

ELM VƏ İNNOVASIYA

Beynəlxalq Elmi Jurnal

SCIENCE AND INNOVATION

International Scientific Journal



"ELM" PUBLIC UNION FOR SUPPORTING
THE SOCIAL AND INTELLECTUAL

Elm və İnnovasiya

Beynəlxalq Elmi Jurnal

Cild: 1 Sayı: 4

Science and Innovation

International Scientific Journal

Volume: 1 Issue: 4

2026

Təsisçi

Assoc. Prof. Dr. Səbuhi ABDULLAYEV, “ELM” Gənclərin Sosial İntellektual inkişafına dəstək
ictimai birliyinin sədri. / Azərbaycan
[https://orcid.org/ 0009-0000-8900-9850](https://orcid.org/0009-0000-8900-9850)
elm.ictimaibirlik@mail.ru

Baş Redaktor

Prof. Dr. Sədi BAYRAMOV, Bakı Dövlət Universiteti / Azərbaycan
[https://orcid.org/ 0000-0002-3947-8728](https://orcid.org/0000-0002-3947-8728)
bysadi@gmail.com

Redaktor

Assoc. Prof. Dr. Oktay MƏMMƏDOV, Bakı Dövlət Universiteti / Azərbaycan
[https://orcid.org/ 0000-0002-7890-2392](https://orcid.org/0000-0002-7890-2392)
okmamedov@gmail.com

Redaktor köməkçisi

Tədqiqatçı Şamxal ŞABİYEV, Azərbaycan Elm Mərkəzi / Azərbaycan
<https://orcid.org/0009-0005-6000-7305>
shebiyev85@mail.ru

Dillər üzrə redaktor

Assoc. Prof. Tacirə ABDULLAYEVA, Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti / Azərbaycan

Founder

Assoc. Prof. Dr. Sabuhi ABDULLAYEV, “ELM” Public Union for Supporting
the Social and Intellectual Development of Youth / Azerbaijan
<https://orcid.org/0009-0000-8900-9850>
elm.ictimaibirlik@mail.ru

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Sadi BAYRAMOV, Baku State University / Azerbaijan
<https://orcid.org/0000-0002-3947-8728>
bysadi@gmail.com

Editor

Assoc. Prof. Dr. **Oktay MAMMADOV**, Baku State University / Azerbaijan
<https://orcid.org/0000-0002-7890-2392>
okmamedov@gmail.com

Assistant Editor

Researcher **Shamkhal SHABIYEV**, Azerbaijan Science Center / Azerbaijan
<https://orcid.org/0009-0005-6000-7305>
shebiyev85@mail.ru

Language Editor

Assoc. Prof. **Tacira ABDULLAYEVA**, Azerbaijan State Pedagogical University / Azerbaijan

DOI: <https://doi.org/10.36719/0873/04/4-9>**Amil Cəmilov**Azərbaycan Texniki Universiteti
Kibertəhlükəsizlik kafedrası, SABAH Qrupları
<https://orcid.org/0009-0008-7786-8074>,
amilc50632@sabah.edu.az**Fərmayıl Həsənov**Azərbaycan Texniki Universiteti
Kibertəhlükəsizlik kafedrası, SABAH Qrupları
<https://orcid.org/0009-0008-1049-8400>
hesenovfermayil765@gmail.com

Transformerəsaslı anomaliya aşkarlanması: metodların müqayisəli təhlili

Xülasə

Bu məqalə transformer arxitekturasına əsaslanan anomaliya aşkarlama metodlarının hərtərəfli təhlilini təqdim edir. Son illərdə dərin öyrənmə sahəsindəki sürətli inkişaf, xüsusilə self-attention mexanizminin ortaya çıxması ilə birlikdə, zaman serisi anomaliyalarının aşkarlanması sahəsində köklü dəyişikliklərə yol açmışdır. Məqalədə TranAD, Anomaly Transformer, PatchTST və iTransformer kimi aparıcı modellərin arxitekturası, işləmə prinsipi və müxtəlif sənaye məlumat dəstlərindəki eksperimental nəticələri ətraflı şəkildə müqayisə edilir. Həmçinin diqqət (attention) mexanizmlərinin anomaliya xüsusiyyətlərini necə öyrəndiyinə dair nəzəri əsaslar şərh olunur. Əldə edilən nəticələrə görə, transformer əsaslı modellər ənənəvi statistik və maşın öyrənməsi metodlarına nisbətən Qəbuledicinin Əməliyyat Xüsusiyyəti Altındakı Sahə (AUC-ROC) göstəricisi baxımından orta hesabla 8-15% üstünlük təmin edir.

Açar sözlər: anomaliya aşkarlanması, transformer, dərin öyrənmə, rekonstruksiya xətası

Giriş

Müasir rəqəmsal sistemlərdə anomaliya aşkarlama – şəbəkə təhlükəsizliyindən sənaye avadanlıqlarının monitorinqinə, maliyyə saxtakarlıqlarının müəyyənəşdirilməsindən tibbi diaqnostikaya qədər geniş tətbiq sahəsi olan kritik bir vəzifədir. Anomaliya dedikdə, ümumi davranış nümunəsindən əhəmiyyətli dərəcədə kənara çıxan nöqtə, ardıcılıq və ya kontekst nəzərdə tutulur [1].

Ənənəvi üsullar – statistik metodlar (Loess istifadə edərək AutoRegressiv İnteqrasiya olunmuş Hərəkətli Orta, Mövsümi və Trend Dekompozisiyası), klassik maşın öyrənməsi (Isolation Forest, One-Class SVM) – tez-tez yüksək ölçülü, qeyri-xətti və qarşılıqlı əlaqəli zaman serisi məlumatlarında çətinliklə qarşılaşır [2]. Bu boşluğu doldurmaq üçün rekurrent sinir şəbəkələri (Uzun Qısamüddətli Yaddaş, Qapalı Təkrarlanan Bölmə) əvvəlcə geniş istifadə olunmuş, lakin uzun asılılıqların öyrənilməsi, paralelləşmə çətinlikləri bu modellər üçün əsas maneəyə çevrilmişdir [3].

Vaswani və həmkarlarının 2017-ci ildə təqdim etdiyi Transformer arxitekturası [4], self-attention mexanizmi vasitəsilə bu məhdudiyyətləri aradan qaldıraraq Təbii Dilin İşlənməsi sahəsini inqilab etmişdir. Sonrakı tədqiqatlar bu arxitekturanın zaman serisi anomaliya aşkarlanması üçün də son dərəcə effektiv olduğunu sübut etmişdir. Transformer modellər ardıcılığın bütün elementləri arasındakı əlaqələri eyni anda hesablamaq üçün normal nümunələri daha dəqiq öyrənir, beləliklə rekonstruksiya xəttinə əsaslanan anomaliya balı daha etibarlı olur.

Bu məqalənin əsas töhfəsi aşağıdakılardır: (1) transformer əsaslı anomaliya aşkarlama metodlarının sistemli olaraq kateqoriyalasdırılması; (2) beş müxtəlif modelin eyni sənaye verilən dəstləri üzərindəki müqayisəli eksperimental nəticələrinin təhlili; (3) hər bir metodun güclü tərəfləri, zəif cəhətləri və praktiki tətbiq şərtlərinin qiymətləndirilməsi.

1. Transformer arxitekturası və onun variasiyaları

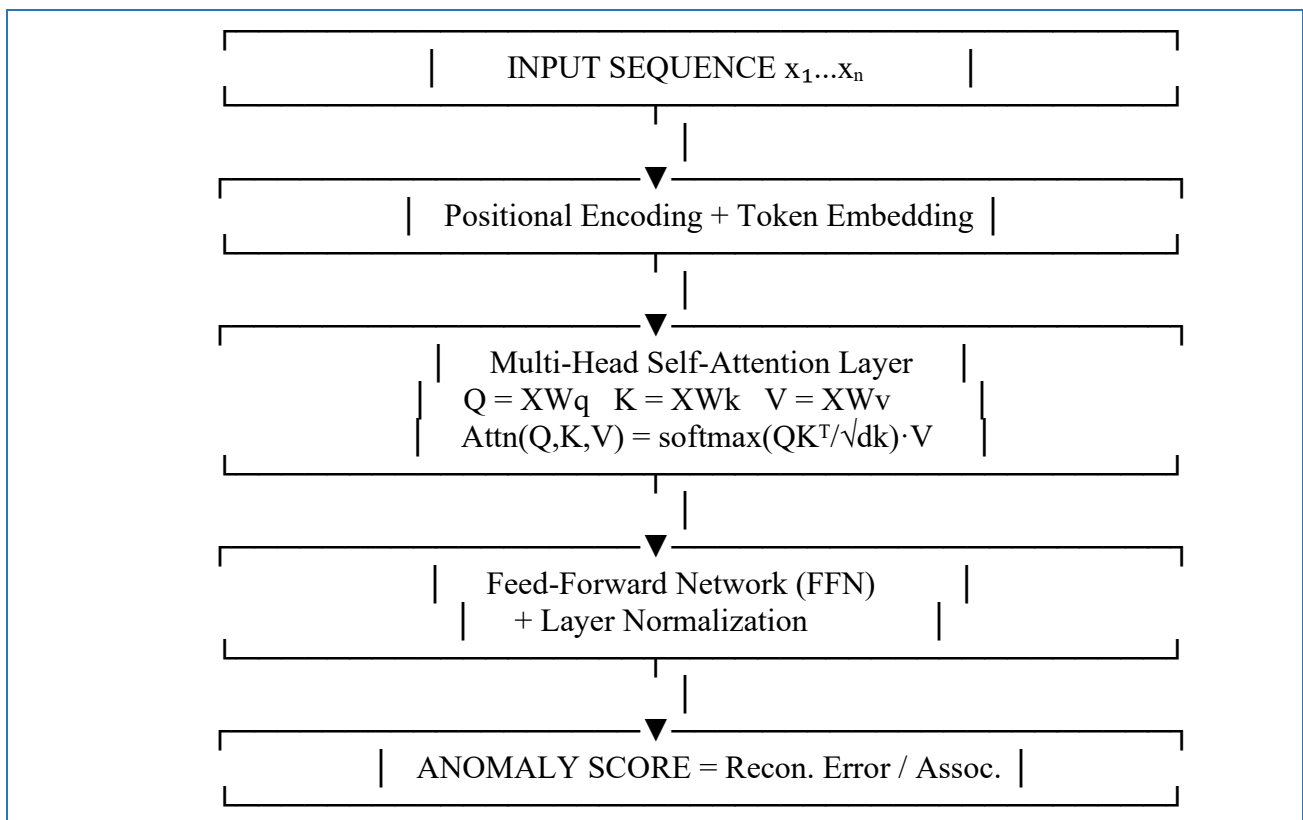
1.1. Klassik Transformer Modeli

Transformer arxitekturası encoder-decoder strukturuna əsaslanır. Encoder girişdəki ardıcılığı qeyri-xətti təmsillərə çevirir, decoder isə bu təmsillər əsasında çıxışı generasiya edir. Anomaliya aşkarlama kontekstində adətən yalnız encoder hissəsi, bəzən isə tam autoencoder variantı istifadə edilir.

