

ZAMAN SERİYASI MODELLƏRİ İLƏ BANK TRANZAKSİYALARININ PROQNOZLAŞDIRILMASI: ARIMA, SARIMA VƏ SARIMAX MODELLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Musa Elxan oğlu Rəhimov, Manafəddin Bəşir oğlu Namazov
Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

FORECASTING BANK TRANSACTIONS WITH TIME SERIES MODELS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ARIMA, SARIMA AND SARIMAX

Musa Elxan Rahimov, Manafaddin Bashir Namazov

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

musarehimov10@gmail.com, manafeddin.namazov@aztu.edu.az

<https://orcid.org/0009-0009-0961-5064>, <https://orcid.org/0000-0003-1119-2442>

Abstract. The article applies ARIMA, SARIMA and SARIMAX models to forecast transaction volumes in the banking sector. The ARIMA model adjusts only for trend and stationarity effects, SARIMA also takes into consideration seasonal effects, and SARIMAX additionally increases the accuracy of the forecast by including the exogenous feature "Transaction Growth". The "Transaction Growth" feature is created using feature engineering and reflects changes in transaction volumes as a percentage value. The purpose of this feature is to improve the performance of models by providing deeper analysis of data.

Different performance metrics such as RMSE, MAE, R^2 , MAPE, sMAPE and MBE were applied to evaluate the performance of the models. The results obtained from the SARIMAX model indicate that this model provides the highest accuracy in comparison with other models: RMSE (22.61), MAE (17.48), R^2 Score (0.9125), MAPE (4.05%), sMAPE (4.04%) and MBE (-0.33).

This study shows that the use of the "Transaction Growth" feature created through feature engineering in the models significantly increases the accuracy of time series forecasts. The advantage of the SARIMAX model in predicting transaction volumes in the banking sector is the most noticeable benefit of the study.

Keywords: Time Series Forecasting, ARIMA, SARIMA, SARIMAX, Feature Engineering, Banking Sector, Exogenous Variables.

© 2025 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

Giriş

Zaman seriyası analizi statistik modelləşdirmə sahəsində geniş tətbiq olunan və müxtəlif sahələrdə proqnozlaşdırma üçün istifadə edilən bir yanaşmadır. Xüsusilə bank sektorunda tranzaksiya əməliyyatlarının proqnozlaşdırılması, maliyyə idarəçiliyi və müştəri davranışlarının analizi baxımından əhəmiyyətli hesab olunur. Zaman seriyası modellərinin əsas məqsədi əvvəlki məlumatlardan istifadə edərək gələcəkdə baş verə biləcək dəyişiklikləri dəqiqliklə proqnozlaşdırmaqdır. Bu məqsədlə ənənəvi ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) modeli tədqiqatlarda geniş vüsət tapmışdır. ARIMA modeli zaman seriyasındakı trend və stasionarlıq kimi təsirləri modelləşdirmək üçün istifadə olunur [1, s. 203-248].

Mövsümi dəyişikliklərin modelləşdirilməsində SARIMA modeli, trend, stasionarlıq və mövsümlük kimi təsirləri birgə modelləşdirmək üçün effektiv bir yanaşma təqdim edir [2, s. 401-450]. Daha geniş bir perspektiv təmin etmək üçün SARIMAX modeli təqdim edilmişdir. SARIMAX modeli, ekzogen dəyişənlərin daxil edilməsi ilə proqnoz dəqiqliyini artırmağa imkan verir [3, s. 131-170]. Bu tədqiqatda "Transaction Growth" (Tranzaksiya Artımı) xüsusiyyətinin SARIMA modelinə daxil edilməsi əsas yenilik kimi vurğulanmışdır.

"Transaction Growth" xüsusiyyəti xüsusiyyət mühəndisliyi vasitəsilə yaradılmışdır və maliyyə əməliyyatlarının intensivliyini faiz dəyəri olaraq əks etdirir. Bu yanaşma, məlumatların dərin təhlilini təmin etməklə modellərin performansını artırmağa xidmət edir [4, s. 1-35]. Xüsusiyyət mühəndisliyi üsulu ilə yaradılmış bu xüsusiyyətin mövcud modellərin performansına necə təsir etdiyini araşdırmaq bu tədqiqatın əsas məqsədlərindən biridir.

Stasionarlığı təmin etmək üçün məlumatlar fərqləndirmə üsulu ilə işlənmiş və ADF (Augmented Dickey-Fuller) testi vasitəsilə modelləşdirmə üçün uyğunluğu yoxlanılmışdır. Modellər

70-30 nisbətində təlim və test dəstlərinə bölünərək kalibrlənmişdir. Performansın qiymətləndirilməsi üçün RMSE, MAE, R^2 və MAPE kimi müxtəlif metriklər tətbiq edilmişdir. Bu metriklər təkcə proqnoz dəqiqliyini deyil, həm də modellərin proqnoz səhvlərini təsvir etmək üçün istifadə olunmuşdur [5].

