implikativ qaydalar şəklində kompilyasiya edilməsi metodunun işlənilib hazırlanması;
- zaman sıralarının bərpası və proqnozlaşdırılması üçün tarixi verilənlərin emalı alətii şəklində proqram örtüyünün işlənilib hazırlanması və reallaşdırılması;
- zaman sıralarını nominal qiymətlərdə proqnozlaşdırılması üçün neyro-şəbəkə modelinin işlənilib hazırlanması.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı dəyişkən qeyri-səlis zaman sıraları, tədqiqatın predmeti isə zaman sıralarının daxili qeyri-səlis qanunauyğunluqlarının aşkar edilməsi üsulları və qeyri-səlis tendensiyaların zaman sıralarının modelləşdirilməsi üsullarıdır.

**Tətbiq olunan tədqiqat metodikası.** Dissertasiya işini hazırlayarkən dialektik metod, kompleks analiz, sintez və s. kimi ümumi elmi tədqiqat metodlarından, respublika və xarici alimlərin əsərlərində təqdim olunan qeyri-müəyyənlik şəraitində qərar qəbul etmə problemləri ilə bağlı fundamental və tətbiqi tədqiqatların mövcud inkişaflarını nəzərə alan sistemli və formal-məntiqi yanaşmaları nəzərdə tutan xüsusi elmi metodlardan istifadə edilmişdir. Dissertasiya işinin nəzərdə tutulan məqsədi və əsas vəzifələri kəmiyyət və keyfiyyət kateqoriyalarından, statistik təhlil və ümumiləşdirmədən istifadə edərək hesablamaların üzvi olmasını təmin edən fənlərarası bir yanaşmanın tətbiq edilməsinin zəruriliyini əvvəlcədən müəyyən etmişdir. Eyni zamanda, müəyyən edilmiş elmi müddəaların təhlili və metodoloji aparatın tətbiqi – qeyri-səlis məntiqin elementləri və qeyri-səlis çoxluqların müasir nəzəriyyəsi, riyazi statistika metodları, neyron şəbəkələri nəzəriyyəsi, konkret nümunələrdə sübut bazası yaradır və nəticələrin etibarlılığını təmin edir.

Dissertasiya tədqiqatının nəzəri və informasiya-empirik bazası Internetin açıq mənbələrindən əldə edilmiş bir sıra statistik verilənlərdən, aparıcı respublika və xarici alimlərin mövzu sahəsindəki işlərindən ibarətdir. Onların təmsilçi toplusu praktik tövsiyələrin əsaslandırılmış etibarlılığını təmin etmişdir.

**Dissertasiya işinin nəticələrinin etibarlılığı.** Elmi müddəaların, nəticələrin və tövsiyələrin etibarlılığı təcrübələrin nəticələri, habelə dissertasiya materiallarından istifadənin nəticələri və tətbiq aktına uyğun olaraq ixtisaslaşdırılmış təşkilatda hazırlanmış tətbiqi metodologiya ilə təsdiqlənir.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.**

- Qeyri-səlis qanunauyğunluqların zaman sıraları, lingvistik dəyişlərin term vasitələri ilə keyfiyyət kateqoriyalarında təsvir olunan birjada simulyasiya edilmiş bir prosesin dəyişkən inkişafının effektiv göstəricisidir.
- Qeyri-səlis qanunauyğunluqların işlənməsinin əsas əməliyyatları daxili qeyri-səlis əlaqələrin işlənməsi alqoritmləridir, yəni ilkin zaman sıralarına görə qeyri-səlis zaman sıraları bərpa etmək üsulu və müəyyən edilmiş qeyri-səlis tendensiyaların əks olunması kimi nominal kəmiyyətlərdə zaman sıralarını kompilyasiya etmək üçün tərs əməliyyatdır.
- Təklif olunan topologiyanın üç qatlı neyron şəbəkəsi, tarixi verilənlərin qeyri-səlis tendensiyalarının defazifikasiya olunmuş qiymətləri şəklində ifadə olunan qeyri-səlis tendensiyaların proqnozlaşdırılması qaydalarının effektiv kompilyatorudur.
- Qeyri-səlis tendensiyaların zaman sıralarına əsaslanan hazırlanmış proqnoz modeli qısamüddətli dövr üçün dəyişkən zaman sıralarını proqnozlaşdırmağa imkan verir.
- Seçilmiş topologiyanın işlənilib hazırlanmış neyroşəbəkə modeli qısamüddətli dövr üçün dəyişkən zaman sıralarını proqnozlaşdırmağa imkan verir.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.** Dissertasiyanın işinin elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

- Qeyri-səlis paradigmada zaman sıralarının tərifı təklif edilmiş və daxili qeyri-səlis tendensiyaların tanınması üçün yeni metod işlənilib hazırlanmışdır.
- İlkin zaman sıralarının tarixi verilənlərinə görə qeyri-səlis zaman sıralarının bərpası əməliyyatı və nominal kəmiyyətlərdə sıranın generasiyasının tərs əməliyyatı da daxil olmaqla daxili qeyri-səlis tendensiyaların işlənməsi üçün alqoritmlər işlənilib hazırlanmışdır.
- Qeyri-səlis nəticə çıxarma sistemindən istifadə edərək zəif strukturlaşdırılmış verilənlərin fazifikasiyası metodu təklif edilmişdir.
- Daxili qeyri-səlis qanunauyğunluqlar haqqında biliklərin implikativ qaydalar şəklində və neyro-şəbəkə modelindən istifadə etməklə kompilyasiya edilməsi üsulu təklif edilmişdir.
- Qeyri-səlis tendensiyaların zaman sıraları əsasında, qısamüddətli dövr üçün dəyişkən zaman sıralarını proqnozlaşdırmağa imkan verən proqnozlaşdırma modeli işlənilib hazırlanmışdır.
- Qeyri-səlis tendensiyaların zaman sıraları və neyro-şəbəkə tanıma metodları əsasında tərtib edilmiş proqnozlaşdırıcı modellərin effektivliyi orta qiymətləndirmə meyarlarından istifadə etməklə tədqiq edilmişdir.

**Tədqiqatın elmi və praktiki əhəmiyyəti.** İşlənilib hazırlanmış metodlar və alqoritmlər potensial istifadəçilərə təkmilləşdirilmiş keyfiyyət xarakteristikaları ilə dəyişkən zaman sıralarının proqnozlaşdırıcı modellərini yaratmağa və bununla da əməliyyat qərarlarının qəbul edilməsinə sərf olunan vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verir.

**Tədqiqatın aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiyanın əsas müddəaları və nəticələri sadalanan konfranslarda məruzə edilmiş, müzakirə edilmiş və bəyənilmişdir:

- the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, COIA – 2020 (2020, Baku, Azerbaijan).

- the 14th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools, ICAFS – 2020 (2020, Budva, Montenegro).
- the 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words, Perception and Artificial Intelligence ICSCCW-2021, (2021, Antalya, Turkey).
- the 8th World Conference on Soft Computing dedicated to the 100th Birthday anniversary and research heritage of professor Lotfy A. Zadeh (2022, Baku, Azerbaijan).
- the Future of Information and Communication Conference, FICC – 2022 (2022, San Francisco, USA).
- the Intelligent Systems Conference, IntelliSys – 2023, (2023, Amsterdam, The Netherlands).

Habelə Bakı Dövlət Universitetinin “Tətbiqi riyaziyyat və kibernetika fakültəsinin “İnformasiya texnologiyaları və proqramlaşdırma” kafedrasının və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun “Qərarların qəbul edilməsini dəstəkləyən informasiya sistemləri” laboratoriyasının genişləndirilmiş seminarlarında məruzə edilmiş, müzakirə edilmiş və təsdiq edilmişdir.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat.** Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin “Tətbiqi riyaziyyat və kibernetika” fakültəsinin “İnformasiya texnologiyaları və proqramlaşdırma” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiya işinin nəticələrinin nəşri.** Dissertasiya mövzusunda 17 əsər, o cümlədən 8 tezis-məruzə və 9 məqalə, o cümlədən 6 məqalə xaricdə nəşr olunmuşdur ki, bunlardan 5 məqalə Web-Science və SCOPUS arxivindən beynəlxalq elmi indeksləri olan jurnallarda dərc edilmişdir.

**Şəxsi töhfə.** Dissertasiyanın məzmununu təşkil edən bütün nəticələr müəllif tərəfindən müstəqil olaraq əldə edilmişdir.

**Dissertasiya işinin quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, 3 fəsil, nəticə və istifadə olunan ədəbiyyatın siyahısından ibarətdir. Əsər

yazılı mətnin 123 səhifəsində təsvir edilmişdir, 68 şəkil və 15 cədvəl i ehtiva edir, giriş, üç fəsil, nəticə, 100 addan ibarət ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi və struktur bölmələrinin həcmi təxminən aşağıdakı kimi paylanılır:

- ümumi – 235 119 şərti işarə
- mündəricat – 1 819 şərti işarə
- giriş – 12 749 şərti işarə
- birinci fəsil – 27 482 şərti işarə
- ikinci fəsil – 137 525 şərti işarə
- üçüncü fəsil – 54 552 şərti işarə
- nəticə – 992 şərti işarə

### İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Dissertasiyanın "**Giriş**" hissəsində tədqiqatın aktuallığı izah olunur, onun əsas məqsədi formalaşdırılır və bu məqsədin həyata keçirilməsi üçün zəruri olan tapşırıq və yanaşmaların siyahısı verilir, işin quruluşu və məzmunu, habelə müdafiə üçün alınan nəticələr təsvir olunur.