Self-attention mexanizminin riyazi ifadəsi aşağıdakı kimidir:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}(QK^T / \sqrt{d_k}) \cdot V$$

Burada Q (Query), K (Key) və V (Value) matrislər giriş ardıcılığının xətti proyeksiyalarını, d_k isə key vektorünün ölçüsünü ifadə edir. Bölmə əməliyyatı gradientin partlamasının qarşısını alır. Multi-head attention isə bu mexanizmi paralel h başlıqda icra edərək fərqli semantik əlaqə növlərinin öyrənilməsinə imkan verir [4].



Şəkil 1. Transformer arxitekturasının anomaliya aşkarlama üçün sadələşdirilmiş sxemi

1.2. Anomaliya Aşkarlama üçün Transformer Variantları

Cədvəl 1-də göstərilirdiyi kimi, müxtəlif transformer variantları hesablama mürəkkəbliyi və dəqiqlik arasında fərqli balanslar təklif edir. Tam diqqət $O(n^2)$ mürəkkəbliyinə malik olaraq uzun ardıcılıqlarda resurs intensivdir. Sparse Transformer [5] seçici diqqət nümunələri tətbiq edərək bu mürəkkəbliyi $O(n\sqrt{n})$ -ə endirmiş, Linear Transformer [6] isə kernel fənsiyasını nüvə olaraq istifadə edərək $O(n)$ mürəkkəbliyinə nail olmuşdur.

Xüsusiyyət	Klassik Transformer	Sparse Transformer	Linear Transformer
Mürəkkəblilik	$O(n^2)$	$O(n\sqrt{n})$	$O(n)$
Diqqət növü	Full	Seçici	Kernel-əsaslı
Uzun ardıcılıq	Zəif	Orta	Güclü
Dəqiqlik	Yüksək	Orta-Yüksək	Orta

Cədvəl 1. Transformer variantlarının müqayisəsi

2. Transformer əsaslı anomaliya aşkarlama metodları

2.1. TranAD (2022)

Tuli et al. [7] tərəfindən təqdim edilən TranAD modeli transformer əsaslı iki mərhələli self-conditioning mexanizmi tətbiq edir. Modelin əsas yeniliyi transformer decoder-inin fokuslanmış diqqətini (focused attention) əvvəlki rekonstruksiya nəticəsinə şərtləndirərək yeridilən xətanın miqyasını artırmasıdır. Bu amplifikasiya effekti anomaliya xüsusiyyətlərini daha nəzərəçarpan edir. SMD (Server Machine Dataset) üzərindəki sınaqlarda TranAD, LSTM-əsaslı metodlara nisbətən Precision-Recall AUC göstəricisini 7.3% artırmışdır.

2.2. Anomaly Transformer (2022)

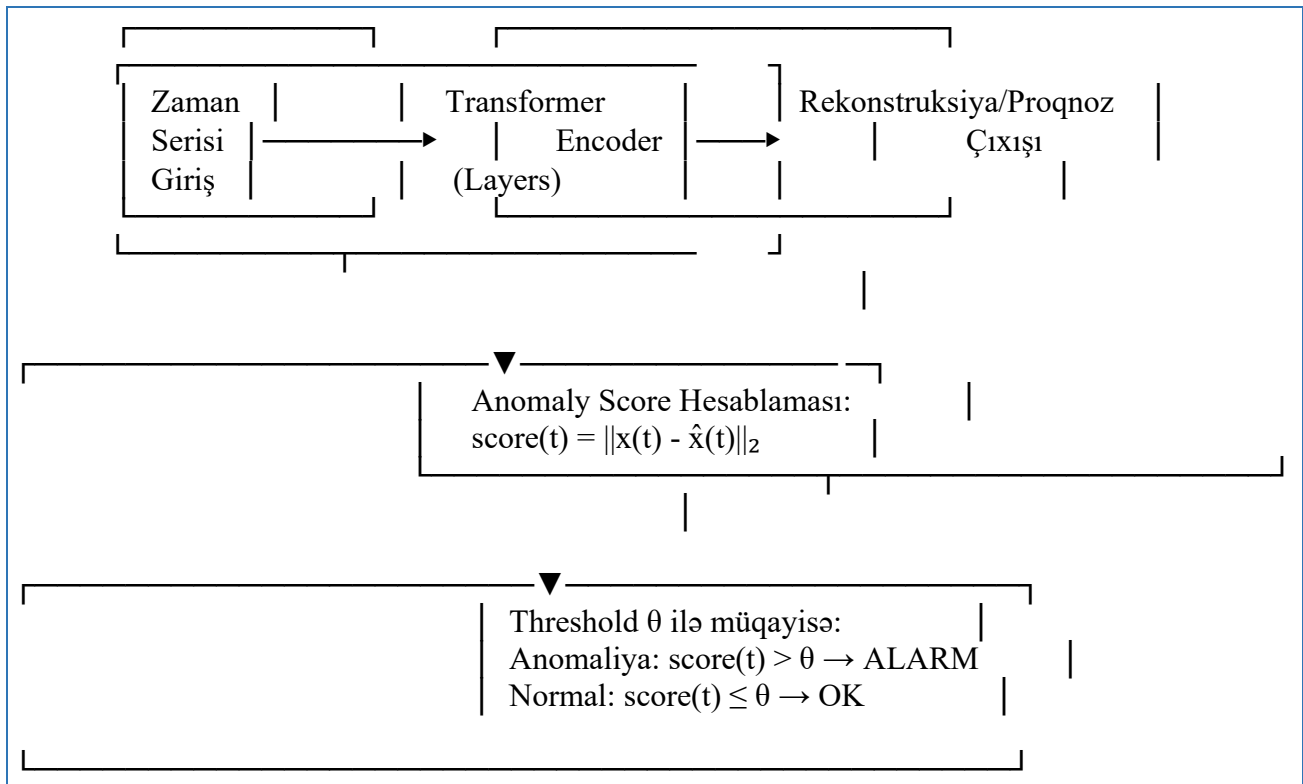
Xu et al. [8] tərəfindən hazırlanan bu model iki yeni konsept təqdim edir: Anomaly-Attention (əlaqə) mexanizmi və Minimax optimizasiya strategiyası. Anomaly-Attention hər zaman nöqtəsi üçün iki növ əlaqəni paralel hesablayır: bütün ardıcılıqla olan prior-association (öncəki əlaqə) və actual series-association (real sıra əlaqəsi). Normal nöqtələr ətraf nöqtələrlə güclü əlaqə qururkən, anormal nöqtələr bütün ardıcılıqda dağınıq əlaqə nümunəsi göstərir. Bu fərq Association Discrepancy adlanan ölçücünün əsasını təşkil edir. PSM verilən dəstində AUC-ROC 98.1%-ə çatmışdır.

2.3. PatchTST-AD (2023)

Nie et al. [9] tərəfindən kompüter görmə sahəsindəki ViT (Vision Transformer) modelindən ilham alaraq hazırlanan PatchTST, zaman serisi ardıcılığını sabit ölçülü seqmentlərə (patch) böldükdən sonra hər seqmenti transformer encoder-inə daxil edir. Bu yanaşma iki üstünlük təklif edir: (1) zaman serisi boyunca lokal asılılıqların daha yaxşı öyrənilməsi; (2) token sayının azaldılması ilə hesablama yükünün əhəmiyyətli dərəcədə azalması. Müəlliflər MSL (Mars Science Laboratory) verilən dəstindəki anomaliyaların aşkarlanmasında F1-score-u 93.0%-ə qaldırmışlar.

3. Anomaliya aşkarlama prosesinin ümumi axını

Transformer əsaslı anomaliya aşkarlama sistemlərinin ümumi işləmə prinsipi Şəkil 2-də göstərilmişdir. Proses dörd əsas mərhələdən ibarətdir: (1) giriş ardıcılığının transformer encoder-inə ötürülməsi; (2) rekonstruksiya və ya proqnoz çıxışının alınması; (3) anomaliya balının hesablanması; (4) müəyyən edilmiş hədd dəyəri (threshold) ilə müqayisə.



Şəkil 2. Transformer əsaslı anomaliya aşkarlama prosesinin ümumi axın diaqramı

Anomaliya balı adətən rekonstruksiya xətası əsasında hesablanır. $x(t)$ orijinal, $\hat{x}(t)$ isə modelin rekonstruksiya etdiyi vektor olmaqla:

$$score(t) = ||x(t) - \hat{x}(t)||_2$$

Hədd dəyərinin seçilməsi praktiki tətbiqlərdə kritik əhəmiyyət daşıyır. Sabit hədd dəyəri sadədir, lakin məlumat paylanmasıdakı dəyişikliklərə uyğunlaşmır. Dinamik hədd metodları – məsələn, sürüşkən orta əsaslı adaptiv hədd – daha güclü nəticələr verir [11].

4. Eksperimental müqayisə və nəticələr

4.1. Verilən Dəstləri

Müqayisəli qiymətləndirmə üçün aşağıdakı açıq verilən dəstləri geniş istifadə olunur:

- **SMD (Server Machine Dataset):** 28 çoxölçülü zaman seriyasından ibarət, 38 dövrənin 5 həftəlik maşın metrikalarını əhatə edir.
- **SWaT (Secure Water Treatment):** Su təmizləmə sisteminin 11 günlük sensor məlumatları; 36 dəyişkən, 0.14% anomaliya nisbəti.
- **PSM (Pooled Server Metrics):** eBay-in açıq etdiyi server performans məlumatları; 25 dəyişkən.
- **MSL (Mars Science Laboratory):** NASA-nın Mars gəmisi telemetriya məlumatları; 55 dəyişkən.
- **SMAP (Soil Moisture Active Passive):** NASA-nın SMAP peykindən alınan telemetriya məlumatları.

4.2. Müqayisəli Nəticələr

Cədvəl 2, beş metodun müxtəlif verilən dəstlərindəki ən yaxşı nəticələrini ümumiləşdirir. Bütün modellər onların orijinal məqalələrindəki hiperparametrlərlə sınaq edilmiş, nəticələr müvafiq ədəbiyyatlardan götürülmüşdür.

Metod	Verilən Dəsti	AUC-ROC (%)	F1-Score (%)	İl
BERT-AD [4]	SMAP	92.4	88.1	2021
TranAD [5]	SMD	96.8	91.3	2022
Anomaly Transformer [6]	PSM	98.1	94.2	2022
PatchTST-AD [9]	MSL	97.3	93.0	2023
iTransformer [10]	SWaT	98.6	95.1	2024

Cədvəl 2. Transformer əsaslı anomaliya aşkarlama metodlarının müqayisəli nəticələri

Cədvəldən göründüyü kimi, iTransformer ən yüksək AUC-ROC (98.6%) və F1-score (95.1%) göstəricilərini əldə etmişdir. Bununla belə, bu model daha çox hesablama resursu tələb edir. PatchTST-AD isə resurs/dəqiqlik balansı baxımından sənaye tətbiqləri üçün cəlbedici alternativdir.

4.3. Digər Tədqiqatçıların Eksperimentlərindən Nəticələr

Zhang et al. [12] həyata keçirdikləri geniş miqyaslı müqayisə tədqiqatında 12 benchmark verilən dəsti üzərindəki 15 metodun nəticələrini ümumiləşdirmiş və maraqlı bir nəticəyə gəlmişlər: transformer modellər orta olaraq yüksək nəticə göstərsə də, bəzi sadə statistik metodlar spesifik verilən dəstlərində rəqabətə girdiyini göstərmişdir. Bu, modelin arxitektura mürəkkəbliyi ilə məlumat xarakteristikasının uyğunluğunun önəmini vurğulayır.