Bu tədqiqat zamanı əsas tədqiqat sualları bunlardır:

1. "Transaction Growth" xüsusiyyətinin daxil edilməsi zaman seriyası modellərinin proqnoz dəqiqliyinə necə təsir edir?

2. Mövsümi təsirlərin modellərə integrasiyası ümumi performansə nə qədər töhfə verir?

3. ARIMA, SARIMA və SARIMAX modellərinin üstünlükləri və çatışmazlıqları nədir?

Nəticədə, bu tədqiqat zaman seriyası modellərinin bank sektorundakı tətbiqinə nəzər salmaqla yanaşı, mövcud metodların performansını artırmaq üçün təklif olunan yenilikləri də qiymətləndirir. Bu yanaşma, həm akademik, həm də tətbiqi tədqiqatlar üçün yeni perspektivlər açmağı hədəfləyir.

Ədəbiyyat İcmalı

Zaman seriyası analizi iqtisadiyyat və maliyyə sahələrində geniş tətbiq olunan bir metodologiyadır. Xüsusilə bank sektorunda bu yanaşmaların tətbiqi proqnozlaşdırma və qərar qəbul etmə proseslərinin effektivliyini artırır. Zaman seriyası modellərinin əsasları ilə bağlı ilkin anlayışlar Chatfield tərəfindən təqdim edilmişdir [6, s. 1-20]. Müəllif zaman seriyası analizinin fundamental prinsiplərini izah edərək, bu yanaşmanın bank sektorunda proqnozlaşdırma üçün necə istifadə oluna biləcəyini göstərmişdir.

Hamilton ARIMA və SARIMA modellərinin əsaslarını təqdim edərək, onların iqtisadi və maliyyə tətbiqlərinə xüsusi vurğu etmişdir [7, s. 103-190]. Müəllif, bu modellərin müxtəlif təsirləri modelləşdirərək gələcək proqnozların dəqiqliyini artırmaq üçün necə istifadə oluna biləcəyini izah etmişdir. Bu yanaşma Diebold və Mariano tərəfindən təkmilləşdirilmişdir [8]. Müəlliflər proqnoz dəqiqliyini qiymətləndirmək üçün statistik metodlar təqdim etmiş və bu metodların maliyyə sahəsində tətbiqlərinə xüsusi diqqət ayırmışdır.

Brockwell və Davis zaman seriyası analizində geniş spektrli metodları təqdim etmiş, bu yanaşmaların bank əməliyyatlarının modelləşdirilməsi üçün necə tətbiq edilə biləcəyini müzakirə etmişdir [9, s. 53-145]. Bu sahədə Wei həm birölçülü, həm də çoxölçülü zaman seriyası modellərinin maliyyə sahəsinə tətbiqlərini geniş şəkildə izah etmişdir [10, s.245-280]. Xüsusilə, müəllif mövsümi təsirlərin modelləşdirilməsinin vacibliyini vurğulamışdır.

Mövsümi təsirlərin daha yaxşı modelləşdirilməsi ilə bağlı Taylor ikiqat mövsümi hamarlaşdırma yanaşmalarını təqdim etmişdir [11]. Bu yanaşma elektrik tələbinin proqnozlaşdırılmasında istifadə edilmişdir, lakin bu metod bank sektorundakı mövsümi təsirlərin analizi üçün də əhəmiyyətliyəldir. Mills və Patterson isə iqtisadi analizlərdə zaman seriyası modellərinin tətbiqi ilə bağlı geniş nəzəriyyələr təqdim etmişdir [12, s. 380-420].