**Birinci fəsildə** dinamik sıraların təhlilinin müasir metodları nəzərdən keçirilir. Lakonik formada zaman sıralarının modelləşdirilməsi üçün statistik və intellektual metodların mövcud imkanları və məhdudiyyətləri təsvir edilmişdir. Beləliklə, zaman sıralarının konseptual statistik modeli ümumi formada aşağıdakı kimi təqdim olunur<sup>8</sup>:

$$x(t)=\lambda \cdot f(t)+\psi \cdot \varepsilon_t+\xi_t,$$

burada tarixi verilən  $x(t)$  bəzi sistematik  $f(t)$  və təsadüfi  $\varepsilon_t$  komponentlərin cəmi kimi qəbul edilir;  $\lambda$  və  $\psi \in \{0, 1\}$  çoxluğundan qiymətləri qəbul edən əmsallardır;  $\xi_t$  – sıfır riyazi gözləməli və sonlu dispersiya ilə təsadüfi səhvdır. Eyni zamanda, statistik analizin

---

<sup>8</sup> Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М.: Мир, 1976. – 757 с.

alətlərinin müxtəlifliyinə baxmayaraq, verilənlərin ekstrapolyasiyasının etibarlılığını və modelin davranışının ilkin zaman sıralarının davranışına uyğunluğunu təmin edən proqnozlaşdırıcı modelləri uğurla qurmaq heç də həmişə mümkün olmur.

Neyroşəbəkə modelləşdirmə, zaman sıraları tarixindən əvvəlcədən qurulmuş təlim nümunələrinə görə çoxdəyişənli qeyri-xətti kəsilməz funksiyanın approksimasiyası məsələsinin həllinə gətirilir. Ümumi şəkildə zaman sırasının neyro-şəbərə modeli aşağıdakı formada görünür<sup>9</sup>:

$$\hat{y}_{k+1} = \phi(y_k, y_{k-1}, \dots, y_{k-n+1}) + \varepsilon_{k+1},$$

burada  $\hat{y}_{k+1}$  proqnozdur;  $y_k, y_{k-1}, \dots, y_{k-n+1}$  zaman sıralarının müşahidə olunan qiymətləri;  $\phi$  – parametrik modeli, məsələn, üç qatlı neyron şəbəkəsi kimi xidmət edə bilən  $(n-1)$  dəyişənin qeyri-xətti kəsilməz funksiyası;  $\varepsilon_{k+1}$  – icazə verilən proqnoz xətası;  $n$  – model sırası tərtibi.

Zəif strukturlaşdırılmış və mürəkkəb proseslərin idarə edilməsi və modelləşdirilməsi üçün tətbiq olunan qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsinin istifadəsinə xüsusi diqqət yetirilir. Qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsinin əsas müddəaları izah olunur və qeyri-səlis zaman sıralarının modelləri təsvir olunur. Qeyri-səlisliyin təqdim edilməsi üçün başlanğıc nöqtəsi, zaman sıralarının modelləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması halında tarixi verilənlərin əhatə dairəsi olan bir universumun qurulmasıdır

$$d = [D_{\min} - D_1; D_{\max} + D_2],$$

burada  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$  – müvafiq olaraq, zaman sırasının verilənləri arasında minimum və maksimum qiymətlərdir;  $D_1 > 0$  və  $D_2 > 0$   $d$  parçanın bərabər  $u_j$  intervallarına bölünməsinin hesablanmasından seçilmiş qiymətləndirmə meyarlarının  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sayına uyğun olaraq

<sup>9</sup> Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М.: Мир, 1976. – 757 с.

seçilir ki, bunlar ümumi olaraq aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar formasında verilir:

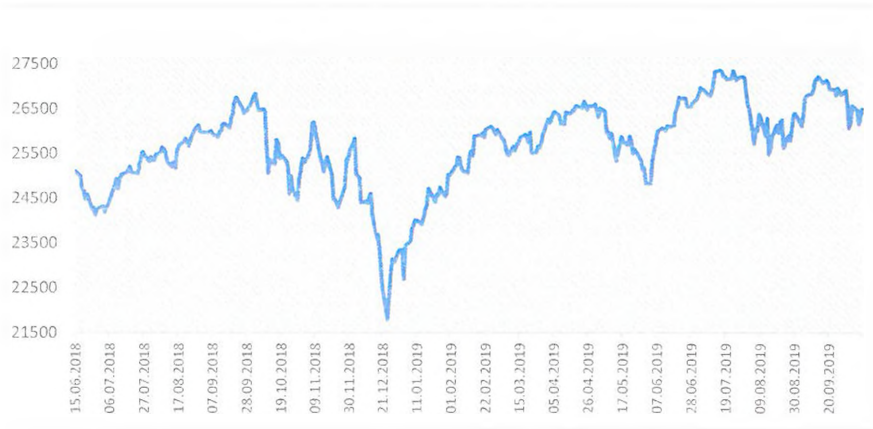
$$\begin{aligned} C_1 &= \mu_{C1}(u_1)/u_1 + \mu_{C1}(u_2)/u_2 + \dots + \mu_{C1}(u_n)/u_n, \\ C_2 &= \mu_{C2}(u_1)/u_1 + \mu_{C2}(u_2)/u_2 + \dots + \mu_{C2}(u_n)/u_n, \\ &\dots \\ C_n &= \mu_{Cn}(u_1)/u_1 + \mu_{Cn}(u_2)/u_2 + \dots + \mu_{Cn}(u_n)/u_n, \end{aligned}$$

burada  $\mu_{Cj}(u_j) \in [0, 1]$  ( $i, j=1 \div n$ ) –  $u_j$  intervalının qeyri-səlis  $C_i$  çoxluğuna mənsubiyyət funksiyasının qiymətləridir.

Dissertasiya işinin tədqiqat obyekti Dou Cons sənaye indeksinin (DJIA - Dow Jones Industrial Average)  $\{x(t)\}$  ( $t=1 \div T$ ) zaman sırasıdır (şəkil 1), burada  $x(t)$  zəif strukturlaşdırılmış verilənlər və ya qeyri-səlis çoxluq  $A_j$  ( $j=1 \div J$ ) kimi qəbul edilir, kartej [1] ilə xarakterizə olunur:

$$\{x(t)/\mu_{A_j}[x(t)]\}, \mu_{A_j}[x(t)]: U \rightarrow [0, 1],$$

burada  $U$  DJIA göstəricilərinin diapazonunu örtən diskret universumdur.



Şəkil 1. DJIA zaman sırası

Əsas məsələ, DJIA  $\{x(t)\}$  zaman sıralarını qeyri-səlis çoxluqlar baxımından daha adekvat şəkildə bərpa etməyə imkan verən və bununla da nominal vahidlərdə proqnozlaşdırma üçün daha adekvat sıranın riyazi modelini qurmağa imkan verən DJIA göstəricilərinin fəzifikasiya metodunu işləyib hazırlamaqdır.

**İkinci fəsildə** trivial ifadələr<sup>10</sup> üzərində qurulmuş Fuzzy Inference System (FIS) sisteminin tətbiqinə əsaslanan tarixi verilənlərin fəzifikasiyasına bir yanaşma təklif olunur:

$e_1$ : "DJIA indeksi  $u_1$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti həddindən artıq aşağıdır";

$e_2$ : "DJIA indeksi  $u_2$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti çox aşağıdır";

$e_3$ : "DJIA indeksi  $u_3$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti nisbətən aşağıdır";

$e_4$ : "DJIA indeksi  $u_4$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti aşağıdır";

$e_5$ : "DJIA indeksi  $u_5$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti yüksəkdir";

$e_6$ : "DJIA indeksi  $u_6$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti nisbətən yüksəkdir";

$e_7$ : "DJIA indeksi  $u_7$  parçasının ortasına yaxın yerləşirsə, onun qiyməti çox yüksəkdir";

$e_8$ : "DJIA indeksi  $u_8$  parçasının ortasına yaxındırsa, onun qiyməti həddindən artıq yüksəkdir."

Bu ifadələrin səbəb-nəticə əlaqələrini əks etdirən təhlili, giriş xarakteristikasını " $U_j$  PARÇASININ ORTASINA YAXIN" ( $j=1\div 8$ ):  $u_1=[21771, 22471]$ ,  $u_2=[22471, 23171]$ , ...,  $u_8=[26671, 27371]$  termləri şəklində qiymətləri qəbul edən linqvistik  $x$ ="DJIA indeksinin lokalizasiyası" dəyişəni şəklində və "HƏDDİNDƏN ÇOX AŞAĞI", "ÇOX AŞAĞI", "NİSBƏTƏN AŞAĞI", "AŞAĞI", "YÜKSƏK",

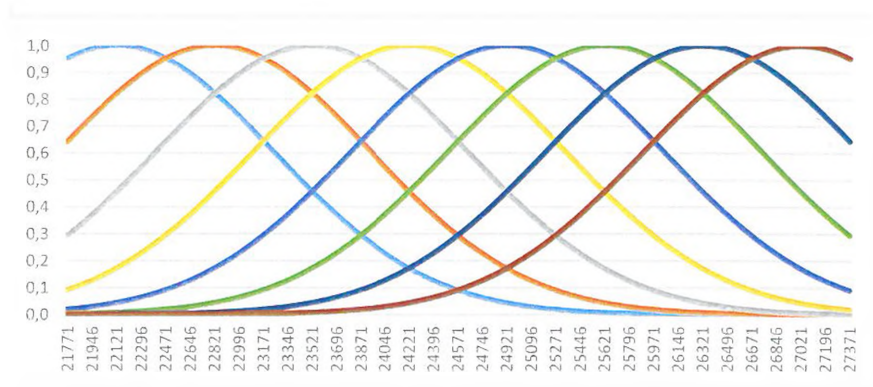
---

<sup>10</sup> Alizada P.E. Conversion of volatile time series into a fuzzy time series by the example of the Dow Jones index dynamics. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 362, pp. 662–670, 2022