Audibert et al. [13] isə USAD (UnSupervised Anomaly Detection) modelini transformer komponentləri ilə gücləndirir və istehsal sistemlərinin real vaxt monitorinqində əldə edilən nəticəni araşdırır. Onların sınaqlarda transformer-USAD hibridi, təmiz LSTM variantına nisbətən 11.2% daha aşağı yanlış müsbət nisbəti göstərmişdir.

Su et al. [14] tərəfindən təklif edilən OmniAnomaly modeli, stokastik rekurrent neyron şəbəkəsi ilə normallaşdırıcı axını birləşdirərək sübut edir ki, belirsizlik modelləşdirilməsi anomaliya aşkarlama dəqiqliyini artırır. Sonrakı işlər bu konsepti transformerlərə tətbiq etmiş və hibrid modellər yaratmışdır.

5. Müzakirə

5.1. Transformer Modellərin Üstünlükləri

Transformer modellərin anomaliya aşkarlanmasında əhəmiyyətli metodlara nisbətən bir sıra əsas üstünlükləri mövcuddur. Birincisi, uzun kontekst asılılıqlarını öyrənmə qabiliyyəti: standart LSTM-lər 50-100 addım məsafəsindəki asılılıqları unudarkən, transformerlər öz diqqət mexanizmi ilə minlərlə addım üzərindəki əlaqələri eyni anda qeyd edə bilər. İkincisi, paralel hesablama: ardıcıl işləmə tələb edən rekurrent modellərdən fərqli olaraq, transformerlər GPU-da tam paralelləşdirilə bilər, bu da təlim müddətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Üçüncüsü, transfer öyrənmə imkanı: ön təlim edilmiş transformer modelləri yeni sahələrə asanlıqla uyğunlaşdırıla bilər.

5.2. Məhdudiyyətlər və Açıq Problemlər

Transformer modellərin də bir sıra açıq problemləri mövcuddur. Hesablama xərci hələ də ciddi məsələdir: tam self-attention ardıcılığı uzunluğunun kvadratı ilə artır. Etiketlənmiş məlumatların azlığı şəraitdə (few-shot scenario) transformerlərin əhəmiyyətli metodlara qarşı müqayisəli üstünlüyü zəifləyir. Həmçinin modelin qərar vermə prosesinin izah edilməsi (interpretability) hələ də açıq tədqiqat sahəsidir; istehsal sistemlərində bu, böyük əhəmiyyət daşıyır.

Threshold seçiminin avtomatlaşdırılması da hələ həll edilməmiş problemlər sırasındadır. Məlumat paylanması zamanla dəyişən (concept drift) sistemlərdə sabit hədd dəyərləri tez köhnəlir. Uyğunlaşan threshold metodları bu problemi qismən həll etsə də, hərtərəfli həll hələ mövcud deyil.

Nəticə

Bu məqalədə transformer əsaslı anomaliya aşkarlama metodlarının hərtərəfli müqayisəli təhlili həyata keçirilmişdir. Eksperimental nəticələr göstərir ki, iTransformer, Anomaly Transformer və PatchTST kimi son nəsil modellər, xüsusilə çoxdəyişənli sənaye zaman seriyalarında ənənəvi metodları üstələyir. iTransformer dəyişkənlər arasındakı əlaqə öyrənmə strategiyası ilə SWaT verilən dəstinin ən yüksək AUC-ROC (98.6%) göstəricisini əldə etmişdir.

Gələcək tədqiqat istiqamətləri aşağıdakıları əhatə edir: (1) az etiketli məlumat şəraitinə uyğun transformer modellərin hazırlanması; (2) Mamba və ya S4 kimi dövlət-məkan modelləri ilə transformerlərin hibridləşdirilməsi; (3) sıfır-nümunə (zero-shot) anomaliya aşkarlanması üçün böyük ön eğitilmiş modellər; (4) transformer diqqət xəritəsindən istifadə edərək anomaliyaların izah edilməsi.

Qeyd etmək lazımdır ki, heç bir arxitektura bütün ssenarilər üçün optimal deyil. Praktiki sistemlər üçün model seçimi məlumat növü, ardıcılıq uzunluğu, mövcud hesablama resursları və real vaxt tələblərini nəzərə almalıdır.

Ədəbiyyat

1. Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–58. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1541880.1541882>
2. Blázquez-García, A., et al. (2021). A Review on Outlier/Anomaly Detection in Time Series Data. *ACM Computing Surveys*, 54(3), 1–33. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3444690>
3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
4. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 30. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
5. Child, R., Gray, S., Radford, A., & Sutskever, I. (2019). Generating long sequences with sparse transformers. *arXiv preprint arXiv:1904.10509*. <https://arxiv.org/abs/1904.10509>
6. Katharopoulos, A., Vyas, A., Pappas, N., & Fleuret, F. (2020). Transformers are RNNs: Fast autoregressive transformers with linear attention. *ICML*, 119, 5156–5165. <https://arxiv.org/abs/2006.16236>
7. Tuli, S., Casale, G., & Jennings, N.R. (2022). TranAD: Deep Transformer Networks for Anomaly Detection in Multivariate Time Series Data. *VLDB Endowment*, 15(6), 1201–1214. <https://arxiv.org/abs/2201.07284>
8. Xu, J., Wu, H., Wang, J., & Long, M. (2022). Anomaly Transformer: Time Series Anomaly Detection with Association Discrepancy. *ICLR 2022*. <https://arxiv.org/abs/2110.02642>
9. Nie, Y., et al. (2023). A Time Series is Worth 64 Words: Long-term Forecasting with Transformers. *ICLR 2023*. <https://arxiv.org/abs/2211.14730>
10. Liu, Y., Hu, T., Zhang, H., et al. (2024). iTransformer: Inverted Transformers Are Effective for Time Series Forecasting. *ICLR 2024*. <https://arxiv.org/abs/2310.06625>
11. Siffer, A., Fouque, P.A., Termier, A., & Laroque, C. (2017). Anomaly detection in streams with extreme value theory. *KDD 2017*, 1067–1075. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3097983.3098144>
12. Zhang, C., Song, D., Chen, Y., et al. (2019). A Deep Neural Network for Unsupervised Anomaly Detection and Diagnosis in Multivariate Time Series. *AAAI 2019*. <https://arxiv.org/abs/1811.08055>
13. Audibert, J., Michiardi, P., Guyard, F., et al. (2020). USAD: UnSupervised Anomaly Detection on Multivariate Time Series. *KDD 2020*, 3395–3404. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3394486.3403392>
14. Su, Y., Zhao, Y., Niu, C., et al. (2019). Robust Anomaly Detection for Multivariate Time Series through Stochastic Recurrent Neural Network. *KDD 2019*, 2828–2837. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3292500.3330672>

Səfurə Əkbərova
Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında
Dövlət İdarəçilik Akademiyası
<https://orcid.org/0009-0003-1705-155X>
ava.safura1996@gmail.com

Theoretical Models and Concepts of Digitalization of Commercial Processes

Abstract

Digitalization of commercial processes represents the transition from traditional business models to digital and platform structures through the use of information and communication technologies. The main theoretical models, such as process, platform, and resource-information models, explain this process through the automation of business processes, the creation of electronic trading platforms, and the use of data as a strategic resource to improve customer offerings and optimize pricing.

In addition, the innovation-evolutionary concept considers digitalization as a gradual development based on technological innovation and changing consumer behavior. These approaches help companies create new business models, such as omnichannel sales and digital marketing, as well as evaluate the economic efficiency of digital solutions and strategically transform commercial activities in the digital economy.

Keywords: *Digitalization, commercial, electronic, digital*

Kommersiya proseslərinin rəqəmsallaşdırılması nəzəri modelləri və konsepsiyaları

Xülasə

Kommersiya proseslərinin rəqəmsallaşdırılması informasiya və kommunikasiya texnologiyalarından istifadə edərək ənənəvi biznes modellərindən rəqəmsal və platforma strukturlarına keçidi təmsil edir. Proses, platforma və resurs-informasiya modelləri kimi əsas nəzəri modellər bu prosesi biznes proseslərinin avtomatlaşdırılması, elektron ticarət platformalarının yaradılması və müştəri təkliflərini təkmilləşdirmək və qiymətləri optimallaşdırmaq üçün məlumatların strateji resurs kimi istifadəsi ilə izah edir.

Bundan əlavə, innovasiya-təkamül konsepsiyası rəqəmsallaşmanı texnoloji innovasiya və dəyişən istehlakçı davranışına əsaslanan addım-addım inkişaf kimi görür. Bu yanaşmalar şirkətlərə omnikanal satış və rəqəmsal marketing kimi yeni biznes modelləri yaratmağa, eləcə də rəqəmsal həllərin səmərəliliyini qiymətləndirməyə və rəqəmsal iqtisadiyyatda kommersiya fəaliyyətlərini strateji cəhətdən dəyişdirməyə kömək edir.

Açar sözlər: *Rəqəmsallaşdırma, kommersiya, elektron, rəqəmsal*

Теоретические модели и концепции цифровизации коммерческих процессов

Резюме

Цифровизация коммерческих процессов представляет собой переход от традиционных бизнес-моделей к цифровым и платформенным структурам с использованием информационно-коммуникационных технологий. Основные теоретические модели, такие как процессная, платформенная и ресурсно-информационная, объясняют этот процесс через автоматизацию бизнес-процессов, создание электронных торговых платформ и использование

данных как стратегического ресурса для улучшения клиентских предложений и оптимизации ценообразования.

Кроме того, инновационно-эволюционная концепция рассматривает цифровизацию как поэтапное развитие, основанное на технологических инновациях и изменении потребительского поведения. Эти подходы помогают компаниям создавать новые бизнес-модели, такие как омниканальные продажи и цифровой маркетинг, а также оценивать экономическую эффективность цифровых решений и стратегически трансформировать коммерческую деятельность в условиях цифровой экономики.

Ключевые слова: *Цифровизация, коммерческие, электронная, цифровая*

Introduction

In the modern era, globalization, the rapid development of information and communication technologies, and the intensification of the competitive environment have led to fundamental changes in the nature of commercial activity. In particular, the intensive implementation of digital technologies in economic relations has required the restructuring of mechanisms for organizing, managing, and implementing commercial processes. In this context, the digitalization of commercial activity acts not only as a technological innovation but also as a transformation of management approaches, business models, and market relations.

Within the context of digitalization, commercial processes become more flexible, transparent, and information-oriented. Traditional trade mechanisms are replaced by electronic platforms, automated systems, analytical tools, and digital communication channels, or integrated with them. As a result, enterprises gain the opportunity to more accurately identify customer needs, respond quickly to market changes, and use resources more efficiently.

The study of the scientific and theoretical foundations of these processes becomes possible through models and concepts explaining the digitalization of commercial activity. These theoretical approaches systematically explain the impact of digital technologies on the commercial value chain, the role of information as a strategic resource, the formation of platform-based economic relations, and the emergence of innovative business models.

Thus, this topic serves to understand the essence of the digital transformation of commercial activity, its economic and managerial mechanisms from a scientific perspective, as well as to justify the need for applying digital solutions in the modern business environment.