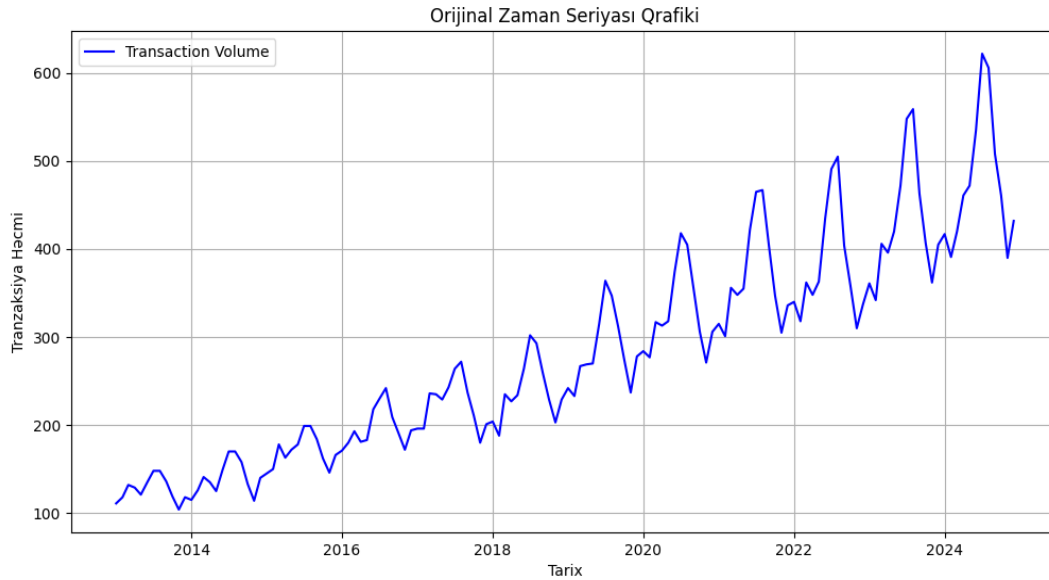
Box-Steffensmeier və digərləri zaman seriyası analizinin sosial elmlərdəki tətbiqlərini müzakirə etmişdir [13, s. 55-110]. Onların yanaşması maliyyə sektorunda istifadə edilə bilən modellərin sosial təsirlərini araşdırmağa imkan verir. Gujarati və Porter isə ARIMA və SARIMA modellərinin iqtisadi tətbiqlərini xüsusi olaraq təhlil etmiş və bu modellərin bank sektorunda tətbiqi üçün əsasları izah etmişdir [14, s. 603-650].

Fildes və Goodwin tərəfindən aparılmış tədqiqat proqnozlaşdırma strategiyalarını müzakirə edərək, bank sektorundakı tətbiqlərdən əldə edilən dərsləri təqdim etmişdir [15]. Bu yanaşma, proqnozlaşdırmanın keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması və strateji qərarların dəstəklənməsi üçün vacib olan anlayışları əhatə edir.

Ümumilikdə, bu ədəbiyyatlar göstərir ki, ARIMA, SARIMA və SARIMAX modellərinin tətbiqi ilə yanaşı, ekzogen xüsusiyyətlərin daxil edilməsi proqnoz dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bank sektorunda bu yanaşmaların tətbiqi həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan böyük əhəmiyyətə malikdir.

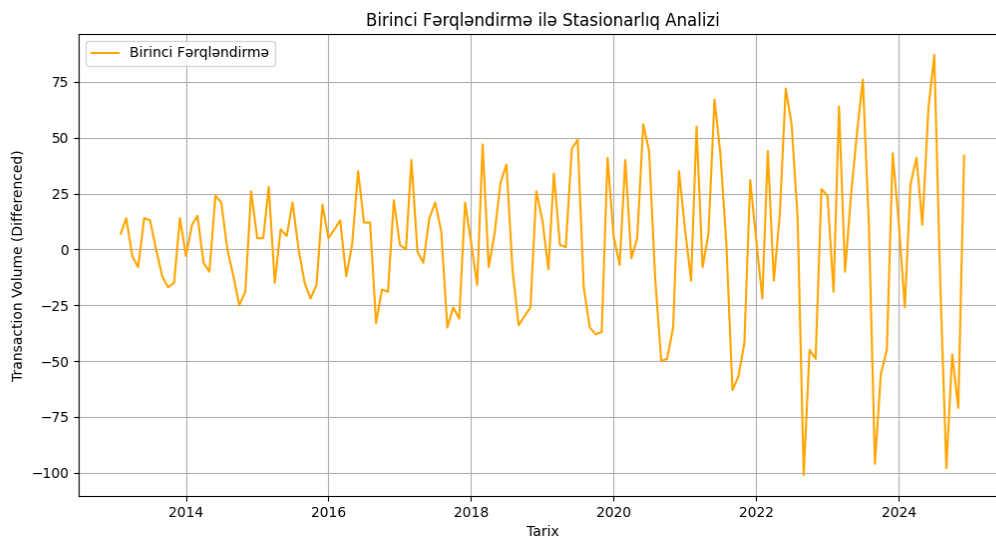
Məlumatlar və ilkin təhlil

Məqalənin bu hissəsində tədqiqatda istifadə edilən zaman seriyası məlumatlarının xüsusiyyətləri təsvir edilir. Şəkil 1-də tranzaksiya əməliyyatlarının zamanla necə dəyişdiyi əks etdirilir və məlumatların ümumi davranışını göstərilir. Məlumat dəstindəki istifadəçi məlumatları tam anonimləşdirilmişdir. 2013-cü il ilə 2024-cü ilə qədər olan zaman aralıqları üçün tranzaksiya əməliyyatlarının sayı "Transaction Volume" xüsusiyyəti adı altında saxlanılmışdır.