“NİSBƏTƏN YÜKSƏK”, “ÇOX YÜKSƏK”, “HƏDDİNDƏN ÇOX YÜKSƏK” termləri şəklində qiymətləri qəbul edən çıxış linqvistik  $y = \text{"DJIA indeksinin kəmiyyəti"}$  dəyişəni şəklində müəyyənləşdirməyə imkan verdi.  $u_j$  ( $j=1\div 8$ ) lokal parçasına mənsubiyyətinə görə DJIA  $x(t)$  indeksinin lokalizasiyasının şifahi qiymətləndirmələri  $U=[21771, 27371]$  diskret universumun qeyri-səlis alt çoxluqları kimi göstərilir. Bu çoxluqların tərkibində  $U = \{x(t)\}_{t=1}^{333}$  birjasında 333 gün ərzində DJIA indeksinin fəaliyyəti əks etdirilir. Mənsubiyyət funksiyası olaraq Qauss tipli funksiya tətbiq olunur (şəkil 2.)

$$\mu(x) = \exp [-(x_i - u_{j0})^2 / \sigma^2], \quad (1)$$

burada  $x_t = x(t)$  –  $t$ -ci gündə birjada aparılan hərracların nəticələrinə əsasən müəyyən edilmiş DJIA indeksinin göstəricisi;  $u_{j0} = u_j$  ( $j=1\div 8$ ) intervalının ortası;  $\sigma = 500$  ədədi şəklində bütün hallar üçün vahid olaraq seçilmiş standart sapmadır.



Şəkil: 2. DJIA indeksinin lokalizasiya dərəcəsinə əks etdirən qeyri-səlis çoxluqların mənsubiyyət funksiyaları

$u_j$  parçalarının ortalarını aşağıdakı kimi müəyyənləşdirməklə:  
 $u_{10}=22121$ ,  $u_{20}=22821$ , ...,  $u_{80}=27021$ , (1)-ə görə DJIA indeksinin  
 lokalizasiya əlamətləri  $x_t = x(t)$  ( $t = 1 \div 333$ ) aşağıdakı kimi şərh edilə  
 bilər:

- «22121-ə YAXINLIQ» qeyri-səlis çoxluq şəklində:  
 $X_1=0.952181/x_1+0.958630/x_2+\dots+0.000793/x_{332}+0.000472/x_{333}$ ;
- «22821-ə YAXINLIQ» qeyri-səlis çoxluq şəklində:  
 $X_2=0.643393/x_1+0.656883/x_2+\dots+0.006941/x_{332}+0.004497/x_{333}$ ;  
 .....
- «27021-ə YAXINLIQ» qeyri-səlis çoxluq şəklində:  
 $X_8=0.000016/x_1+0.000018/x_2+\dots+0.833393/x_{332}+0.895873/x_{333}$ .

“DJIA İndeksinin Kəmiyyəti” çıxış lingvistik dəyişəninin termləri  
 diskret universumun qeyri-səlis alt çoxluqları şəklində təsvir  
 edilmişdir  $I = \{0, 0.1, 0.2, \dots, 1\}^{11}$ , yəni,  $\forall i \in I$  kimi:  $TL=HƏDDİNDƏN$   
 $\text{ÇOX AŞAĞI}$ ,  $\mu_{TL}(i)=0$ ,  $i=1$  və  $\mu_{TL}(i)=1$  olduqda,  $i<1$  olduqda;  $VL=\text{ÇOX}$   
 $\text{AŞAĞI}$ :  $\mu_{VL}(i)=(1-i)^2$ ;  $ML = \text{NİSBƏTƏN AŞAĞI}$ :  $\mu_{ML}(i)=(1-i)^{(1/2)}$ ;  
 $L=\text{AŞAĞI}$ :  $\mu_L(i)=1-i$ ;  $H=\text{YÜKSƏK}$ :  $\mu_H(i)=i$ ;  $MH=\text{NİSBƏTƏN YÜKSƏK}$ :  
 $\mu_{MH}(i)=i^{(1/2)}$ ;  $VH=\text{ÇOX YÜKSƏK}$ :  $\mu_{VH}(i)=i^2$ ;  $TH=HƏDDİNDƏN \text{ÇOX}$   
 $\text{YÜKSƏK}$ ,  $\mu_{TH}(i)=1$ ,  $i=1$  və  $\mu_{TH}(i)=0$ ,  $i<1$  olduqda.

Lukaseviçin qeyri-səlis implikasiyasının tətbiqi nəticəsində

$$\mu_w(u, i) = \min\{1, 1 - \mu_\lambda(u) + \mu_\lambda(i)\}, \quad (2)$$

qeyri-səlis münasibətlər  $R_1, R_2, \dots, R_8$   $333 \times 11$  ölçülü matrislər  
 şəklində müəyyən edilir. Onların kəsişməsi  $R=R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_8$  ümumi  
 funksional həllini aşağıdakı matris şəklində verir

<sup>11</sup> Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование реше-  
 ний в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

|                     | 0        | 0.1      | 0.2      | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      | 0.8      | 0.9      | 1        |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $x_1 = 25090.5$     | 0.0114   | 0.1114   | 0.2114   | 0.3114   | 0.4114   | 0.5114   | 0.6114   | 0.5610   | 0.4610   | 0.3610   | 0.2610   |
| $x_2 = 24987.5$     | 0.0018   | 0.1018   | 0.2018   | 0.3018   | 0.4018   | 0.5018   | 0.6018   | 0.5094   | 0.4094   | 0.3094   | 0.2094   |
| $x_3 = 24700.2$     | 0.0193   | 0.1193   | 0.2193   | 0.3193   | 0.4193   | 0.5193   | 0.4878   | 0.3878   | 0.2878   | 0.1878   | 0.0878   |
| $\vdots$            | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$ |
| $x_{332} = 26346.0$ | 0.0002   | 0.0102   | 0.0402   | 0.0902   | 0.1602   | 0.1666   | 0.1666   | 0.1666   | 0.1666   | 0.1666   | 0.8357   |
| $x_{333} = 26496.7$ | 0.0123   | 0.0223   | 0.0523   | 0.1023   | 0.1041   | 0.1041   | 0.1041   | 0.1041   | 0.1041   | 0.1041   | 0.8740   |

Bu matris bir tərəfdən DJIA indeksinin lokalizasiyası əlamətləri ilə digər tərəfdən onun kəmiyyətləri arasındakı səbəb-nəticə əlaqəsini əks etdirir. Nəticədə, DJIA indeksinin zaman sıralarının bütün tarixi verilənləri Cədvəl 1-də birləşdirilmiş müvafiq qeyri-səlis (QC) çoxluqlar şəklində şərh olunur.

Cədvəl 1. DJIA indeksinin detallaşdırılmış qeyri-səlis zaman sıraları

| Tarix      | QC        | DJIA indeksinin qeyri-səlis analoqunun mənsubiyyət funksiyasının qiymətləri |        |        |     |        |        | QC NQ  |
|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|
|            |           | 0                                                                           | 0.1    | 0.2    | ... | 0.9    | 1      |        |
| 15.06.2018 | $A_1$     | 0.0114                                                                      | 0.1114 | 0.2114 | ... | 0.3610 | 0.2610 | 0.6062 |
| 18.06.2018 | $A_2$     | 0.0018                                                                      | 0.1018 | 0.2018 | ... | 0.3094 | 0.2094 | 0.5939 |
| 19.06.2018 | $A_3$     | 0.0193                                                                      | 0.1193 | 0.2193 | ... | 0.1878 | 0.0878 | 0.5330 |
| 20.06.2018 | $A_4$     | 0.0273                                                                      | 0.1273 | 0.2273 | ... | 0.1735 | 0.0735 | 0.5219 |
| .....      |           |                                                                             |        |        |     |        |        |        |
| 07.10.2019 | $A_{330}$ | 0.0098                                                                      | 0.0198 | 0.0498 | ... | 0.1113 | 0.8697 | 0.9513 |
| 08.10.2019 | $A_{331}$ | 0.0098                                                                      | 0.0198 | 0.0498 | ... | 0.2546 | 0.7791 | 0.8959 |
| 09.10.2019 | $A_{332}$ | 0.0002                                                                      | 0.0102 | 0.0402 | ... | 0.1666 | 0.8357 | 0.9321 |
| 10.10.2019 | $A_{333}$ | 0.0123                                                                      | 0.0223 | 0.0523 | ... | 0.1041 | 0.8740 | 0.9534 |

Şəkil 3-də göstərildiyi kimi, DJIA indeksinin dinamik sıraları, qeyri-səlis çoxluqların nöqtəvi qiymətləndirilmələri (QC NQ) baxımından, DJIA zaman sıralarının konfigurasiyasını  $[0, 1]$  parçası miqyasında dəqiq yaxınlaşma ilə əks etdirir.



Şəkil 3. QC NQ notasiyasında DJIA indeksinin zaman sıraları

Cədvəl 1-də təqdim olunan QC sayı keyfiyyət qiymətləndirmə meyarlarının məcmusunun formalaşması üçün artıqdır. Buna görə də, aşağıdakı sxemə uyğun olaraq, qiymətləndirmə mühakimələrinin<sup>12</sup> aparılması üçün onların optimal sayı müəyyən edilmişdir.