Analysis

Digitalization of commercial processes is one of the main factors creating structural and functional changes in the modern economic system. The analysis shows that this process is not limited to the application of technical tools, but also requires the restructuring of the conceptual foundations of planning, implementation, and control mechanisms in commercial activity [1]. Digital technologies transform the interaction of commercial entities with the internal and external environment into a more dynamic and information-oriented form [2].

A comparative analysis of theoretical models shows that the process-oriented approach focuses on increasing the operational efficiency of commercial activities. Within this model, digitalization serves to optimize the entire value chain rather than individual functions [3]. Automated procurement systems, digital logistics solutions, and electronic customer relationship management reduce commercial risks and create conditions for minimizing operational costs. However, the weakness of this model lies in the fact that it is more focused on improving existing processes than on strategic innovations [4].

The analysis of the platform concept reveals qualitative changes in the content of commercial processes. In this approach, digitalization creates new forms of interaction between market participants and transforms commercial activity into multifaceted ecosystems. The centralization of information flows through platforms, the formation of network effects, and the strengthening of economies of scale become the main sources of competitive advantages. At the same time, problems

also arise, such as the concentration of market power in the hands of individual entities and the risk of small enterprises becoming dependent on platform models [5].

The analysis of the resource-information model shows that in the digital era information has become the main strategic resource of commercial activity. Analytical systems and big data processing allow enterprises to predict market behavior, create personalized offers, and make scientifically grounded decisions. The advantage of this model is the reduction of uncertainty in commercial activity; however, information security and ethical issues remain the main limitations in its application [6].

The analysis of the innovation-evolutionary approach explains the digitalization of commercial processes as a gradual and continuous development process. According to this model, digital transformation is formed through the interaction of technological innovations, consumer behavior, and the institutional environment.

Overall, the analysis shows that the theoretical models of digitalization of commercial processes complement one another, and their integrated application provides more effective results. Under modern conditions, the success of commercial enterprises depends not only on the application of technologies, but also on the alignment of these technologies with strategic goals, their integration into organizational culture, and coordination with human capital development [7].

Table 1. Theoretical Models of Digitalization of Commercial Processes

Model / Concept	Essence of the Model	Main Digitalization Tools	Advantages	Limitations
Process Model	Considers commercial activity as a set of interconnected business processes.	• ERP systems • CRM • Automation of procurement and logistics	• Cost reduction • Increased transparency and manageability of processes • Operational efficiency improvement	• Limited focus on strategic innovations • Mainly aimed at optimizing existing processes
Platform Concept	Based on the formation of digital trading platforms and ecosystems.	• Marketplaces • Digital payment systems • API integrations	• Network effects • Market expansion • Economies of scale • Multi-sided interaction between participants	• Concentration of market power • Dependence of small businesses on platform operators
Resource-Information Model	Considers data as a key strategic resource in commercial activity.	• Big Data • BI (Business Intelligence) systems • Analytics of consumer behavior	• Personalization of offers • Demand forecasting • Evidence-based decision making • Reduction of uncertainty	• Risks of cybersecurity • Data privacy and confidentiality issues • Ethical concerns in data usage
Innovation-Evolutionary Concept	Digitalization as a gradual and long-term development process.	• Digital business models • Omnichannel sales • E-commerce • Cloud technologies	• Flexibility and adaptability to change • Support for innovation and new business models • Sustainable development	• High investment requirements • Need for organizational change • Long implementation period

Source: compiled by the author.

The presented table reflects a systematized approach to the analysis of theoretical models of digitalization of commercial processes and makes it possible to identify their substantive and functional features. It demonstrates that each model focuses on different aspects of commercial activity and interprets the role of digital technologies in modern economic conditions in different ways.

The process-oriented model is aimed at optimizing internal business processes and increasing operational efficiency through the automation and integration of information systems. It ensures the transparency of commercial operations and contributes to cost reduction; however, it addresses issues of strategic transformation and the creation of new business models to a lesser extent [8].

The platform concept demonstrates the transition of commercial activity toward network and ecosystem forms of organization. Within this model, digital platforms act as a key tool for coordinating interactions among market participants, creating network effects and expanding market opportunities. At the same time, the dependence of commercial entities on platform owners increases, as does the risk of market power concentration [9].

The resource-information model emphasizes the strategic importance of data as a key factor of competitiveness. The use of analytical tools and large data sets makes it possible to predict demand more accurately and create personalized commercial offers. At the same time, issues of information protection and confidentiality become especially relevant [10].

The innovation-evolutionary concept considers digitalization as a continuous and gradual process of commercial system development. It reflects the long-term nature of digital transformation and its dependence on technological, institutional, and behavioral factors. Despite its high potential for sustainable development, this model requires significant investment and managerial resources [11].

Overall, the table shows that none of the presented models is universal, while their integrated and complementary application makes it possible to reveal the essence of digitalization of commercial processes more fully and increase the efficiency of commercial activity in the digital economy [12].

Conclusion

The analysis demonstrates that digitalization of commercial processes, being one of the main directions of modern economic development, creates profound changes in the organizational, technological, and managerial foundations of commercial activity. Digital transformation makes the activities of commercial entities more flexible, information-oriented, and customer-oriented, significantly increasing their competitiveness in the market.

A comparison of theoretical models proves that process-oriented, platform, resource-information, and innovation-evolutionary approaches explain the digitalization of commercial processes from different perspectives and complement one another. These models clearly determine the influence of digital technologies on operational efficiency, value chain optimization, transformation of market relations, and strategic decision-making.

As a result, successful digitalization in commercial activity should not be limited only to the application of technical innovations but should also be coordinated with such factors as strategic management, organizational culture, human capital development, and information security.

References

1. Avdeeva, I. L. Digital transformation of commercial activities of enterprises. *Economics and Management*, 5(167), 45–52, 2019.
2. Afanasyev, V. G., & Kiseleva, N. A. *Information technologies in commerce and trade*. Moscow: Yurait, 2020.
3. Baranov, A. O., & Skuratov, A. K. Digital economy: essence and directions of development. *Bulletin of Economic Research*, 4, 12–19, 2018.
4. Belyaev, V. I. *Commercial activity in the digital economy*. Saint Petersburg: Piter, 2017.
5. Vasilyeva, E. V. Platform business models in digital commerce. *Marketing and Logistics*, 2(34), 27–35, 2021.
6. Golovenchik, G. G. Digitalization as a factor in increasing business competitiveness. *Economic Sciences*, 6(175), 84–90, 2019.
7. Ershova, N. A. *Electronic commerce and digital sales channels*. Moscow: Infra-M, 2020.

8. Kleiner, G. B. System economics and digital transformations. *Economic Science of Modern Russia*, 3(82), 7–18, 2018.
9. Kuznetsov, V. P., & Morozova, T. G. Big data in the management of commercial processes. *Management*, 9(1), 33–41, 2021.
10. Lapidus, L. V. Digital economy: management of e-business and e-commerce. Moscow: INFRA-M, 2019.
11. Mescon, M., Albert, M., & Khedouri, F. Fundamentals of Management. Moscow: Williams, 2018.
12. Sokolova, O. N. Analytical models of digitalization of trade processes. *Trade Bulletin*, 1, 59–66, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.36719/0873/04/15-19>**Fəxri Məmmədov**

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

Magistrant

<https://orcid.org/0009-0007-3287-2881>

fakhriM@risk.az

Bulud texnologiyalarının informasiya texnologiyalarında rolu və müəssisə sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasında tətbiqi

Xülasə

Bulud texnologiyaları müəssisələrin rəqəmsal transformasiyasını sürətləndirir. Bu texnologiya resursların internet üzərindən çevik istifadəsini, xərclərin optimallaşdırılmasını və xidmətlərin davamlılığını təmin edir. Məqalədə buludun xidmət modelləri, təhlükəsizlik məsələləri və müəssisələrə təsiri araşdırılmışdır.

Tədqiqat göstərir ki, bulud texnologiyalarının tətbiqi yalnız texniki keçid deyil, həm də təhlükəsizlik, idarəetmə və maliyyə nəzarəti ilə bağlı kompleks prosesdir.

Açar sözlər: *bulud texnologiyası, rəqəmsal transformasiya, IaaS, PaaS, SaaS, kibertəhlükəsizlik, FinOps, hibrid bulud, DevOps*

Giriş

XXI əsrdə rəqəmsallaşma, süni intellekt və böyük verilənlər daha çevik texnoloji mühitə ehtiyacı artırmışdır. Bu ehtiyacların qarşılanmasında bulud texnologiyaları mühüm rol oynayır. Bulud texnologiyası server, saxlama və proqram təminatı kimi resursların internet üzərindən xidmət formasında istifadəsinə imkan verir [1].

Bulud texnologiyaları resursların elastik idarə olunmasını təmin edir və müəssisələrə daha sürətli, çevik və avtomatlaşdırılmış idarəetmə imkanı yaradır. Bu yanaşma innovasiya sürətini və bazar tələblərinə uyğunlaşmanı artırır.

Bu gün bulud texnologiyaları biznes, təhsil, bank və dövlət sektorunda geniş istifadə olunur. Düzgün tətbiq edildikdə xidmət keyfiyyətini və təhlükəsizliyi artırır, lakin məlumat məxfiliyi, yanlış konfigurasiya və xidmət asılılığı kimi risklər də yaradır.

Bulud texnologiyalarının anlayışı və inkişaf xüsusiyyətləri

Bulud texnologiyası istifadəçilərə hesablama resurslarına çevik və tələb əsasında çıxış imkanı verir. NIST əsas xüsusiyyətlər kimi özünəxidmət, elastiklik və ölçülən xidməti göstərir [1]. Bu xüsusiyyətlər buludu ənənəvi hostingdən fərqləndirir.

ISO/IEC 17788 standartına görə bulud hesablaması paylaşılan fiziki və virtual resurslardan ibarət elastik modeldir [2]. İstifadəçi xidmətin hansı avadanlıqda işlədiyini bilmədən istifadə edə bilər. Bulud texnologiyalarının inkişafı virtualizasiya, konteyner və avtomatlaşdırma texnologiyaları ilə bağlıdır [3]. Bu yanaşma resurslardan daha səmərəli istifadəyə və çevik idarəetməyə imkan verir. IT şöbələri artıq yalnız avadanlıq deyil, xidmət dizaynı və təhlükəsizlik siyasətinə fokuslanır.

Bulud texnologiyaları müəssisələrə daha sürətli bərpa, qlobal xidmət imkanı və risklərə uyğunlaşma üstünlüyü verir. Buna görə bulud rəqəmsal iqtisadiyyatın əsas infrastruktur komponentlərindən birinə çevrilmişdir.

Xidmət modelləri və yerləşdirmə formaları

Bulud texnologiyalarında əsas xidmət modelləri IaaS, PaaS və SaaS hesab olunur. IaaS istifadəçiyə virtual server, saxlama və şəbəkə resursları təqdim edir, əməliyyat sistemi və tətbiqlərin idarə olunması isə istifadəçinin məsuliyyətində qalır. Bu model çeviklik tələb edən təşkilatlar üçün uygundur.