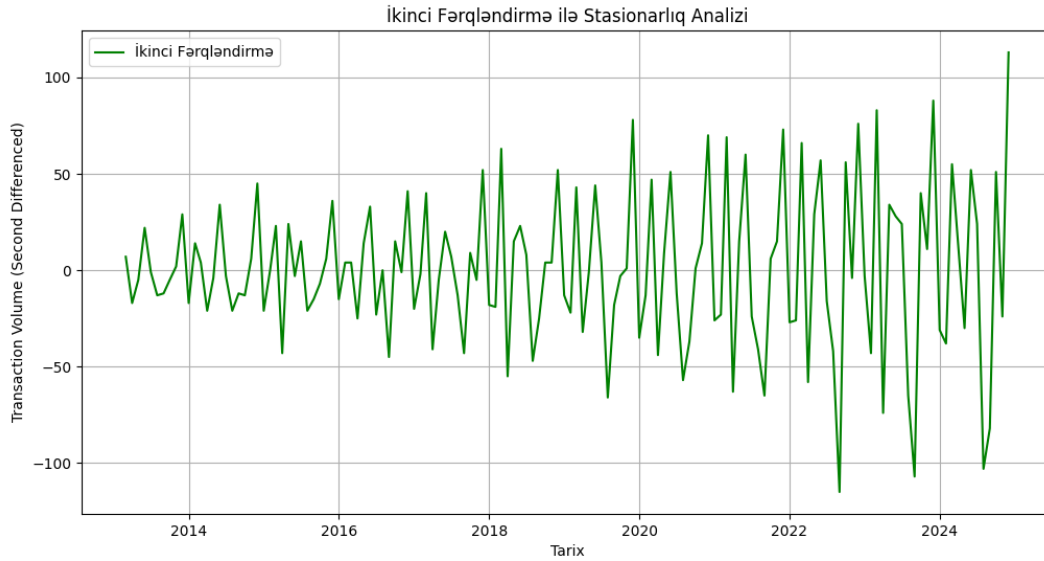


Şəkil 1. Tranzaksiya həcmələrinin müxtəlif illər üzrə dəyişməni

Zaman seriyası analizi üçün əsas məlumat mənbəyi "Transaction Volume" göstəricisidir. Bu göstəricinin stasionarlığını müəyyən etmək üçün ADF (Augmented Dickey-Fuller) testi tətbiq edilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, orijinal zaman seriyası stasionar deyil (P-Value: 0.9917). Şəkil 2-də birinci fərqləndirmənin tətbiqindən sonra məlumatların stasionarlığa yaxınlaşması göstərilmişdir (P-Value: 0.0570), lakin tam stasionar olmamışdır. Şəkil 3-də ikinci fərqləndirmənin tətbiqindən sonra seriyanın tam stasionar vəziyyətə keçməsi göstərilmişdir (P-Value: 2.49e-29).



Şəkil 2. Birinci fərqləndirmə ilə stasionarlıq analizi



Şəkil 3. İkinci fərqləndirmə ilə stasionarlıq analizi

Metodologiya

Bu tədqiqatda zaman seriyası proqnozlaşdırılması üçün üç fərqli statistik model tətbiq edilmişdir: ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), SARIMA (Seasonal ARIMA) və SARIMAX (Seasonal ARIMA with exogenous Variables).

ARIMA modeli trend və stasionarlıq təsirlərini nəzərə almaqla aşağıdakı şəkildə ifadə olunur [1, s. 203-248]:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \epsilon_t \quad (1)$$

Burada y_t zaman seriyası müşahidələrini, ϕ və θ isə avtoregressiv (AR) və hərəkətli ortalama (MA) əmsalları ifadə edir. Modelləşdirmə zamanı seriyanın stasionar olub-olmaması Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi ilə qiymətləndirilmişdir [16]. Nəticələrə əsasən ikinci dərəcəli fərqləndirmə tətbiq olunmuşdur ($d=2$) [17, s. 215-240].