Addım 1. DJIA indeksinin  $x_t$  ( $t=1 \div 333$ ) tarixi göstəricilərinin  $\{x_{p(i)}\}$  şəklində artan ardıcılıqla sıralanması, burada  $p$ , DJIA indeksinin qiymətlərini  $x_{p(i)} \leq x_{p(i+1)}$ , trivial qaydasına görə artan istiqamətdə sıralayan dəyişiklikdir.

Addım 2. Bütün cüt  $d_i = |x_{p(i)} - x_{p(i+1)}|$  məsafələr toplusunda hər hansı iki ardıcıl  $x_{p(i)}$  və  $x_{p(i+1)}$  qiyməti arasında orta AD məsafəsinin aşağıdakı düsturla hesablanması

$$AD = \sum_{i=1}^{n-1} |x_{p(i)} - x_{p(i+1)}| / (n-1), \quad (3)$$

Müvafiq olaraq standart sapma  $\sigma_{AD}$  aşağıdakı düsturla hesablanır

$$\sigma_{AD} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (d_i - AD)^2 / (n-1)}. \quad (4)$$

<sup>12</sup> Ortiz-Arroyo, D., Poulsen, J.R. A Weighted Fuzzy Time Series Forecasting Model // Indian Journal of Science and Technology, 11(27), pp. 1–11, 2018.

Addım 3. Aradan qaldırılacaq anormal kəmiyyətlərin müəyyən-  
ləşdirilməsi və atılması. Şərti təmin etməyən cüt məsafələrin  
qiymətləri nəzərə alınmadan xaric edilməlidir:

$$AD - \sigma_{AD} \leq d_i \leq AD + \sigma_{AD}. \quad (5)$$

Aşağıdakı şərti ödəməyən cüt məsafələrin kəmiyyətləri baxılmağa  
istisna təşkil edirlər:

$$AD - \sigma_{AD} \leq d_i \leq AD + \sigma_{AD}. \quad (5)$$

Addım 4. Anomaliyaların sıfırlanması nəzərə alınmaqla sıralanmadan  
sonra qalan cüt məsafələr toplusunda orta AD qiymətinin yenidən  
hesablanması.

Addım 5. DJIA sənaye indeksinin tarixi göstəricilərinin  
qiymətləndirilməsi üçün optimal sayda keyfiyyət meyarlarının QC  
şəklində aşağıdakı düsturla yaradılması

$$m = (D_2 - D_1 - AD) / (2 \cdot AD), \quad (6)$$

burada  $D_1 = D_{\min} - AD$ ,  $D_2 = D_{\max} + AD$ .

Bu prosedurların icrası nəticəsində  $n = 333$  olanda DJIA zaman  
sıraları üçün meyarların sayı  $m = 280$  olaraq təyin olunmuşdur. Daha  
sonra QC üçün  $F_1$  və  $F_{333}$  NQ olduqda,  $[F_1, F_{333}]$  parçası uzunluğu  
( $F_{333} - F_1$ )/280 olan 280 bərabər  $a_k$  ( $k = 1 \div 280$ ) parçasına bölünür. Bu  
vəziyyətdə, bütün QC  $A_t$  ( $t = 1 \div 333$ ) implikativ qaydanın<sup>13</sup> tətbiqi ilə  
qruplaşdırılır:

«Əgər QC NQ  $A_t$   $a_k$  parçasındandırsa, o zaman  $A_t$   $k$ -ci qrupa daxildir».

Nəticədə, cədvəl 2-də ümumiləşdirilən DJIA indeksinin tarixi  
göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün keyfiyyət meyarlarının  
rəsmiləşdirildiyi 144 qrup yaradılmışdır.

---

<sup>13</sup> Rzayev R.R., Alizada P.E., Mehdiyev T.Z. Volatile time series forecasting on the  
example of the dynamics of the Dow Jones index. Problems of information society,  
2023, Vol.14, №1, pp. 14–25.

Cədvəl 2. DJIA indeksini qiymətləndirmək üçün keyfiyyət meyarları

| Keyfiyyət meyarları | Universumun qeyri-səlis alt çoxluğunun mənsubiyyət funksiyasının qiymətləri |        |        |        |     |        |        |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|
|                     | 0                                                                           | 0.1    | 0.2    | 0.3    | ... | 0.9    | 1      |
| $C_1$               | 0.9138                                                                      | 0.0412 | 0.0412 | 0.0412 | ... | 0.0412 | 0.0412 |
| $C_2$               | 0.8644                                                                      | 0.1200 | 0.1200 | 0.1200 | ... | 0.0172 | 0.0072 |
| $C_3$               | 0.8173                                                                      | 0.1960 | 0.1960 | 0.1960 | ... | 0.0106 | 0.0006 |
| $C_4$               | 0.8115                                                                      | 0.2051 | 0.2051 | 0.2051 | ... | 0.0113 | 0.0013 |
| .....               |                                                                             |        |        |        |     |        |        |
| $C_{141}$           | 0.0117                                                                      | 0.0217 | 0.0217 | 0.0217 | ... | 0.0217 | 0.8730 |
| $C_{142}$           | 0.0147                                                                      | 0.0147 | 0.0147 | 0.0147 | ... | 0.0147 | 0.9297 |
| $C_{143}$           | 0.0091                                                                      | 0.0091 | 0.0091 | 0.0091 | ... | 0.0091 | 0.9351 |
| $C_{144}$           | 0.0010                                                                      | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | ... | 0.0010 | 0.9423 |

QÇ  $C_k$  ( $k=1÷144$ ) terminlərində DJIA zaman sırası, eləcə də onun QÇ NQ notasiyasında interpetasiyası Cədvəl 3-də təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3. DJIA zaman sırası QÇ və NQ terminlərində

| No    | Tarix      | DJIA    | QÇ        | NQ     | Kr.       | Detallaşdırma                                                       | NQ     |
|-------|------------|---------|-----------|--------|-----------|---------------------------------------------------------------------|--------|
| 1     | 15.06.2018 | 25090.5 | $A_1$     | 0.6062 | $C_{55}$  | $A_1 \cap A_{107} \cap A_{164}$                                     | 0.6051 |
| 2     | 18.06.2018 | 24987.5 | $A_2$     | 0.5939 | $C_{51}$  | $A_2 \cap A_{93}$                                                   | 0.5936 |
| 3     | 19.06.2018 | 24700.2 | $A_3$     | 0.5330 | $C_{41}$  | $A_3 \cap A_{18} \cap A_{150}$                                      | 0.5335 |
| 4     | 20.06.2018 | 24657.8 | $A_4$     | 0.5219 | $C_{39}$  | $A_4$                                                               | 0.5219 |
| ..... |            |         |           |        |           |                                                                     |        |
| 156   | 29.01.2019 | 24580.0 | $A_{156}$ | 0.5022 | $C_{36}$  | $A_6 \cap A_{92} \cap A_{156}$                                      | 0.5026 |
| 157   | 30.01.2019 | 25014.9 | $A_{157}$ | 0.5975 | $C_{52}$  | $A_{157} \cap A_{158}$                                              | 0.5956 |
| 158   | 31.01.2019 | 24999.7 | $A_{158}$ | 0.5956 | $C_{52}$  | $A_{157} \cap A_{158}$                                              | 0.5956 |
| 159   | 01.02.2019 | 25063.9 | $A_{159}$ | 0.6033 | $C_{54}$  | $A_2 \cap A_{24} \cap A_{25} \cap A_{83} \cap A_{159} \cap A_{165}$ | 0.6021 |
| ..... |            |         |           |        |           |                                                                     |        |
| 330   | 07.10.2019 | 26478.0 | $A_{330}$ | 0.9513 | $C_{131}$ | $A_7 \cap A_{80} \cap A_{285} \cap A_{330} \cap A_{333}$            | 0.9538 |

|     |            |         |           |        |           |                                                             |        |
|-----|------------|---------|-----------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------|--------|
| 331 | 08.10.2019 | 26164.0 | $A_{331}$ | 0.8959 | $C_{117}$ | $A_{331}$                                                   | 0.8959 |
| 332 | 09.10.2019 | 26346.0 | $A_{332}$ | 0.9321 | $C_{125}$ | $A_{204} \vee A_{332}$                                      | 0.9320 |
| 333 | 10.10.2019 | 26496.7 | $A_{333}$ | 0.9534 | $C_{131}$ | $A_{71} \vee A_{80} \vee A_{285} \vee A_{330} \vee A_{333}$ | 0.9538 |

DJIA indeksinin göstəriciləri  $C_k$  ( $k=1 \div 144$ ) meyarları vasitəsi ilə qiymətləndirilmiş və detalları ətraflı olaraq Cədvəl 2-də verilmişdir. DJIA indeksinin qeyri-səlis zaman sıraları çərçivəsində 144 qrupa bölünən və Cədvəl 4-də təqdim olunan, ümumiləşdirilən qeyri-səlis münasibətlər şəklində 1-ci tərtib daxili əlaqələri müəyyən edilmişdir.