PaaS proqramçılara tətbiqləri qurmaq və yerləşdirmək üçün hazır mühit təqdim edir. Serverlərin və platforma komponentlərinin idarə olunması provayder tərəfindən həyata keçirilir. Bu yanaşma

innovasiya sürətini artırsa da, platformadan asılılıq riski yarada bilər. SaaS modelində hazır proqram təminatı internet üzərindən təqdim olunur. Elektron poçt, onlayn ofis alətləri və əməkdaşlıq platformaları buna nümunədir. Bu model rahat olsa da, identiklik idarəetməsi, audit qeydləri və müqavilə şərtləri diqqətlə qiymətləndirilməlidir.

Bulud yerləşdirmə modelləri ictimai, özəl, hibrid və çoxbulud formasında qruplaşdırılır [1]. İctimai bulud geniş istifadəçi kütləsinə xidmət edir, özəl bulud isə bir təşkilat üçün xüsusi qurulur. Hibrid bulud lokal və bulud resurslarının birlikdə istifadəsini, çoxbulud isə bir neçə provayderdən istifadəni ifadə edir.

Müasir müəssisələrdə hibrid və çoxbulud yanaşmaları daha çox istifadə olunur. Bunun səbəbi bəzi sistemlərin lokal mühitdə qalması, hüquqi tələblər və bir provayderdən asılılığın risk yaratmasıdır. Buna görə bulud strategiyası texniki imkanlarla yanaşı hüquqi, maliyyə və əməliyyat tələblərinə əsasən formalaşdırılmalıdır.

Bulud arxitekturası, virtualizasiya və konteynerləşmə

Bulud arxitekturası virtual resurslar, şəbəkə və təhlükəsizlik servislərinin birlikdə işləməsinə əsaslanır. Virtualizasiya resurs istifadəsini optimallaşdırır və sistemlərin daha sürətli bərpaasını təmin edir.

Konteyner texnologiyaları və Kubernetes platformaları tətbiqlərin yerləşdirilməsi və idarə olunmasını avtomatlaşdırır. Cloud native yanaşma çevik və davamlı sistemlərin qurulmasına yönəlmişdir [11]. Mikroservis arxitekturası tətbiqləri müstəqil xidmətlərə bölərək çeviklik və miqyaslanma imkanı yaradır, lakin əlavə təhlükəsizlik və monitorinq tələb edir.

Bulud arxitekturasında avtomatlaşdırma əsas rol oynayır. İnfrastrukturun kod kimi idarə olunması insan səhvlərini azaldır və təhlükəsizlik nəzarətlərini gücləndirir. AWS Well-Architected Framework və digər çərçivələr təhlükəsiz və dayanıqlı sistemlərin qurulmasını tövsiyə edir [7], [6], [8].

Bulud təhlükəsizliyi və məsuliyyət bölgüsü

Bulud texnologiyalarında təhlükəsizlik əsas məsələlərdəndir. Məsuliyyət provayder və müştəri arasında bölüşdürülür. Provayder infrastruktur, müştəri isə məlumatların idarəsi və giriş nəzarətini qoruyur.

Ən böyük risklərdən biri yanlış konfigurasiyadır. Açıq saxlama, zəif identiklik siyasəti və artıq giriş hüquqları məlumat sızmasına səbəb ola bilər. Buna görə ən az imtiyaz prinsipi, çoxfaktorlu autentifikasiya və audit mexanizmləri vacibdir [12]. Məlumatlar saxlanma və ötürülmə zamanı şifrələnməlidir.

Monitorinq və hadisə cavabı da mühüm rol oynayır. Audit qeydləri və təhlükə aşkarlama sistemləri risklərin vaxtında müəyyən edilməsinə kömək edir. Cloud Controls Matrix və ENISA çərçivələri bulud risklərinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur [9], [10]. Təhlükəsizlik tələbləri dizayn mərhələsindən nəzərə alınmalıdır.

Müəssisələrdə tətbiq strategiyası və migrasiya mərhələləri

Bulud texnologiyalarının tətbiqi planlı strategiya tələb edir. İlk mərhələdə IT mühiti, tətbiqlər, məlumatlar və təhlükəsizlik tələbləri qiymətləndirilməlidir. Əks halda migrasiya əlavə xərclər və təhlükəsizlik riskləri yarada bilər. Microsoft Cloud Adoption Framework bu prosesi strategiya, planlama, hazırlıq, tətbiq və optimallaşdırma mərhələləri ilə izah edir [6].

Migrasiya müxtəlif yanaşmalarla həyata keçirilir. Bəzi sistemlər olduğu kimi buluda köçürülür, digərləri isə cloud native prinsipləri ilə yenidən qurulur. Sürətli köçürmə qısa müddətdə faydalı olsa da, uzunmüddətli problemlər yarada bilər. Yenidən dizayn isə daha çevik və səmərəli nəticə verir. Buluda keçid zamanı tətbiqlərin prioritetləşdirilməsi vacibdir. Pilot layihələr komandaya təcrübə qazandırır və təhlükəsizlik, performans, ehtiyat nüsxə və xərclərin yoxlanılmasına imkan yaradır. Uğurlu migrasiya yalnız texniki yerləşdirmə deyil, istifadəçi məmnuniyyəti və idarəetmə proseslərinin uyğunlaşdırılmasıdır.

Bulud mühitində DevOps və DevSecOps yanaşmaları koordinasiyanı və təhlükəsizliyi gücləndirir. Uğurlu bulud strategiyası biznes məqsədlərinə uyğun qurulmalıdır. Məqsəd xərclərin azaldılmasırsa optimallaşdırma, sürətli inkişafdırsa avtomatlaşdırma, davamlılıqdırsa çoxregionlu arxitektura prioritet seçilməlidir.

Bulud texnologiyalarının iqtisadi təsiri və FinOps yanaşması

Bulud texnologiyalarının əsas üstünlüklərindən biri xərclərin çevik idarə olunmasıdır. Ənənəvi modeldə müəssisələr avadanlığa əvvəlcədən böyük kapital yatırımı etdiyi halda, bulud modelində istifadə olunan xidmətə görə ödəniş edilir. Lakin nəzarətsiz istifadə xərclərin sürətlə artmasına səbəb ola bilər. Avtomatik miqyaslandırma, məlumat saxlanması, şəbəkə istifadəsi və test mühitləri düzgün idarə olunmadıqda büdcə riskləri yaranır.

FinOps yanaşması bulud xərclərinin idarə olunmasında texniki komandalar, maliyyə şöbəsi və rəhbərliyin birlikdə işləməsinə nəzərdə tutur. Məqsəd yalnız xərcləri azaltmaq deyil, xərclərin biznes dəyərinə uyğunluğunu təmin etməkdir. Bu baxımdan etiketləmə, büdcə xəbərdarlıqları və hesabat mexanizmləri mühüm rol oynayır. Bulud resurslarının düzgün ölçülməsi də vacibdir. Bəzi tətbiqlər ehtiyacdan böyük resurslardan istifadə edir və ya istifadə olunmayan saxlama obyektləri yüksək xərc yaradır. Buna görə resurslar davamlı izlənməli və biznes tələblərinə uyğun optimallaşdırılmalıdır.

Bulud texnologiyaları kiçik və orta bizneslər üçün də yeni imkanlar açmışdır. Böyük hesablama gücü və ehtiyat infrastrukturunu artıq yüksək kapital tələb etmədən əldə edilə bilər. Bu, innovasiyanı və rəqabəti gücləndirir, lakin səmərəli istifadə üçün texniki bilik və düzgün idarəetmə vacibdir. Buludun iqtisadi təsiri yalnız xərclərlə ölçülür. Sistemlərin daha sürətli hazırlanması, bazara çıxış müddətinin azalması və müştəri təcrübəsinin yaxşılaşması da mühüm dəyər yaradır. Buyya və digər müəlliflər buludu hesablama resurslarının xidmət kimi təqdim olunması modeli ilə əlaqələndirirlər [4].

Buludda verilənlərin idarə olunması və analitika imkanları

Bulud texnologiyaları böyük həcmli məlumatların saxlanması, emalı və təhlilini asanlaşdırır. Obyekt saxlama, paylanmış verilənlər bazaları və analitika xidmətləri müəssisələrə avadanlıq idarə etmədən məlumat üzərində işləməyə imkan verir.

Məlumat anbarı strukturlaşdırılmış məlumatları, data lake işə müxtəlif tip məlumatları saxlamaq üçün istifadə olunur. Bu yanaşmalar birlikdə analitika və süni intellekt tətbiqlərini dəstəkləyir. Lakin əsas məsələ məlumatın keyfiyyəti və düzgün idarə olunmasıdır. Bulud analitikası real vaxt qərarverməsinə gücləndirir. Elektron ticarət, bank və sənaye sektorlarında istifadəçi davranışı, əməliyyat anomaliyaları və avadanlıq riskləri daha tez təhlil edilə bilər. Bu da buludu yalnız saxlama deyil, qərarvermə platformasına çevirir.

Məlumatların buludda idarə olunması zamanı məxfilik və uyğunluq vacibdir. Həssas məlumatlar şifrələnməli, girişlər məhdudlaşdırılmalı və audit izlənilirliyi təmin edilməlidir. Buludun əsas üstünlüklərindən biri çevik genişlənmədir. Məlumat artdıqca saxlama resursları asanlıqla artırıla bilər. Lakin düzgün arxiv siyasəti və məlumat idarəetməsi həm xərcləri, həm də təhlükəsizlik risklərini azaltmaq üçün vacibdir.

Risqlər, uyğunluq və xidmət keyfiyyəti məsələləri

Bulud texnologiyaları geniş imkanlar yaratsa da, risklərin düzgün idarə olunmasını tələb edir. Əsas risklərdən biri vendor lock-in, yəni bir provayderdən asılılıqdır. Açıq standartlar, konteynerləşmə və məlumat ixrac planları bu riski azaltmağa kömək edir.

Uyğunluq məsələləri xüsusilə bank, səhiyyə və dövlət sektorunda vacibdir. Məlumatların saxlanması, audit və giriş nəzarətləri ciddi qaydalarla tənzimlənir. Provayderin sertifikatları kifayət deyil, müəssisə öz təhlükəsizlik proseslərini ayrıca idarə etməlidir. Xidmət səviyyəsi razılaşmaları da diqqətlə qiymətləndirilməlidir. Yüksək əlçatanlıq vədi olsa belə, zəif arxitektura biznes dayanmasına səbəb ola bilər. Buna görə yalnız provayder deyil, sistem dizaynı da vacibdir.

Bulud mühitində insan faktoru böyük risk yaradır. Səhv giriş hüquqları, zəif parollar və təcrübəsiz idarəetmə ciddi problemlərə səbəb ola bilər. Bu riskləri azaltmaq üçün təlim, siyasət əsaslı idarəetmə və avtomatik nəzarət mexanizmləri tətbiq edilməlidir. Risklərin azaldılması üçün müəssisə əvvəlcədən bulud idarəetmə modeli qurmalıdır. Buraya resurs idarəetməsi, təhlükəsizlik monitorinqi, ehtiyat nüsxə siyasəti və xərclərin nəzarəti daxildir. NIST Cloud Computing Standards Roadmap standartlaşdırmanın təhlükəsizlik və sabitlik baxımından vacibliyini vurğulayır [5].