SARIMA modeli ARIMA-nın mövsümi komponentlər əlavə olunmuş versiyasıdır və aşağıdakı ümumi formulla ifadə olunur [2, s. 401-450]:

$$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s \quad (2)$$

Burada s mövsümi dövrü, P, D, Q isə mövsümi AR, differencing və MA parametrlərini göstərir. SARIMA modeli seriyanın həm trend, həm də mövsümi strukturlarını modelləşdirmək üçün istifadə olunmuşdur [1, s. 203-248].

Bu tədqiqatda “Transaction Growth” adlı əlavə xüsusiyyət yaradılmış və modelə daxil edilmişdir. Bu dəyişən ardıcıl iki dövr üzrə tranzaksiya həcmnin faizlə dəyişimini göstərir və aşağıdakı formula ilə hesablanmışdır:

$$TG = \left(\frac{T_t - T_{t-1}}{T_{t-1}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Burada T_t – cari dövrdəki tranzaksiya həcmi, T_{t-1} isə əvvəlki dövrdəki həcmi ifadə edir. Bu yanaşma modelə əlavə informativ qat əlavə edərək proqnoz dəqiqliyinin artırılmasına xidmət edir.

Hər bir modelin performansını yoxlamaq üçün aşağıdakı performans metriklərindən istifadə olunmuşdur:

RMSE modeli tərəfindən verilmiş proqnozların faktiki dəyərlərdən orta kvadrat sapmasını ölçür:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (4)$$

MAE proqnoz səhvlərinin orta mütləq qiymətini göstərir. O, proqnoz və faktiki dəyərlər arasındakı orta fərqi qiymətləndirir və modelin orta səhv səviyyəsini sadə şəkildə göstərir [5]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (5)$$

R^2 modeli tərəfindən izah olunan variasiyanın faizini göstərir. Dəyərləri 0 ilə 1 arasında dəyişir və 1-ə yaxın olduqda model daha yaxşı nəticə verir. Bu metrik proqnozların nə qədər izahlı olduğunu təhlil etmək üçün istifadə olunur [5]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (6)$$

MAPE səhvlərin faizlə ifadəsini verir və proqnozların nisbi dəqiqliyini ölçmək üçün istifadə olunur. Bu metrik interpretasiyası asan olan və fərqli proqnoz sistemlərini müqayisə etməyə imkan verən geniş istifadə olunan göstəricidir [5]:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \quad (7)$$

sMAPE, MAPE-nin simmetrik forması olub proqnoz və faktiki dəyərlərin cəminə bölünən fərqləri hesablayır:

$$sMAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{(|y_t| + |\hat{y}_t|)/2} \quad (8)$$

MBE proqnozlarda sistematik meylin olub-olmadığını göstərir. Əgər bu dəyər müsbətdirsə, model sistematik olaraq artıq proqnoz verir; mənfidirsə, model daim az proqnoz verir [18, s. 155-175]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t) \quad (9)$$

$\hat{y}_t$ model tərəfindən t -ci zaman nöqtəsi üçün proqnozlaşdırılmış (təxmin edilmiş) dəyəri ifadə edir.

$\bar{y}$ bütün müşahidə olunmuş real dəyərlərin arifmetik orta qiymətini göstərir.

y_t t -ci dövrdəki faktiki (real müşahidə olunmuş) dəyəri ifadə edir.

Məlumatlarda boş dəyərlər mövcud olmayıb və modellərin qiymətləndirilməsi məqsədilə zaman seriyası 70%-30% nisbətində təlim və test dəstlərinə bölünmüşdür.

Nəticələrin Təhlili və Şərhi

Bu tədqiqatda ARIMA, SARIMA və SARIMAX zaman seriyası modellərinin maliyyə sektorunda tranzaksiya axınının proqnozlaşdırılmasındakı effektivliyi araşdırılmışdır.

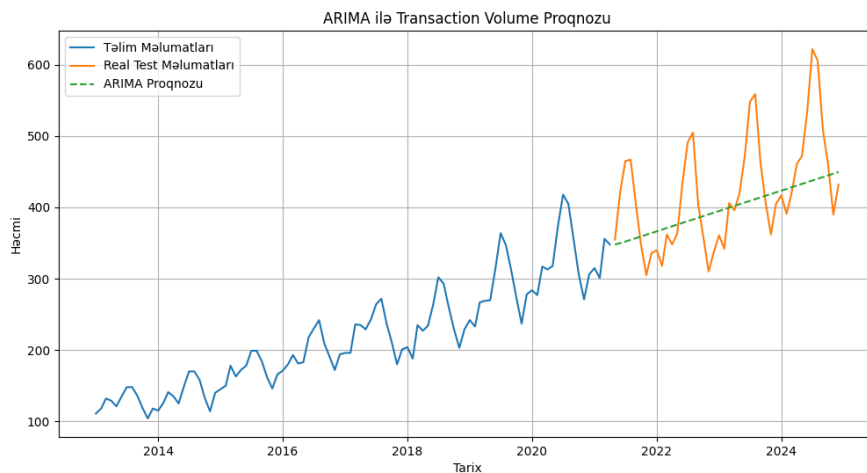
Zaman seriyalı modellərin performans metriklərinin müqayisəsi