Cədvəl 4. Qruplara bölünmüş 1-ci tərtib daxili əlaqələr

| Simvol | Qrup                       | Simvol    | Qrup                                                              |
|--------|----------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| $G_1$  | $C_1 \Rightarrow C_1, C_4$ | $G_{136}$ | $C_{136} \Rightarrow C_{130}, C_{141}$                            |
| $G_2$  | $C_2 \Rightarrow C_{10}$   | $G_{137}$ | $C_{137} \Rightarrow C_{135}, C_{140}$                            |
| $G_3$  | $C_3 \Rightarrow C_1$      | $G_{138}$ | $C_{138} \Rightarrow C_{139}, C_{141}$                            |
| $G_4$  | $C_4 \Rightarrow C_6$      | $G_{139}$ | $C_{139} \Rightarrow C_{133}, C_{138}, C_{139}, C_{141}, C_{142}$ |
| $G_5$  | $C_5 \Rightarrow C_8$      | $G_{140}$ | $C_{140} \Rightarrow C_{134}, C_{139}$                            |
| $G_6$  | $C_6 \Rightarrow C_5$      | $G_{141}$ | $C_{141} \Rightarrow C_{142}, C_{143}, C_{144}$                   |
| $G_7$  | $C_7 \Rightarrow C_3$      | $G_{142}$ | $C_{142} \Rightarrow C_{136}, C_{141}, C_{142}, C_{143}, C_{144}$ |
| $G_8$  | $C_8 \Rightarrow C_9$      | $G_{143}$ | $C_{143} \Rightarrow C_{134}, C_{138}, C_{142}, C_{143}, C_{144}$ |
| ...    | .....                      | $G_{144}$ | $C_{144} \Rightarrow C_{134}, C_{139}, C_{142}, C_{143}, C_{144}$ |

1-ci tərtib daxili əlaqələr, DJIA indeksinin tarixi göstəricilərinin keyfiyyət (qeyri-səlis) qiymətləndirmələri ilə müvafiq lingvistik dəyişənlərinin şərtləri və onların qeyri-səlis proqnozları arasındakı səbəb əlaqələrini əks etdirən qeyri-səlis əlaqələrdir. Bu əlaqəni aşağıdakı implikativ qayda birmənalı olaraq əks etdirir.

«Əgər  $x_t$   $C_i$ -dirsə, bu zaman  $x_{t+1}$   $C_j$ -dir» ( $t=1 \div 333$ ;  $i, j=1 \div 144$ ),

və aşağıdakı implikativ qayda isə qeyri-müəyyən şəkildə əks etdirir:

«Əgər  $x_t$   $C_i$ -dirsə bu zaman  $x_{t+1}$   $C_{j(1)}$ -dir və ya  $C_{j(2)}$  və ya ... və ya  $C_{j(p)}$ -dir» ( $t=1 \div 333$ ;  $i, j(1), j(2), \dots, j(p)=1 \div 144$ ).

1-ci implikasiya vəziyyətində hər şey son dərəcə aydındırsa, iki və ya daha çox alternativ qeyri-səlis nəticə olduqda, qeyri-səlis proqnozun aqreqasiyası "və ya" məntiqi operatorunun tətbiqi ilə

həyata keçirilir. Xüsusilə, qeyri-səlis münasibətlər üçün:  $C_{36} \Rightarrow C_{21}$ ,  $C_{51}$ ,  $C_{52}$  qeyri-səlis proqnoz  $F = C_{21} \cup C_{51} \cup C_{52}$  qeyri-səlis çoxluqla mənsubiyyət<sup>14</sup> funksiyası ilə əks olunur.

$$\mu_F(u) = \mu_{C_{21} \cup C_{51} \cup C_{52}}(u) = \max\{\mu_{C_{21}}(u), \mu_{C_{51}}(u), \mu_{C_{52}}(u)\}.$$

Cədvəl 5-də 1-ci tərtib daxili əlaqələr qruplarındakı nəticələri əks etdirən proqnozlar təqdim edilmişdir. QÇ NQ notasiyasında, 1-ci tərtib daxili əlaqələrin təhlili əsasında qurulmuş qeyri-səlis zaman sıraları DJIA-nın proqnozlaşdırıcı modeli, cədvəl 6-da ümumiləşdirilən  $[0, 1]$  parçasının miqyasında defazifikasiya olunmuş nəticələr (proqnozlar) yaradır. 1-ci tərtib proqnozlaşdırıcı modelin DJIA-nın QÇ NQ notasiyasında müvəqqəti sıra ilə müqayisədə həndəsi təfsiri Şəkil 4-də göstərilmişdir.

Cədvəl 5.  $G_k$  ( $k=1 \div 144$ ) qruplarının nəticələri kimi qeyri-səlis nəticələr

| Qeyri-səlis proqnoz | Mənsubiyyət funksiyasının qiymətləri |        |        |        |     |        |        | QÇ NQ  |
|---------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|
|                     | 0                                    | 0.1    | 0.2    | 0.3    | ... | 0.9    | 1      |        |
| $F_1$               | 0.9138                               | 0.2051 | 0.2051 | 0.2051 | ... | 0.0412 | 0.0412 | 0.0767 |
| $F_2$               | 0.5875                               | 0.4978 | 0.4978 | 0.4978 | ... | 0.1492 | 0.0031 | 0.2758 |
| $F_3$               | 0.9138                               | 0.0412 | 0.0412 | 0.0412 | ... | 0.0412 | 0.0412 | 0.0226 |
| $F_4$               | 0.7193                               | 0.3392 | 0.3392 | 0.3392 | ... | 0.0496 | 0.0396 | 0.1491 |
| .....               |                                      |        |        |        |     |        |        |        |
| $F_{141}$           | 0.0147                               | 0.0147 | 0.0147 | 0.0147 | ... | 0.0147 | 0.9423 | 0.9922 |
| $F_{142}$           | 0.0369                               | 0.0469 | 0.0532 | 0.0532 | ... | 0.0532 | 0.9423 | 0.9730 |
| $F_{143}$           | 0.0422                               | 0.0422 | 0.0625 | 0.0737 | ... | 0.0737 | 0.9800 | 0.9662 |
| $F_{144}$           | 0.0337                               | 0.0337 | 0.0625 | 0.0737 | ... | 0.0737 | 0.9423 | 0.9657 |

<sup>14</sup> Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 5–49.

Cədvəl 6. DJIA zaman sıralarının proqnozlaşdırıcı modeli

| Tarix      | İndeksin qeyri-səlis analoqu |            | Meyar     | I-ci tərtib bağlantılar qrupu                           | Model çıxışı (proqnoz) |            | Qeyri-səlis çıxışın təfərrüatları               |
|------------|------------------------------|------------|-----------|---------------------------------------------------------|------------------------|------------|-------------------------------------------------|
|            | Smb                          | T()        |           |                                                         | Smb                    | TO         |                                                 |
| 15.06.2018 | $A_1$                        | 0.606<br>2 | $C_{55}$  | $C_{55} \Rightarrow C_{51}, C_{54}, C_{59}$             | –                      | –          |                                                 |
| 18.06.2018 | $A_2$                        | 0.593<br>9 | $C_{51}$  | $C_{51} \Rightarrow C_{40}, C_{41}$                     | $F_{55}$               | 0.620<br>3 | $C_{51} \cup C_{54} \cup C_{59}$                |
| 19.06.2018 | $A_3$                        | 0.533<br>0 | $C_{41}$  | $C_{41} \Rightarrow C_{28}, C_{39}, C_{49}$             | $F_{51}$               | 0.531<br>8 | $C_{40} \cup C_{41}$                            |
| 20.06.2018 | $A_4$                        | 0.521<br>9 | $C_{39}$  | $C_{39} \Rightarrow C_{32}$                             | $F_{41}$               | 0.455<br>7 | $C_{28} \cup C_{39} \cup C_{49}$                |
| .....      |                              |            |           |                                                         |                        |            |                                                 |
| 07.10.2019 | $A_{330}$                    | 0.951<br>3 | $C_{131}$ | $C_{131} \Rightarrow C_{81}, C_{117}, C_{127}, C_{129}$ | $F_{134}$              | 0.894<br>4 | $C_{111} \cup C_{131} \cup C_{132}$             |
| 08.10.2019 | $A_{331}$                    | 0.895<br>9 | $C_{117}$ | $C_{117} \Rightarrow C_{125}$                           | $F_{131}$              | 0.812<br>7 | $C_{81} \cup C_{117} \cup C_{127} \cup C_{129}$ |
| 09.10.2019 | $A_{332}$                    | 0.932<br>1 | $C_{125}$ | $C_{125} \Rightarrow C_{116}, C_{131}$                  | $F_{117}$              | 0.932<br>0 | $C_{125}$                                       |
| 10.10.2019 | $A_{333}$                    | 0.953<br>4 | $C_{131}$ | $C_{131} \Rightarrow C_{81}, C_{117}, C_{127}, C_{129}$ | $F_{125}$              | 0.905<br>5 | $C_{116} \cup C_{131}$                          |
| MSE        |                              |            |           |                                                         |                        | 0.0020     |                                                 |
| MAPE       |                              |            |           |                                                         |                        | 4.4879     |                                                 |
| MPE        |                              |            |           |                                                         |                        | -0.4391    |                                                 |

Cədvəl 6-da, məlum statistik qiymətləndirmə meyarlarının qiymətləri göstərilir: təklif olunan proqnoz modelinin adekvatlığını əks etdirən MSE (Mean Squared Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) və MPE (Mean Percentage Error)<sup>15</sup>. MSE daha çox optimal proqnoz modelini seçmək üçün istifadə olunur və mümkün əhəmiyyətli səhvləri göstərir. Baxılan vəziyyətdə  $MSE = 0.0020$  təklif olunan proqnozlaşdırma metodunda həddindən artıq aşağı xəta olduğunu vurğulayır. MAPE, zaman sıralarının müvafiq aktual qiymətinə nisbətən proqnoz sapmasının nə dərəcədə əhəmiyyətli olduğunu göstərir. MAPE proqnozlaşdırma modelinin adekvatlığını qiymətləndirmək üçün daha informativ meyardır. Təklif olunan proqnozun sözdə "yerdəyişməsini", yəni daimi olaraq həddindən aşağı və ya həddindən yuxarı qiymətləndirilməsini müəyyənləşdirir. Bu

<sup>15</sup> Lin L., Hedayat A.S., and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement, New York: Springer, 2012. – 173 p.

vəziyyətdə  $MAPE = -0.4391\%$  modelin cüzi *yerdəyişməsinə* əks etdirir, çünki solda normativ 5% həddini keçmir.