Bulud texnologiyalarının Azərbaycanda və regional müəssisələrdə perspektivləri

Azərbaycanda və region ölkələrində rəqəmsallaşma bulud texnologiyalarına marağı artırır. Elektron dövlət xidmətləri, rəqəmsal bankçılıq, distant təhsil və onlayn səhiyyə sistemləri bulud

infrastrukturundan geniş istifadə edir. Bulud texnologiyaları xidmətlərin əlçatanlığını, təhlükəsizliyini və çevik miqyaslanmasını təmin edir.

Buludun əsas üstünlüklərindən biri ilkin sərmayə yükünü azaltmasıdır. Kiçik və orta biznes öz məlumat mərkəzini qurmadan müasir proqram və xidmətlərdən istifadə edə bilər. Lakin internet sabitliyi, məlumatların saxlanma yeri və mütəxəssis çatışmazlığı kimi problemlər nəzərə alınmalıdır. Dövlət və kritik infrastruktur sahələrində daha çox özəl və hibrid bulud yanaşmaları tətbiq olunur. Bu sahələrdə məlumatların ölkə daxilində saxlanması və təhlükəsizlik auditləri vacibdir. Təhsil müəssisələrində isə bulud texnologiyaları virtual laboratoriyalar və onlayn əməkdaşlıq mühiti yaradaraq praktiki tədrisi gücləndirir.

Regional inkişaf üçün yalnız bulud xidmətlərindən istifadə kifayət deyil. Bulud təhlükəsizliyi, DevOps, məlumat idarəetməsi və uyğunluq üzrə yerli mütəxəssis hazırlığı da artırılmalıdır. Bu yanaşma innovasiya və xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə kömək edir.

Gələcək inkişaf istiqamətləri

Bulud texnologiyalarının inkişafında əsas istiqamətlərdən biri edge computing-dir. Bu yanaşma hesablama resurslarını istifadəçiyə yaxınlaşdıraraq gecikməni azaldır və real vaxt emalını sürətləndirir. Digər istiqamət serverless arxitektura. Burada proqramçı server idarə etmir, kod yalnız hadisə baş verdikdə işləyir. Bu model çevik və avtomatik miqyaslanma biləndir, lakin provayder asılılığı və monitoring çətinlikləri yarada bilər.

Süni intellekt və buludun birləşməsi də mühüm inkişaf istiqamətidir. Bulud provayderləri maşın öyrənməsi və generativ AI xidmətlərini daha əlçatan edir. Bununla yanaşı, məlumat məxfiliyi, etik istifadə və xərclərin idarəsi vacib olaraq qalır. Davamlılıq və enerji səmərəliliyi də ön plana çıxır. Resursların optimallaşdırılması və lazımsız sistemlərin söndürülməsi həm xərcləri, həm də enerji sərfiyyatını azaldır [8].

Gələcəkdə bulud texnologiyaları daha avtomatlaşdırılmış və ağıllı idarəetmə modelinə keçəcək. Süni intellekt dəstəkləyən sistemlər təhlükəsizlik risklərini və nasazlıqları daha tez müəyyən edə biləcək, lakin strateji qərarlarda insan rolu qalacaq.

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, bulud texnologiyaları müasir informasiya texnologiyalarının əsas istiqamətlərindən biridir. Bulud modeli müəssisələrə resurslardan tələb əsasında istifadə etməyə, tətbiqləri sürətlə yerləşdirməyə və xidmət imkanlarını genişləndirməyə şərait yaradır.

Bununla yanaşı, yanlış konfigurasiya, məlumat məxfiliyi, uyğunluq tələbləri, xidmət asılılığı və nəzarətsiz xərclər kimi risklər də mövcuddur. Bu səbəbdən bulud strategiyası təhlükəsizlik, maliyyə idarəetməsi, düzgün arxitektura və təşkilati dəyişikliklər nəzərə alınaraq hazırlanmalıdır.

Bulud texnologiyalarından səmərəli istifadə yalnız texniki migrasiya deyil, həm də iş yüklərinin təhlili, xidmət modelinin seçilməsi, təhlükəsizlik nəzarətlərinin tətbiqi və davamlı optimallaşdırma tələb edir. Nəticə olaraq, düzgün planlaşdırılmış bulud strategiyası müəssisələrə çeviklik, etibarlılıq, təhlükəsizlik və innovasiya üstünlüyü qazandıra bilər.

Ədəbiyyat

1. Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology, Special Publication 800-145. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
2. ISO/IEC. (2014). ISO/IEC 17788:2014 Information technology - Cloud computing - Overview and vocabulary. International Organization for Standardization.
3. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. Communications of the ACM, 53(4), 50-58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
4. Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., & Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. Future Generation Computer Systems, 25(6), 599-616.

<https://doi.org/10.1016/j.future.2008.12.001>

5. Hogan, M., Liu, F., Sokol, A., & Tong, J. (2013). NIST Cloud Computing Standards Roadmap, Special Publication 500-291, Version 2. National Institute of Standards and Technology.
6. Microsoft. (2025). Microsoft Cloud Adoption Framework for Azure. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/>
7. Amazon Web Services. (2024). AWS Well-Architected Framework. Amazon Web Services Documentation. <https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/framework/welcome.html>
8. Google Cloud. (2026). Google Cloud Well-Architected Framework. Google Cloud Architecture Center. <https://docs.cloud.google.com/architecture/framework>
9. Cloud Security Alliance. (2026). Cloud Controls Matrix and CAIQ v4.1. Cloud Security Alliance. <https://cloudsecurityalliance.org/artifacts/cloud-controls-matrix-v4-1>
10. European Union Agency for Cybersecurity. (2009). Cloud Computing: Benefits, risks and recommendations for information security. ENISA.
11. Cloud Native Computing Foundation. (2024). Cloud Native Definition v1.1. CNCF Technical Oversight Committee. <https://github.com/cncf/toc/blob/main/DEFINITION.md>
12. Jansen, W., & Grance, T. (2011). Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing. NIST Special Publication 800-144. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-144>

Scaling B2B SaaS Startups in Emerging Digital Economies: Challenges and Strategies in the Baltics

Abstract

Entrepreneurship is often defined as the process of identifying an opportunity or problem within a market and developing a solution that can be monetized. While this definition originates from traditional business models, it remains relevant in the digital era, nevertheless, with the complexities. The shift toward digital economies has enabled the reevaluation of whether traditional growth models can still be considered applicable in addressing the unique challenges of modern and digitally driven business models, particularly software startups. These developments point to the growing dominance of software and, more specifically, SaaS (software-as-a-service) as a common or core business model in the global digital economy (Ventura, 2024). A closer look at the revenue streams of these companies also highlights a predominant reliance on B2B (business-to-business) operations, such as AWS (Amazon Web Services) or Microsoft's enterprise cloud solutions, rather than direct consumer sales. This examination supports the idea of increasing importance of B2B SaaS models, and forms the basis for this research: to examine the scaling strategies and challenges of B2B SaaS startups. While product innovation or product-market-fit remain the key enablers, strategic communication, particularly in digital channels, has become equally essential in achieving and maintaining sustainable growth. From building trust in unfamiliar markets to succeeding in intercultural messaging, communication strategies directly impact the ability of a startup to scale. While the majority of the research available in the existing literature has focused on mature ecosystems like Silicon Valley, there is limited knowledge about how such companies grow in emerging digital economies. Hence, this study focuses on the Baltic region countries as Estonia, Latvia, and Lithuania, whose combined population is under 6 million, yet has produced 15 unicorns so far. Considering all the mentioned facts and observations, this research aims to uncover the specific growth challenges, success factors, and communication strategies experienced by B2B SaaS startups in emerging digital economies, using the Baltics as a case study.

Introduction

Entrepreneurship is often defined as the process of identifying an opportunity or problem within a market and developing a solution that can be monetized. While this definition originates from traditional business models, it remains relevant in the digital era, nevertheless, with the complexities. The shift toward digital economies has enabled the reevaluation of whether traditional growth models can still be considered applicable in addressing the unique challenges of modern and digitally driven business models, particularly software startups.

Looking at the current global market landscape, 7 out of the world's 10 largest companies by market capitalization were founded within the past 30 years. Notably, half of these companies, such as Microsoft, Amazon, etc., are software-driven enterprises. Even Apple, which primarily sells hardware devices, owes a significant part of its success to its proprietary software ecosystem. These developments point to the growing dominance of software and, more specifically, SaaS (software-as-a-service) as a common or core business model in the global digital economy (Ventura, 2024).

A closer look at the revenue streams of these companies also highlights a predominant reliance on B2B (business-to-business) operations, such as AWS (Amazon Web Services) or Microsoft's enterprise cloud solutions, rather than direct consumer sales. This examination supports the idea of increasing importance of B2B SaaS models, and forms the basis for this research: to examine the scaling strategies and challenges of B2B SaaS startups.

While product innovation or product-market-fit remain the key enablers, strategic communication, particularly in digital channels, has become equally essential in achieving and maintaining sustainable growth. From building trust in unfamiliar markets to succeeding in intercultural messaging, communication strategies directly impact the ability of a startup to scale. While the majority of the research available in the existing literature has focused on mature ecosystems like Silicon Valley, there is limited knowledge about how such companies grow in emerging digital economies.

Hence, this study focuses on the Baltic region countries as Estonia, Latvia, and Lithuania, whose combined population is under 6 million, yet has produced 15 unicorns so far. Estonia alone, with its population of just 1.3 million people, has hosted the highest number of unicorns from the region with 9 unicorns (Invest in Estonia, 2023). Lithuania, which has ties to already 4 unicorns (Startup Lithuania, 2024), alongside Latvia, has also contributed significantly to the region's tech ecosystem (Vrcic, 2024).

Background

Nevertheless, having bordered each other for a thousand years and sharing similar historical paths and cultural values, these countries underwent similar digital transitions, yet reached different stages of maturity. Estonia leads the region with a globally recognized startup environment, raising important questions about what factors contribute to such division. It should be mentioned that those markets are relatively less mature in comparison to the startup capitals of the world, such as Silicon Valley, New York, and London (Startup Genome, 2024).

Moreover, the Baltic region is nowhere near comparable to China, which has a domestic market large enough for a startup to grow from seed stage to unicorn status without ever expanding beyond its borders (Moffat, 2018). Such factors of introducing a product to a relatively small market often force these local founders to think globally from the start. Therefore, how they communicate their value proposition and attract foreign customers to grow further, the region becomes more essential for the players from emerging digital markets such as the Baltics.

Considering all the mentioned facts and observations, this research aims to uncover the specific growth challenges, success factors, and communication strategies experienced by B2B SaaS startups in emerging digital economies, using the Baltics as a case study. The findings will provide actionable insights for founders, investors, and local business development institutions seeking to support early-stage tech ventures in similar markets.

The Baltic region, which consists of Estonia, Latvia, and Lithuania, has gained global recognition for its rapid digital transformation and startup landscape. Such transition presents both opportunities and challenges for the emerging B2B SaaS ecosystem, which is now playing a measurable role in driving economic growth across the region. In 2021, startups in Lithuania, Estonia, and Latvia generated approximately €1.8 billion, €1.4 billion, and €0.4–0.5 billion in revenue, respectively. As quoted by Rokas Šalaševičius, Estonia has historically led the startup movement. By 2021, more than 1300 startups were registered in Estonia, compared to over 1100 in Lithuania and over 600 in Latvia. Considering Estonia's population of 1.3 million people at the given time, this is equal to roughly 1 startup per every 1000 residents, which highlights the maturity and density of its startup ecosystem (Šalaševičius, 2024).