Model	RMSE	MAE	R ² Score	MAPE	sMAPE	MBE
ARIMA	70.8902	53.8708	0.1397	12.0405	12.6254	-22.5649
SARIMA	33.4208	29.0001	0.8088	7.2303	6.9140	21.4911
SARIMAX	22.6052	17.4781	0.9125	4.0511	4.0374	-0.3291

Modellərin performansının qiymətləndirilməsi üçün müxtəlif performans metriklərindən istifadə olunmuşdur: RMSE (Root Mean Squared Error), MAE (Mean Absolute Error), R² Score, MAPE (Mean Absolute Percentage Error), sMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) və MBE (Mean Bias Error).

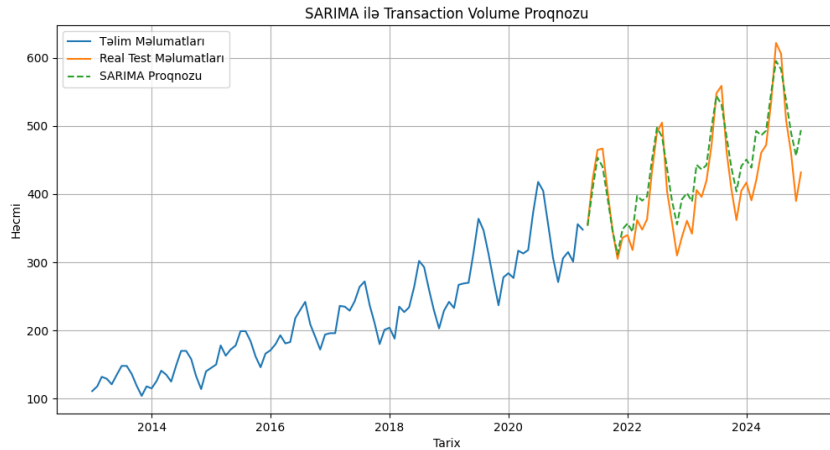
Şəkil 4-də ARIMA modeli ilə proqnozlaşdırılmış tranzaksiya həcmələrinin real test məlumatları ilə müqayisədə mövsümi dəyişiklikləri doğru əks etdirmədiyi müşahidə olunur. Cədvəldə bu model ilə alınan nəticələrin aşağı dəqiqlik nümayiş etdirdiyi görünür. ARIMA modeli üçün RMSE dəyəri 70.8902, MAE dəyəri 53.8708, R² dəyəri isə 0.1397 alınmışdır ki, bu da məlumatların çox az hissəsini izah etdiyini göstərir. MAPE dəyərinin 12.0405% olması proqnozlarda yüksək səhv faizini ifadə edir. sMAPE dəyərinin 12.6254% olması proqnozlarda nəzərə çarpan asimetriyanı göstərir. MBE-nin -22.5649 olması isə ARIMA modelinin real dəyərlərdən aşağı proqnozlar verdiyini göstərir. Mövsümi təsirlərin istifadə olunmaması ARIMA modelinin zəif nəticələr göstərməsinə səbəb olmuşdur.

Şəkil 5-də tədqiqatda istifadə olunmuş məlumat dəstindəki real test məlumatları ilə SARIMA modelinin proqnozları müqayisə olunmuşdur. Mövsümi dalğalanmaların SARIMA modeli tərəfindən yaxşı əks etdirildiyi nəzərə çarpır. Həmçinin, cədvəldə bu modelin hər bir performans metrikləri üzrə nəticələri göstərilmişdir. Nəticələrə baxdıqda RMSE 33.4208, MAE isə 29.0001 olduğu görünür, bu isə ARIMA modelinə nisbətən daha yaxşı nəticələrdir. R² dəyərinin 0.8088 olması, SARIMA modelinin məlumatların böyük hissəsini izah edə bildiyini göstərir. SARIMA modelində MAPE dəyəri 7.2303%, sMAPE dəyəri isə 6.9140% olmuşdur ki, bu da proqnozlarda daha az səhv və daha yüksək dəqiqlik göstərir. Əlavə olaraq, MBE 21.4911 olmuşdur ki, bu da modelin proqnozlarının real dəyərlərdən yüksək olduğunu göstərir.