Şəkil: 4. QÇ NQ notasiyasında 1-ci tərtib proqnozlaşdırıcı model

Məsələnin yekun həlli üçün qurulmuş modelin aktual və proqnozlaşdırılan nəticələri nominal kəmiyyətlərdə göstərməlidir. Bu məqsədlə, tarixi verilənlərin qeyri-səlis interpretasiyasının defazifikasiya olunmuş qiymətləri şəklində ifadə olunan qeyri-səlis meyllərin proqnozlaşdırılması qaydalarının effektiv kompilyatoru şəklində təklif olunan topologiyanın üçqatlı neyron şəbəkəsi istifadə olunur. Approksimasiya olunmuş neyron şəbəkəsini qurmaq və uyğunlaşdırmaq üçün əsas olaraq bir çox öyrədici  $\{(A_t^{def}, x_t)\}_{t=1}^{136}$  cütlər çoxluğunu seçirik, burada  $x_t - t$  zamanında DJIA-nın tarixi göstəricisi;  $A_t^{def} - x_t$  göstəricisini əks edən qeyri-səlis  $A_t$  çoxluğunun defazifikasiya olunmuş qiyməti (və ya nöqtəvi qiymətləndirmə). Öyrənmə, sınaq və yoxlama proseslərini həyata keçirdikdən sonra neyron şəbəkəsi Cədvəl 7-də göstərilən kəsilməz  $x_t = f(A_t^{def})$  funksiyasını aproksimasiya edir.

$x_t = f(A_t^{def})$  funksiyasının approksimasiyasından sonra təlim keçmiş neyron şəbəkəsi, çıxışında Cədvəl 7-də göstərilən qeyri-səlis çıxışların müvafiq defazifikasiya olunmuş qiymətlərinə uyğun gələn DJIA ndeksinin zaman sırası üçün nominal proqnozlaşdırıcı qiymətlər

yaradır. Alınan proqnozlar Cədvəl 8-də ümumiləşdirilir və qeyri-səlis zaman sırası modeli ilkin DJIA sırası fonunda Şəkil 5-də şərh olunur.

Cədvəl 7.  $x_t = f(A_t^{\text{def}})$  funksiyasının cədvəl görünüşü

| $t$ | $A_t^{\text{def}}$ | $x_t$   | $t$ | $A_t^{\text{def}}$ | $x_t$   | $t$ | $A_t^{\text{def}}$ | $x_t$   | $t$ | $A_t^{\text{def}}$ | $x_t$   |
|-----|--------------------|---------|-----|--------------------|---------|-----|--------------------|---------|-----|--------------------|---------|
| 1   | 0.6062             | 25090.5 | 35  | 0.6392             | 25462.6 | 69  | 0.9835             | 26743.5 | 132 | 0.0226             | 22445.4 |
| 2   | 0.5939             | 24987.5 | 36  | 0.6467             | 25502.2 | 70  | 0.9615             | 26562.1 | 133 | 0.0216             | 21792.2 |
| 3   | 0.5330             | 24700.2 | 37  | 0.6736             | 25628.9 | 71  | 0.9529             | 26492.2 | 134 | 0.0821             | 22878.5 |
| 4   | 0.5219             | 24657.8 | 38  | 0.6614             | 25583.8 | 72  | 0.9384             | 26385.3 | 135 | 0.1491             | 23138.8 |
| *** | ***                | ***     | *** | ***                | ***     | *** | ***                | ***     | 136 | 0.1257             | 23062.4 |

Cədvəl 8. DJIA zaman sırasının proqnozlaşdırılması

| Nö   | Tarix      | DJIA    | Proqnoz | Nö  | Tarix      | DJIA    | Proqnoz |
|------|------------|---------|---------|-----|------------|---------|---------|
| 1    | 15.06.2018 | 25090.5 |         | 323 | 26.09.2019 | 26891.1 | 26598   |
| 2    | 18.06.2018 | 24987.5 | 25299   | 324 | 27.09.2019 | 26820.3 | 26598   |
| 3    | 19.06.2018 | 24700.2 | 24694   | 325 | 30.09.2019 | 26916.8 | 26661   |
| 4    | 20.06.2018 | 24657.8 | 24400   | 326 | 01.10.2019 | 26573.0 | 26598   |
| 5    | 21.06.2018 | 24461.7 | 24463   | 327 | 02.10.2019 | 26078.6 | 26157   |
| 6    | 22.06.2018 | 24580.9 | 24396   | 328 | 03.10.2019 | 26201.0 | 26129   |
| 7    | 25.06.2018 | 24252.8 | 24664   | 329 | 04.10.2019 | 26573.7 | 26093   |
| 8    | 26.06.2018 | 24283.1 | 24285   | 330 | 07.10.2019 | 26478.0 | 26157   |
| 9    | 27.06.2018 | 24117.6 | 24291   | 331 | 08.10.2019 | 26164.0 | 25895   |
| 10   | 28.06.2018 | 24216.1 | 23537   | 332 | 09.10.2019 | 26346.0 | 26342   |
| ***  | ***        | ***     | ***     | 333 | 10.10.2019 | 26496.7 | 26204   |
| MSE  |            |         |         |     |            |         | 72100.5 |
| MAPE |            |         |         |     |            |         | 0.6830  |
| MPE  |            |         |         |     |            |         | -0.2530 |



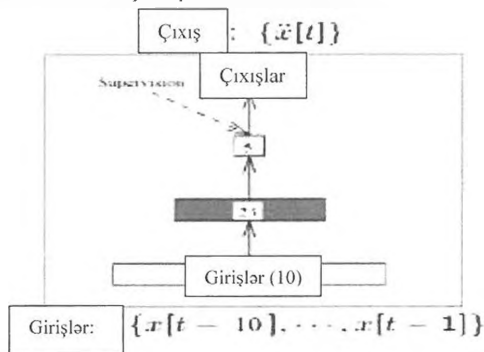
Şəkil 5. Nominal qiymətlərdə proqnozlaşdırıcı model

Cədvəl 8, təklif olunan proqnozlaşdırıcı modelin DJIA indeksinin nominal qiymətlərində adekvatlığını əks etdirən  $MSE = 72100.5$ ,  $MAPE = 0.6830$  və  $MPE = -0.2530$  göstəricilərinin qiymətlərini göstərir. Xüsusilə,  $MSE$  kəmiyyətinin böyüklüyü proqnozlaşdırmada kifayət qədər böyük xəta olduğunu göstərir ki, biz bunu neyron şəbəkəsinin təliminin kifayət qədər qənaətbəxş olmaması ilə izah edirik ( $\varepsilon = 19.4803$ ). Eyni zamanda,  $MAPE$ , DJIA indeksinin zaman sırasının aktual qiymətləri ilə müqayisədə proqnoz səhvinin kifayət qədər məqbul qiymətini nümayiş etdirir. Eyni zamanda,  $MAPE$ , daha informativ bir qiymətləndirmə meyarı olaraq, solda normativ 5% həddini aşmayan proqnoz modelinin cüzi "*yerdəyişməsinə*" əks etdirir.

Təklif olunan iki modeli keyfiyyətə müqayisə edərkən, DJIA indeksinin nominal qiymətlərindəki zaman sırasının proqnoz modelinin müvafiq qeyri-səlis çoxluqların nöqtə qiymətləndirmələri baxımından proqnoz modelindən əhəmiyyətli dərəcədə aşağı olduğunu görmək asandır. 334-cü gündə DJIA indeksinin proqnozu olaraq proqnozlaşdırıcı modeli nöqtəvi qiymətləndirilmələri baxımından tətbiq edərək,  $A_1^{def} = 0.8127$  ədədini alırıq ki, bu da nöqtə qiymətləndirməli qeyri-səlis proqnozdur  $F_{131} = C_{81} \cup C_{117} \cup C_{127} \cup C_{129}$ . Bu proqnozu neyron şəbəkəsi nominal qiymət şəklində 26204 kimi şərh edir .

**Üçüncü fəsildə** trivial (bir xətti gizli təbəqə ilə) və çoxqatlı neyron şəbəkələrinin tətbiqi ilə daxili qeyri-səlis qanunauyğunluqlar haqqında biliklərin kompilyasiyası üsulu təklif olunur. “Dərin öyrənmə” paradiqmasında, yəni neyro-şəbəkə modellərindən<sup>16</sup> istifadə etməklə dəyişkən zaman sırasının təhlili və proqnozlaşdırılması aparılır. Zaman sırasını proqnozlaşdırmaq üçün orta qiymətləndirmə meyarlarından istifadə edərək DJIA indeksinin dəyişkən zaman sırasını proqnozlaşdırmaq nümunəsində müxtəlif neyro-şəbəkə topologiyaları və onların müqayisəli təhlili nəzərdən keçirilir.

Şəkil 6-da giriş, gizli və çıxış təbəqələrindən ibarət olan neyron şəbəkəsi fiqurlu formada təqdim olunur. Şəbəkə newff funksiyasını aktivləşdirməklə MATLAB notasiyasında formalaşır. Bu zaman 10 giriş (10 gecikmiş DJIA indeks qiymətləri) və DJIA<sup>17</sup> indeksinin sonrakı qiyməti kimi bir çıxış nəzərdə tutulur.