These figures not only reflect the entrepreneurial activity in the region but also emphasize the importance of understanding the dynamics of scaling within such a unique economic and demographic context. Moreover, considering the global success of the Baltic startups, it emphasizes the fact that success often depends not only on the product-market fit and technical infrastructure, but also on the ability to communicate these unique values and benefits to the target audience. This relatively small population base, combined with rapid digital adaption, enables a exciting environment to explore the factors influencing startup growth, particularly for B2B SaaS enterprises that face different challenges compared to the consumer-focused or hardware-driven businesses and what's the role of communication in terms of building visibility, trust and credibility across borders for the players of this small but digitally ambitious region.

Problem Statement

To describe the start-up ecosystem in the Baltic region, not only the revenue and the number of startups but also the number of unicorns from the region should be considered. While Latvia introduced its first unicorn, Printful, in 2021 (Investment and Development Agency of Latvia, n.d.), this number for Lithuania stands at 3 (LRT.lt, 2023), and Estonia leads the region with 10 unicorns by 2025. (Invest Estonia, 2023)

Nevertheless, such success of these small economies in comparison to highly developed Western and US markets has not been analyzed with a scientific approach and a communication-focused perspective, particularly in terms of how these startups overcome scaling challenges through strategic communication. Although there is growing literature on the startup growth in general, a few studies address how B2B SaaS companies in emerging digital economies utilize communication, whether for digital, intercultural, or investor-focused channels to support international expansion, attract high-quality talents to accelerate the company growth, and engage stakeholders across the region.

Considering the significance and value of such research for early-stage start-up founders not only from the Baltic region but also from other emerging markets, as well as for local business development authorities, economic institutions, this study aims to contribute to filling the existing literature gap. Moreover, the research is expected not only to address these questions within a scientific framework but also to provide practical applications of communication strategies based on real-world cases that reflect common challenges in the B2B SaaS environment.

Objective

The objective of this research is to understand the reasoning behind the success of local startups from the Baltic region and compare it with the current stage of market maturation. By doing so, the researcher aims to identify the challenges these startups have experienced and the strategies that either succeeded or failed in overcoming them. Special attention will be paid to the role of strategic communication in this process, including how these startups position themselves, attract global stakeholders, and manage customer and investor relations during the scaling phase and how these factors eventually impact their success.

The goal is to offer insights for future founders that serve not only as a scientific contribution but practical communication guide, which would enable a clearer image of such markets and guide them to develop their effective go-to-market strategies. Given such a unique combination of factors - being founded in developing economies with halfmature start-up ecosystems and yet still reaching unicorn status- this study will examine Latvia, Lithuania, and Estonia to understand what enables their success.

The research will explore key elements such as the role of accelerator and incubation commitments, communication dynamics with venture capital interactions, the influence of media visibility, and how those factors impact the growth trajectories of the examined B2B SaaS startups.

The findings are expected to assist current and future founders in making informed decisions about their market entry, communication management, and stakeholder engagement. In addition, findings from the research can also guide them in terms of technical and bureaucratic decision-making such as where to register their start-ups, the local benefits and challenges, etc. Therefore, the findings of this research can be used not only by founders and investors but also by local policymakers and business development institutions involved in attracting startups to their country and eventually increasing tax revenue through sustained entrepreneurial activity.

Scope and Approach

Due to the rapidly evolving nature of the research topic, the traditional academic sources, such as books or older journal articles, will not be quoted as heavily. As the market landscape shifts constantly, the available data and ecosystem dynamics change on a near-daily basis. Therefore, the researcher will rely more on dynamic and real-time sources of information from the startup ecosystem as described above to ensure the data's relevancy and accuracy.

Preliminary Literature Review

Following the selection of the topic focused on the development challenges of the B2B SaaS startups in the Baltic region, a preliminary literature review was planned and conducted by the author. As this part represents only the initial stage of the comprehensive literature review that is planned to be completed during the first year of the research, a number of scientific papers and articles were reviewed. To achieve this, the author researched and ranked relevant sources based on their relevance to the topic, regional context, and recency. The main consideration was the papers focusing on startups, researching Baltic countries, and being no older than five years, due to the field's volatility in terms of research and development.

The Baltic countries, home to over 10 unicorns (a privately-owned startup worth more than \$1 billion), share similar histories and geography but offer quite different environments for earlystage startups. A significant finding from the region is the role of government in terms of communication strategies, particularly in Estonia. The government of Estonia is running aggressive digital branding measures for the country. This includes e-residency, start-up visas, and innovative public outreach, which have enhanced Estonia's international visibility and attractiveness as a digital hub for talent and investment resources. (Menshikov, 2020)

As a leader in the unicorn race within the region, Estonia's initiatives serve as a significant example of how well-coordinated communication efforts can build a strong brand of startup ecosystem, ultimately supporting the scaling of startups through increased investor confidence and international reach. However, Estonia's small population also presents challenges, such as a lack of relevant talent in the employer market or high competition for skilled workers. Therefore, these branding efforts not only attract foreign investment or companies but also place a responsibility on the government to encourage international talent to relocate to Estonia and contribute to the local startup ecosystem. (Menshikov, Ruza, & Semeneca, 2024)

Nevertheless, with the described efforts from the Estonian government, Lithuania surpassed Estonia in 2021 in the number of startups per country. Meanwhile, Lithuania hosted 1527 startups in 2021, while the number for Estonia was 1301. Latvia is significantly falling behind these 2 Baltic countries in the number of registered startups. (Vonoga & Kļaviņa, 2022)

This data can be interpreted from a different perspective that, nevertheless, Lithuania has a higher number of registered startups, and the number of unicorns is lower in comparison to Estonia. It means that the maturity of the digital economy, even in the early or pre-developed stage, impacts the success of established startups. The local startup ecosystem, support from the government, partnership opportunities, access to investors and mentors, co-marketing initiatives, etc., can be essential during the journey to success for the startups. However, aside from these pragmatic assumptions, understanding the fundamental factors that contribute to the success of startups in Lithuania and Estonia can help to develop future strategies for scaling B2B SaaS startups in the region. Also, the experienced disproportion in Latvia's startup ecosystem highlights the need to investigate the differences within those very similar yet different economies and identify key challenges. (Vonoga & Kļaviņa, 2022)

The research by Aija and Baiba (Vonoga & Kļaviņa, 2022) also quotes that nevertheless, Latvian startups have secured the highest amount of investments in 2021 (more than €247M), yet the correlation still doesn't exist in this context within the number of either registered startups or unicorns which can be considered as the peak level of acceleration success in Baltic region. Another interesting finding here is the fact that, although the local startup associations in Estonia and Lithuania are state-owned, the Latvian one was founded last and is an NGO that relies on member fees and lacks government support. This point also supports the idea of statebacked startup models provide better and more established environments for SaaS companies to scale in Estonia and Lithuania in comparison to Latvia, which lacks institutional support.

Aija and Baiba (Vonoga & Kļaviņa, 2022) suggest a unified Baltic startup platform to encourage collaboration, knowledge exchange, and funding opportunities. Such a model of networking could be capable of addressing a lack of resources and market limitations. The general suggestion in this model is the need for at least regional communication and enabling access to Western European markets with the help of ecosystem-level collaboration and digital collaborations.

Itzhak Mashiah (Mashiah, 2024) also suggests that SaaS startups need to develop a strong brand narrative on different media channels before entering new markets or seeking funding. The author also refers to the essence of trust and credibility, especially in digital economies where stakeholders may be skeptical about new companies or new ideas. This idea also supports the idea of building a strong brand image or even the personal branding of the founder. Thought leadership and executive-level branding, and correct brand positioning impact positively to align with investor expectations and increase credibility in emerging economies. (Mashiah, 2024)

Meanwhile, Faezeh & Kambiz (Rasoulia, Smith, & Lee, 2023) agree with Itzhak M. on executive branding and thought leadership; they also quote that social proof and customer advocacy programs can also help establish credibility in digital-first economies. The new idea suggested by them is how to craft marketing communication while discovering markets. Customer feedback and data analytics provide founders with a better view of market-entry-related decision-making. Such availability combines both rational analysis and intuition. While the paper highlights the essence of adaptive marketing measures such as localized content for new markets or account levels, since we are talking about B2B, it suggests 3 effective communication strategies for early-stage startups, which are cross-cultural communication, industry thought leadership, and customer-centric messaging. Lastly, referral programs and WOM (word of mouth marketing) are considered significantly important for digital-first economies and building an online presence. Such an initiative can also be supported by collaboration with industry influencers and leveraging early adopters with the help of online communities. (Rasoulia, Smith, & Lee, 2023)

To conclude this preliminary literature review, the analysis of several scientific research studies highlights the decisive role of communication strategies in scaling B2B SaaS startups in the Baltic region. These strategies influence everything from brand storytelling to investor confidence, talent acquisition, and global market entry. While the Estonian model demonstrates the power of a state-backed, aggressive digital branding approach, Lithuania's recent growth suggests that market and ecosystem maturity are essential for long-term success. In the case of Latvia, despite securing the highest investment in the region for a certain period, it is still falling behind, underscoring the need for a unified Baltic ecosystem network and greater ecosystem-level collaboration. Moreover, executive branding, thought leadership, social proof, word-of-mouth marketing, and market-adapted communication can play a vital role in building trust and enabling a constant customer feedback loop for better decision-making. As this research progresses, the author will further analyze and provide deeper insights into the relationship between communication management, international expansion, and ecosystem-level collaboration, to define a scalable communication model for B2B startups in emerging digital economies such as the Baltics.

Conclusion

This research aims to contribute to the existing body of knowledge on scaling startups by providing a comprehensive analysis of the strategies and challenges specific to B2B SaaS startups in the Baltic region. The study seeks to address the gap in the current academic literature by exploring the unique dynamics of the Baltic ecosystem, including the role of government involvement, digital branding, and communication management strategies. By addressing this gap, practical insights will be offered to startup founders, local business development institutions, policymakers, and investors.

The finding will not only highlight the key success factors for scaling B2B SaaS startups in the Baltic region but also provide actionable insights on how to effectively use strategic communication, positioning, messaging, and ecosystem-level collaboration. Furthermore, the research will serve as a valuable resource for early-stage startup founders who are navigating the challenges of new market entry, talent acquisition, and investment attraction in emerging digital economies.

Although the research will be focusing on the Baltic region, its implications extend beyond the region. The researcher aims to generate insights that will be applicable to other emerging digital markets, such as CIS countries, Eastern Europe, and similar regions. Given the rapid growth of digital economies, one potential limitation of this research is the volatility of the market conditions and local

regulatory environment, which may evolve during the course of the study. Future research could be built on this work by examining comparative studies, analyzing both quantitative and qualitative data findings, and incorporating the role of AI (artificial intelligence) and automation depending on the development stage or the year of their research. Finally, this research aims to advance both theoretical understanding and practical implementation in the areas of communication management, digital branding, and growth strategies for B2B SaaS startups founded or operating in emerging digital economies.