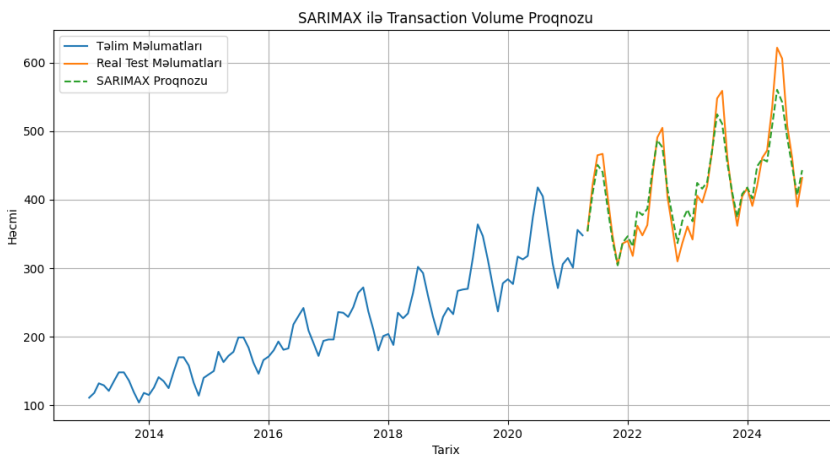


Şəkil 4. ARIMA modeli ilə proqnoz

Şəkil 6-ya istinadən görmək olar ki, SARIMAX modeli test məlumatlarını digər modellərə nisbətən daha yaxşı proqnozlaşdırmışdır. Cədvəldə SARIMAX ilə əldə edilən RMSE dəyəri 22.6052, MAE dəyəri isə 17.4781 olduğu görünür. R² dəyəri 0.9125, modelin məlumatları çox yüksək dəqiqliklə izah etdiyini göstərir. MAPE dəyərinin 4.0511%, sMAPE dəyərinin isə 4.0374% olması, proqnozların ən yüksək dəqiqliklə həyata keçirildiyini göstərir. MBE dəyərinin -0.3291 olması, SARIMAX modelinin proqnozlarının real dəyərlərə çox yaxın olduğunu və neytral meyil nümayiş etdirdiyini göstərir.



Şəkil 5. SARIMA modeli ilə proqnoz



Şəkil 6. SARIMAX modeli ilə proqnoz

Nəticə

Tədqiqat ARIMA, SARIMA və SARIMAX modellərinin əməliyyat həcmələrini proqnozlaşdırma qabiliyyətlərinin müqayisəsinə yönəlmişdir. Xüsusiyyət mühəndisliyi ilə yaradılmış “Transaction Growth” xüsusiyyətinin SARIMAX modelinə inteqrasiyasından sonra modelin performans göstəricilərində ciddi artım müşahidə edilmişdir. SARIMAX modeli üçün ən aşağı RMSE (22.6052), MAE (17.4781), MAPE (4.0511%) və sMAPE (4.0374%) göstəriciləri alınmışdır, həmçinin mənfi MBE (-0.3291) dəyəri ilə sistematik meylin minimal olduğunu göstərmişdir. R^2 göstəricisinin (0.9125) yüksək olması isə modeli digər zaman seriyası modellərindən üstün edən cəhət olmuşdur. SARIMA modeli mövsümi təsirləri nəzərə alaraq modelləşdirmə aparsa da ekzogen xüsusiyyət daxil edilmədiyi üçün SARIMAX modelindən daha aşağı performans göstərmişdir. ARIMA modelinin isə mövsümi təsirləri nəzərə almadığı üçün daha zəif nəticələr verdiyi tədqiq edilmişdir.