Şəkil 6. Üç qatlı neyron şəbəkəsinin fiqurlu təsviri

DJIA indeksinin zaman sırasının tarixi göstəriciləri əsasında təlim cütü çoxluğu qurulmuş aşağıdakı şəkildə qurulmuş:

$$\{x(t-10), x(t-9), \dots, x(t-1)\} \rightarrow x(t), t = 11 \div 333$$

və Cədvəl 9-da göstərilmişdir.

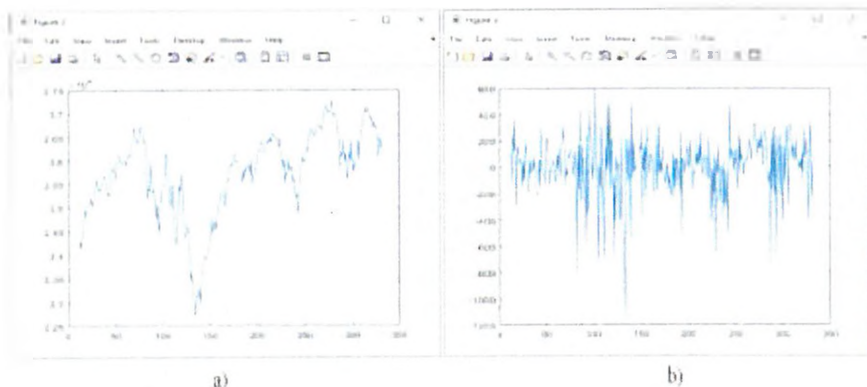
<sup>16</sup> Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 382 с.

<sup>17</sup> Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6. Текст. / Медведев В.С., Потемкин В.Г. М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 2002.

Cədvəl 9. Neyroşəbəkənin layihələndirilməsi üçün təlim cütləri çoxluğu

| $t$     | Neyron şəbəkə modelinin girişləri |          |          |     |          |          |             | Arzu olunan çıxış |
|---------|-----------------------------------|----------|----------|-----|----------|----------|-------------|-------------------|
|         | $x(t-10)$                         | $x(t-9)$ | $x(t-8)$ | ... | $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$    | $x(t)$            |
| 11      | 25090.<br>5                       | 24987.5  | 24700.2  | ... | 24283.1  | 24117.6  | 24216.<br>1 | 24271.4           |
| 12      | 24987.<br>5                       | 24700.2  | 24657.8  | ... | 24117.6  | 24216.1  | 24271.<br>4 | 24307.2           |
| 13      | 24700.<br>2                       | 24657.8  | 24461.7  | ... | 24216.1  | 24271.4  | 24307.<br>2 | 24174.8           |
| 14      | 24657.<br>8                       | 24461.7  | 24580.9  | ... | 24271.4  | 24307.2  | 24174.<br>8 | 24356.7           |
| 15      | 24461.<br>7                       | 24580.9  | 24252.8  | ... | 24307.2  | 24174.8  | 24356.<br>7 | 24456.5           |
| .....   |                                   |          |          |     |          |          |             |                   |
| 32<br>9 | 26935.<br>1                       | 26950.0  | 26807.8  | ... | 26573.0  | 26078.6  | 26201.<br>0 | 26573.7           |
| 33<br>0 | 26950.<br>0                       | 26807.8  | 26970.7  | ... | 26078.6  | 26201.0  | 26573.<br>7 | 26478.0           |
| 33<br>1 | 26807.<br>8                       | 26970.7  | 26891.1  | ... | 26201.0  | 26573.7  | 26478.<br>0 | 26164.0           |
| 33<br>2 | 26970.<br>7                       | 26891.1  | 26820.3  | ... | 26573.7  | 26478.0  | 26164.<br>0 | 26346.0           |
| 33<br>3 | 26891.<br>1                       | 26820.3  | 26916.8  | ... | 26478.0  | 26164.0  | 26346.<br>0 | 26496.7           |

Təlim, sınaq və yoxlamadan sonra işə salınmış FFNN neyron şəbəkəsi DJIA indeksinin zaman sırasını Şəkil 7,a-da təqdim olunan, kifayət qədər məqbul formada bərpa etmişdir. DJIA indeksinin neyron şəbəkəsi tərəfindən bərpa olunan zaman sırasının  $x(t)$  verilənləri Cədvəl 10-da ümumiləşdirilir. Neyron şəbəkəsi tərəfindən zaman sırasını bərpa edərkən xətanın iterasiya sayından asılılığı Şəkil 7 b-də göstərilmişdir.



Şəkil: 7. DJIA indeksi zaman sırasının neyron proqnozlaşdırılması: a) zaman sırasının bərpası, b) xətanın iterasiyaların sayından asılılığı

Cədvəl 10. DJIA indeksi zaman sırasının neyron şəbəkəsinin modelləşdirilməsi

| Tarix    | FFNN  | Tarix    | FFNN  | Tarix    | FFNN  | Tarix    | FFNN  |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| 15.06.18 | ×     | 23.11.18 | 24328 | 08.05.19 | 25979 | 18.09.19 | 27146 |
| 18.06.18 | ×     | 26.11.18 | 24175 | 09.05.19 | 26025 | 19.09.19 | 27043 |
| 19.06.18 | ×     | 27.11.18 | 24758 | 10.05.19 | 25838 | 20.09.19 | 26962 |
| 20.06.18 | ×     | 28.11.18 | 24851 | 13.05.19 | 26012 | 23.09.19 | 26844 |
| 21.06.18 | ×     | 29.11.18 | 25500 | 14.05.19 | 25482 | 24.09.19 | 26915 |
| 22.06.18 | ×     | 30.11.18 | 25333 | 15.05.19 | 25702 | 25.09.19 | 26688 |
| 25.06.18 | ×     | 03.12.18 | 25611 | 16.05.19 | 25681 | 26.09.19 | 26819 |
| 26.06.18 | ×     | 04.12.18 | 25706 | 17.05.19 | 26037 | 27.09.19 | 26696 |
| 27.06.18 | ×     | 06.12.18 | 25026 | 20.05.19 | 25801 | 30.09.19 | 26693 |
| 28.06.18 | ×     | 07.12.18 | 24805 | 21.05.19 | 25864 | 01.10.19 | 26770 |
| 29.06.18 | 24153 | 10.12.18 | 24339 | 22.05.19 | 25784 | 02.10.19 | 26485 |
| 02.07.18 | 24222 | 11.12.18 | 24394 | 23.05.19 | 25892 | 03.10.19 | 26042 |
| 03.07.18 | 24313 | 12.12.18 | 24489 | 24.05.19 | 25541 | 04.10.19 | 26238 |
| 05.07.18 | 24109 | 13.12.18 | 24648 | 28.05.19 | 25650 | 07.10.19 | 26508 |
| 06.07.18 | 24352 | 14.12.18 | 24514 | 29.05.19 | 25345 | 08.10.19 | 26410 |
| 09.07.18 | 24414 | 17.12.18 | 23957 | 30.05.19 | 25207 | 09.10.19 | 26250 |
| ***      | ***   | ***      | ***   | ***      | ***   | 10.10.19 | 26365 |

Adekvatlığı qiymətləndirmək və seçilmiş DJIA indeksinin zaman sırası əsasında dəyişkən zaman sıralarının proqnozlaşdırılması üçün yuxarıda müzakirə edilən neyron şəbəkə yanaşmalarını müqayisə

etmək üçün biz MSE, MAPE və MPE<sup>1819</sup> statistik qiymətləndirmə meyarlarından istifadə edirik. Yuxarıdakı qiymətləndirmə meyarlarının tətbiqi ilə müqayisə nəticələri cədvəl 11-də və nəticələrin həndəsi təfsiri Şəkil 8-də verilmişdir.

Cədvəl 11. DJIA indeksinin zaman sırasının proqnozlaşdırma nəticələri

| Tarix    | DJIA<br>indeksi | Neyron<br>şəbəkələr |       | Tarix    | DJIA<br>indeksi | Neyron şəbəkələr |        |
|----------|-----------------|---------------------|-------|----------|-----------------|------------------|--------|
|          |                 | LNN                 | FFNN  |          |                 | LNN              | FFNN   |
| 15.06.18 | 25090.5         | 17389               | x     | 18.09.19 | 27147.1         | 26164            | 27146  |
| 18.06.18 | 24987.5         | 25226               | x     | 19.09.19 | 27094.8         | 26183            | 27043  |
| 19.06.18 | 24700.2         | 24955               | x     | 20.09.19 | 26935.1         | 26171            | 26962  |
| 20.06.18 | 24657.8         | 24910               | x     | 23.09.19 | 26950.0         | 26120            | 26844  |
| 21.06.18 | 24461.7         | 24680               | x     | 24.09.19 | 26807.8         | 26132            | 26915  |
| 22.06.18 | 24580.9         | 24784               | x     | 25.09.19 | 26970.7         | 26093            | 26688  |
| 25.06.18 | 24252.8         | 24465               | x     | 26.09.19 | 26891.1         | 26149            | 26819  |
| 26.06.18 | 24283.1         | 24554               | x     | 27.09.19 | 26820.3         | 26122            | 26696  |
| 27.06.18 | 24117.6         | 24367               | x     | 30.09.19 | 26916.8         | 26100            | 26693  |
| 28.06.18 | 24216.1         | 24512               | x     | 01.10.19 | 26573.0         | 26128            | 26770  |
| 29.06.18 | 24271.4         | 25277               | 24153 | 02.10.19 | 26078.6         | 26026            | 26485  |
| 02.07.18 | 24307.2         | 25283               | 24222 | 03.10.19 | 26201.0         | 25868            | 26042  |
| 03.07.18 | 24174.8         | 25294               | 24313 | 04.10.19 | 26573.7         | 25909            | 26238  |
| 05.07.18 | 24356.7         | 25243               | 24109 | 07.10.19 | 26478.0         | 26025            | 26508  |
| 06.07.18 | 24456.5         | 25302               | 24352 | 08.10.19 | 26164.0         | 25990            | 26410  |
| 09.07.18 | 24776.6         | 25329               | 24414 | 09.10.19 | 26346.0         | 25899            | 26250  |
| 11.07.18 | 24700.5         | 25460               | 24987 | 10.10.19 | 26496.7         | 25957            | 26365  |
| 12.07.18 | 24924.9         | 25389               | 24754 | MSE      |                 | 616507           | 54170  |
| 13.07.18 | 25019.4         | 25459               | 24906 | MAPE     |                 | 2.0913           | 0.6608 |
| ***      | ***             | ***                 | ***   | MPE      |                 | 0.0970           | 0.0138 |

<sup>18</sup> Lewis K.D.: Methods for forecasting economic indicators. Finance and statistics, Moscow, 1986.