Tədqiqat işində alınmış nəticələrdən istifadə edərək bankların likvidlik idarəçiliyinin yaxşılaşdırılması, müştəri davranışlarının təhlilinin daha optimal şəkildə aparılması və strateji qərarların əsaslandırılmış şəkildə qəbul olunması mümkündür. Həmçinin, bu cür modellər banklara satış məqsədlərinin daha dəqiq müəyyənəşdirilməsində, filial səviyyəsində resurs bölgüsünün planlaşdırılmasında və mövsümi kampaniyaların optimal vaxtlarda keçirilməsində əsas rol oynaya bilər. Eyni zamanda, bu yanaşma risklərin idarə olunması və gəlirlərin proqnozlaşdırılması sahəsində də daha effektiv qərarların verilməsinə töhfə verə bilər. Gələcək tədqiqatlar üçün isə "Transaction Growth" kimi əlavə xüsusiyyətlərin məlumat dəstinə daxil edilməsi və onların digər zaman seriyası modelləri ilə birləşməsi maraqlı və faydalı perspektivlər təqdim edə bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015, 712 p.
2. Makridakis S., Wheelwright S.C., Hyndman R.J. Forecasting: Methods and Applications. New York: John Wiley & Sons, 1998, 656 p.
3. Durbin J., Koopman S.J. Time Series Analysis by State Space Methods. Oxford: Oxford University Press, 2012, 368 p.
4. Tsay R.S. Analysis of Financial Time Series. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005, 576 p.
5. Hyndman R.J., Koehler A.B. Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting, 2006, vol. 22, no. 4, pp. 679–688.
6. Chatfield C. The Analysis of Time Series: An Introduction. New York: CRC Press, 2003, 352 p.
7. Hamilton J.D. Time Series Analysis. Princeton: Princeton University Press, 1994, 820 p.
8. Diebold F.X., Mariano R.S. Comparing predictive accuracy. Journal of Business & Economic Statistics, 1995, vol. 13, no. 3, pp. 253–263.
9. Brockwell P.J., Davis R.A. Introduction to Time Series and Forecasting. New York: Springer, 2016, 425 p.
10. Wei W.W.S. Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods. New York: Pearson, 2018, 688 p.
11. Taylor J.W. Short-term electricity demand forecasting using double seasonal exponential smoothing. Journal of the Operational Research Society, 2003, vol. 54, no. 8, pp. 799–805.
12. Mills T.C., Patterson K.D. Palgrave Handbook of Econometrics: Volume 2: Applied Econometrics. London: Palgrave Macmillan, 2006, 1208 p.
13. Box-Steffensmeier J.M., Freeman J.R., Hitt M.P., Pevehouse J.C. Time Series Analysis for the Social Sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 292 p.
14. Gujarati D.N., Porter D.C. Basic Econometrics. New York: McGraw-Hill Education, 2009, 912 p.
15. Fildes R., Goodwin P. Against your better judgment? How organizations can improve their use of management judgment in forecasting. Interfaces, 2007, vol. 37, no. 6, pp. 570–576.
16. Dickey D.A., Fuller W.A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. Econometrica, 1979, vol. 49, no. 4, pp. 1057–1072.
17. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. OTexts, 2018, 380 p.
18. Armstrong J.S. Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners. Springer, 2001, 850 p.

ZAMAN SERİYASI MODELLƏRİ İLƏ BANK TRANZAKSİYALARININ PROQNOZLAŞDIRILMASI: ARIMA, SARIMA VƏ SARIMAX MODELLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

M.E.Rəhimov, M.B.Namazov

Xülasə. Məqalədə bank sahəsində tranzaksiya miqdarlarının proqnozlaşdırılması üçün ARIMA, SARIMA və SARIMAX modellərinin tətbiqi edilmişdir. ARIMA modeli yalnız trend və stasionarlıq təsirlərini tənzimləyir, SARIMA mövsümi təsirləri də nəzərə alır, SARIMAX isə əlavə olaraq "Transaction Growth" (Tranzaksiya Artımı) ekzogen xüsusiyyətinin daxil edilməsi ilə proqnozun dəqiqliyini artırır. "Tranzaksiya Artımı" xüsusiyyəti xüsusiyyət mühəndisliyi üsulu ilə yaradılmış və tranzaksiya həcmələrinin dəyişikliklərini faiz dəyəri olaraq əks etdirir. Bu xüsusiyyət məlumatların daha dərin təhlilini təmin edərək modellərin performansını artırmaq məqsədini daşıyır.

Modellərin performanslarının qiymətləndirilməsi üçün RMSE, MAE, R^2 , MAPE, sMAPE və MBE kimi fərqli performans metrikləri tətbiq edilmişdir. SARIMAX modelindən alınan nəticələr göstərir ki, bu model digər modellərə nisbətən ən yüksək dəqiqliyi təmin edir: RMSE (22.61), MAE (17.48), R^2 Score (0.9125), MAPE (4.05%), sMAPE (4.04%) və MBE (-0.33).

Bu tədqiqat göstərir ki, xüsusiyyət mühəndisliyi vasitəsilə yaradılmış "Transaction Growth" xüsusiyyətinin modellərdə istifadə olunması zaman seriyası proqnozlarının dəqiqliyini önəmli dərəcədə artırır. Bank sektorunda tranzaksiya həcmələrinin proqnozlaşdırılmasında SARIMAX modelinin üstünlüyü tədqiqatın əsas tapıntısıdır.

Açar sözlər: Zaman seriyasının proqnozlaşdırılması, ARIMA, SARIMA, SARIMAX, xüsusiyyət mühəndisliyi, bank sektoru, ekzogen dəyişənlər.

Accepted: 21.11.2025