<sup>19</sup> Lin L., Hedayat A.S., and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement, New York: Springer, 2012. – 173 p.



Şəkil 8. DJIA zaman sırası modellərinin həndəsi təfsiri

Sözügedən nümunədə,  $MSE_{LNN} = 616507$  və  $MSE_{FFNN} = 54170$  göstəriciləri zaman sırasını proqnozlaşdırmaq üçün hər iki növ neyron şəbəkəsindən istifadə edərkən çox yüksək xətalara vurğulayır. Buna baxmayaraq, üçqatlı neyron şəbəkəsinin tətbiqindəki xəta, LNN şəbəkəsinin istifadəsi ilə qurulmuş DJIA indeksinin zaman sırası modelinin çıxışlarının orta kvadratik meyllənmədən daha kiçikdir.

$MAPE_{LNN} = 2.0913$  və  $MAPE_{FFNN} = 0.6608$  göstəriciləri zaman sırasının müvafiq aktual qiymətinə nisbətən proqnozun cüzi meyllənməsini göstərir.  $MPE_{LNN} = 0.0970$  və  $MPE_{FFNN} = 0.0138$  göstəriciləri təklif olunan modellərin kiçik "yerdəyişməsinə" nümayiş etdirir. Hər iki göstərici sağdakı normativ həddi, yəni 5%-i aşmır. Eyni zamanda, üçqatlı neyron şəbəkəsindən istifadə edən bir model üçün bu göstəricinin qiyməti əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdır, bu da DJIA indeksinin zaman sırasını proqnozlaşdırmağın dəqiqliyi baxımından üstünlüyünü göstərir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Müdafiəyə təqdim edilən əsas elmi nəticələr aşağıdakı iddialar şəklində tərtib edilmişdir:

- Qeyri-səlis qanunauyğunluqların zaman sırası, linqvistik dəyişənlərin terminləri vasitəsi ilə keyfiyyət kateqoriyalarında təsvir olunan fond birjasında modelləşdirilmiş prosesin dəyişkən inkişafının effektiv göstəricisidir.
- Qeyri-səlis qanunauyğunluqların işlənməsinin əsas əməliyyatları daxili qeyri-səlis əlaqələrin işlənməsi alqoritmləridir. Yəni ilkin zaman sırasına görə qeyri-səlis zaman sırasının bərpa edilməsi üsulu və müəyyən edilmiş qeyri-səlis meyllərin əks olunması kimi nominal kəmiyyətlərdə zaman sırasının kompilyasiyasına tərs əməliyyatdır.
- Təklif olunan topologiyanın üçqatlı neyron şəbəkəsi, tarixi verilənlərin qeyri-səlis şərtlərinin defazifikasiya olunmuş qiymətləri şəklində ifadə olunan qeyri-səlis meyllərin proqnozlaşdırılması qaydalarının effektiv kompilyatorudur.
- Qeyri-səlis tendensiyaların zaman sırasına əsaslanan hazırlanmış proqnoz modeli qısamüddətli dövr üçün dəyişkən zaman sırasını proqnozlaşdırmağa imkan verir.
- Seçilmiş topologiyanın hazırlanmış neyro-şəbəkə modeli qısamüddətli dövr üçün dəyişkən zaman sırasını proqnozlaşdırmağa imkan verir.

**Dissertasiyanın əsas nəticələrini əks etdirən nəşr olunmuş elmi əsərlər:**

1. Марданов М. Дж., Рзаев Р.Р., Ализаде П.Э. Об одном подходе к фаззификации данных на примере временного ряда индекса Доу-Джонса. Математические Машины и Системы, Институт Проблем Математических Машин и Систем, Киев, 2020, №2, стр. 3–13. (БАК Украины)
2. Mardanov M.J., Rzayev R.R., Alizada P.E. About one approach to modeling and forecasting the fuzzy time series. Proceeding of the 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, COIA – 2020, Vol. 1, pp. 269-271, Baku, 26–28 August 2020.
3. Alizada P.E., Mehdiyev T.Z. One approach to volatile time series forecasting. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1306, pp. 433–441, 2021 (indexed by WoS and Scopus).
4. Alizada P.E. Conversion of volatile time series into a fuzzy time series by the example of the Dow Jones index dynamics. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 362, pp.662–670, 2022 (indexed by WoS and Scopus).
5. Abdullayev Kh.Kh., Alizada P.E., Salmanli F.M. Fuzzy time series forecasting by the example of the Dow Jones Index dynamics. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 438, pp. 216–228, 2022 (indexed by WoS and Scopus).
6. Rzayev R.R., Alizada P.E. Dow Jones index time series forecasting using feedforward neural network model. Springer Series: Recent Developments and the New Directions of Research, Foundations, and Applications, Vol. 1, pp. 329–337, 2023 (indexed by WoS and Scopus).
7. Рзаев Р.Р., Ализаде П.Э., Мехтиев Т.З. Об одном подходе к прогнозированию нечетких временных рядов на примере динамики изменения индекса Доу Джонса – Часть I. Proceedings of IAM, V. 11, №2, 2022, pp. 87–102.

8. Рзаев Р.Р., Ализаде П.Э., Мехтиев Т.З. Об одном подходе к прогнозированию нечетких временных рядов на примере динамики изменения индекса Доу Джонса – Часть II. Proceedings of IAM, V.12, №1, 2023, pp. 3–14.
9. Rzayev R.R., Alizada P.E., Mehdiyev T.Z. Volatile time series forecasting on the example of the dynamics of the Dow Jones index. Problems of information society, 2023, Vol.14, №1, pp. 14–25.
10. Rzayev R.R., Alizada P.E., Mehdiyev T.Z. Fuzzy time series forecasting on the example of the Dow Jones index dynamics. Springer series “Lecture Notes in Networks and Systems”, Vol. 438, pp. 216-228.

#### **İddiaçının həmmüəlliflikdə dərc edilmiş əsərlərdə şəxsi töhfəsi:**

[1] Universumun Dou-Cons indeksinin zaman sıralarının tarixi verilənlərinin əhatə dairəsi kimi müəyyənləşdirilməsi, qiymətləndirmə üçün keyfiyyət meyarlarının məcmusunun formalaşdırılması və tarixi verilənlər arasındakı səbəb-nəticə əlaqələrini əks etdirən 1-ci tərtib daxili əlaqələrin qurulması.

[2] Dou-Cons indeksinin zaman sırasının proqnozlaşdırıcı modelinin qeyri-səlis çıxışlarının defazifikasiyası ilə bağlı hesablamaların aparılması.

[3] Tarixi verilənlərin fazifikasiyası, keyfiyyət qiymətləndirmə meyarlarının optimal məcmusunun formalaşdırılması və Dou-Cons indeksinin zaman sırası üçün 1-ci dərəcəli proqnozlaşdırıcı modelin qurulması.

[5] Dəyişkənlik predmeti üçün tarixi verilənlərin təhlili, Qauss mənsubiyyət funksiyasından istifadə edərək tarixi verilənlərin fazifikasiyası, proqnozlaşdırıcı modelin qurulması və adekvatlığın qiymətləndirilməsi.

[6] Dou-Cons indeksinin dəyişkən zaman sırası içərisində asılılıqların neyron approksimasiyası üçün MATLAB təbiiqi proqram paketinin neyron şəbəkələri Neural Networks Toolbox proqram qabığında simulyasiyaların aparılması.

[7] Qauss tipli mənsubiyyət funksiyalarından istifadə edərək tarixi verilənlərin fazifikasiyası üçün qeyri-səlis çıxış sisteminin uyğunlaşdırılması.

[8] Proqnozlaşdırıcı modelin qeyri-səlis çıxışlarının nöqtəvi qiymətləndirmələri baxımından Dou-Cons indeksinin zaman sıralarını və modelin defazifikasiya olunmuş qeyri-səlis çıxış qiymətlərindən kəsilməz funksiyanın neyron yaxınlaşması yolu ilə Dou-Cons indeksinin nominal qiymətlərini proqnozlaşdırması.

[9] Tarixi verilənlərin fazifikasiyası və zaman sıralarının qeyri-səlis proqnozlarının defazifikasiya qaydalarının hazırlanması.

[10] 1-ci tərtib daxili əlaqələrin müəyyənləşdirilməsinə əsaslanaraq Dou-Cons indeksinin zaman sıralarını proqnozlaşdırmaq üçün proqnozlaşdırıcı modelin qurulması.

Dissertasiyanın müdafiəsi 10.09.2024-cü il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəznində fəaliyyət göstərən ED 2.48 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı, Azadlıq küç 20, Az1010

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 05.08.2024cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.06.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38 930

Tiraj: 30