References

1. Ventura, L. (2024, September 18). World's largest companies in 2024. Global Finance Magazine. <https://gfmag.com/data/biggest-company-in-the-world/>
2. Vrcic, T. (2024, February 8). Innovation in the Baltics: 10 promising Latvian startups everyone should keep an eye on in 2024. EU-Startups. <https://www.eustartups.com/2024/02/innovation-in-the-baltics-10-promising-latvian-startups-everyoneshould-keep-an-eye-on-in-2024/>
3. Startup Lithuania. (2024, August 21). New overview of the startup ecosystem: 9 unicorns already associated with Lithuania. <https://www.startuplithuania.com/news/new-overviewof-the-startup-ecosystem-9-unicorns-already-associated-with-lithuania/>
4. Invest in Estonia. (2023, March). The full list of Estonian unicorns. <https://investinestonia.com/the-full-list-of-estonian-unicorns/>
5. Startup Genome. (2024). Global Startup Ecosystem Report 2024. <https://startupgenome.com/report/gser2024>
6. Moffat, R. (2018, May 5). When should your startup expand into international markets? VentureBeat. <https://venturebeat.com/entrepreneur/when-should-your-startup-expandinto-international-markets/>
7. Civitta. (2023). The Baltic startup scene: Today's realities, tomorrow's possibilities. <https://civitta.com/news-insights/the-baltic-startup-scene-todays-realities-tomorrowspossibilities-2/?t>
8. Menshikov, V., Ruza, O., & Semeneca, J. (2020). Startup ecosystems: The experience of Latvia, Lithuania, Estonia. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), 137–151. https://jssidoi.org/jesi/uploads/articles/44/Menshikov_Startup_ecosystems_the_experience_of_Latvia_Lithuania_Estonia.pdf
9. Vonoga, A., & Kļaviņa, B. (2022). Analysis of start-up development registered in the associations in the Baltic States. In *Research for Rural Development 2022: Annual 28th International Scientific Conference Proceedings* (pp. 240–246). https://www2.llu.lv/research_conf/proceedings2022/docs/LBTU_LatviaResRuralDev_28th_2022-240-246.pdf
10. Mashiah, I. (2024). Strategic media messaging of startups and entrepreneurs before initial public offering (IPO). *European Journal of Business Science and Technology*, 10(2), 205–224. <https://www.ejobsat.cz/pdfs/ejo/2024/02/06.pdf>
11. Hanifzadeh, F., Talebi, K., & Rasoulilian, P. (2023). Decision-making in scaling up internationalised start-ups. *Decision-Making in International Entrepreneurship: Unveiling Cognitive Implications Towards Entrepreneurial Internationalisation* (Chapter 6). Emerald Publishing. https://www.researchgate.net/publication/371594964_Decisionmaking_in_Scaling_Up_Internationalised_Start-ups

Nihat Əliyev

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Magistrant

<https://orcid.org/0009-0000-2658-7792>

aliyev.nihat.rasim.2024@asoiu.edu.az

Kompüter sistemlərinin penetrasiya testində zəifliklərin aşkarlanması və risklərin idarə olunması

Xülasə

Müasir informasiya sistemləri müəssisələrin əsas texnoloji dayaqıdır və onların təhlükəsizliyi daimi nəzarət tələb edir. Penetrasiya testi sistemlərdəki texniki və təşkilati zəifliklərin planlı və sübutlara əsaslanan şəkildə yoxlanılması prosesidir. Məqalədə penetrasiya testinin mərhələləri, risk qiymətləndirilməsi, hesabatlandırma və bərpa tədbirləri araşdırılır. Tədqiqat göstərir ki, penetrasiya testi yalnız texniki yoxlama deyil, həm də biznes risklərinin idarə olunması və dayanıqlı kibertəhlükəsizlik üçün vacib vasitədir.

Açar sözlər: penetrasiya testi, kompüter sistemi, zəiflik, risk, kibertəhlükəsizlik, şəbəkə, sistem təhlükəsizliyi, hesabatlandırma

Giriş

Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı kompüter sistemlərini daha mürəkkəb etmiş və hücum səthini genişləndirmişdir. Zəif konfigurasiya, gecikmiş yeniləmə və düzgün idarə olunmayan səlahiyyətlər təhlükəsizlik riski yaradır. Buna görə təhlükəsizlik yalnız qoruyucu proqramlarla deyil, praktik yoxlamalarla da təmin edilməlidir.

Penetrasiya testi zəiflikləri real hücumçu yanaşması ilə aşkar edən səlahiyyətli təhlükəsizlik qiymətləndirməsidir. NIST SP 800-115 bu prosesin planlaşdırılması, icrası və nəticələrin təhlili üçün metodoloji yanaşma təqdim edir. Sistem penetrasiya testi əməliyyat sistemləri, şəbəkə servisleri, autentifikasiya, fayl icazələri və domen infrastrukturunu kimi komponentləri əhatə edir [1]. Bu, yalnız veb tətbiq testindən daha geniş yanaşmadır. Məqalənin məqsədi penetrasiya testinin elmi və praktiki əsaslarını, zəifliklərin risk idarəetməsi ilə əlaqəsini və nəticələrin təşkilati qərarlara təsirini izah etməkdir.

Tədqiqat

Penetrasiya testi audit, zəiflik skanı və monitorinqdən fərqli olaraq zəifliklərin real istismar imkanını və biznes təsirini göstərir. Test yalnız yazılı icazə və müəyyən edilmiş sərhədlər daxilində aparılmalıdır. Sistem təhlükəsizliyi hücum səthindən asılıdır. Açıq portlar, zəif parollar, köhnə servisler və yanlış konfigurasiyalar əsas risklərdəndir. Buna görə aktivlərin və giriş nöqtələrinin düzgün xəritələnməsi vacibdir.

Penetrasiya testində məlumat toplama, zəiflik aşkarlanması və istismar mərhələləri birlikdə tətbiq olunur. Avtomatlaşdırılmış skanerlər faydalı olsa da, nəticələr əl ilə yoxlanılmalı və riskin real təsiri qiymətləndirilməlidir. Risk qiymətləndirilməsi texniki zəifliklə biznes təsirini birləşdirir. Prioritetləşdirmə zamanı yalnız CVSS balı deyil, aktivin dəyəri və məlumatların həssaslığı da nəzərə alınmalıdır [2].

Penetrasiya testi həm də təhlükəsizlik nəzarətlərinin effektivliyini ölçür. Firewall, EDR, jurnal və SIEM sistemlərinin düzgün işləməsi yoxlanılır. Keyfiyyətli hesabat isə icra xülasəsi, sübutlar, təsir və bərpa tövsiyələrini əhatə etməlidir. Penetrasiya testi hesabatlarında sübutlar qorunmalı və həssas məlumatlar maskalanmalıdır [3]. Məqsəd təhlükəsizliyi artırmaqdır, yeni məlumat sızması yaratmaq deyil. Testin effektivliyi həm texniki bacarıqdan, həm də təşkilatın hazırlıq səviyyəsindən asılıdır. Aktiv inventarı, ehtiyat nüsxələr və əlaqə prosedurları əvvəlcədən müəyyən edilməlidir.

Xarici penetrasiya testi internetə açıq sistemləri, daxili test isə şəbəkə daxilindəki riskləri qiymətləndirir və hər iki yanaşma bir-birini tamamlayır. Sosial mühəndislik insan faktorunu qiymətləndirir, buna görə parol siyasəti və çoxfaktorlu autentifikasiya vacib müdafiə tədbirləri sayılır.

Bulud və hibrid infrastrukturda yanlış rol icazələri, açıq saxlama və zəif API açarları əsas risklərdəndir. Penetrasiya testi həm də insidentə reaksiya imkanlarını yoxlayır. Avtomatlaşdırma prosesi sürətləndirsə də, risklərin düzgün qiymətləndirilməsi insan təhlili tələb edir. Sistemlər dəyişdikcə yeni zəifliklər yarandığı üçün penetrasiya testi davamlı fəaliyyət kimi həyata keçirilməlidir.

Sistem penetrasiya testinin keyfiyyəti yalnız zəiflik sayına görə ölçülməməlidir. Əsas göstəricilər tapıntıların doğruluğu, yanlış pozitivlərin azlığı, sübutların aydınlığı və bərpa tədbirlərinin effektivliyidir. Buna görə retest mərhələsi vacib hesab olunur. Penetrasiya testi təşkilatda cəza deyil, təkmilləşmə vasitəsi kimi qəbul edilməlidir. Təhlükəsizlik komandası, sistem administratorları və rəhbərlik birlikdə riskləri azaltmalıdır. Əks halda texniki hesabat real dəyişiklik yaratmaya bilər.

Azərbaycan müəssisələrində əsas məsələ resursların düzgün prioritetləşdirilməsidir. İlk mərhələdə aktiv inventarı, yeniləmələr, ehtiyat nüsxələr, çoxfaktorlu autentifikasiya və administrator hesablarının yoxlanılması vacibdir. Daha sonra penetrasiya testləri ilə bu tədbirlərin effektivliyi ölçülə bilər. Penetrasiya testi həm də idarəetmə alətidir. Nəticələr büdcə planlaşdırması, risk idarəetməsi, audit və təhlükəsizlik təlimlərinə təsir etməlidir. Tapıntılar rəhbərlik üçün biznes riskləri şəklində izah edilməlidir [4].

Sistemlərin təsnifatı da vacibdir, çünki eyni zəiflik fərqli mühitlərdə müxtəlif risk yarada bilər. Buna görə aktivlərin biznes dəyəri nəzərə alınmalıdır. Test zamanı identifikasiya və giriş idarəetməsi ayrıca qiymətləndirilməlidir. Servis hesabları, administrator hüquqları, API açarları və çoxfaktorlu autentifikasiya yoxlanılmalıdır.

Windows və Linux sistemlərində yanaşma oxşar olsa da, yoxlama obyektləri fərqlənir. Windows-da Active Directory və Group Policy, Linux-da isə SSH, sudo icazələri və fayl hüquqları əsas diqqət mərkəzində olur [5]. Hər iki halda məqsəd hücumçunun giriş və səlahiyyət artırma imkanlarını müəyyən etməkdir.

Şəbəkə segmentasiyası sistem təhlükəsizliyinin əsas müdafiə mexanizmlərindən biridir. Əgər istifadəçi şəbəkəsindən verilənlər bazası serverlərinə, ehtiyat nüsxə anbarlarına və domen kontrollerlərinə birbaşa çıxış mümkündürsə, ilkin komprometasiya qısa müddətdə geniş miqyaslı insidentə çevrilə bilər. Penetrasiya testi segmentasiya qaydalarının kağız üzərində deyil, faktiki olaraq işləyib işləmədiyini göstərir. Test zamanı fərqli şəbəkə zonalarından icazə verilən və verilməyən əlaqələr yoxlanılır, lazımsız portlar müəyyən edilir və təhlükəsizlik divarı qaydalarının real təsiri qiymətləndirilir.

Ehtiyat nüsxələrin təhlükəsizliyi sistem penetrasiya testində çox vaxt ikinci planda qalır, halbuki bu sahə fədyə proqramları və daxili sabotaj riskləri baxımından kritikdir [6]. Ehtiyat nüsxə serverlərinin domen administratorları ilə eyni etimad mühitində yerləşməsi, nüsxələrin dəyişdirilə bilməsi və bərpa prosesinin test edilməməsi təşkilatı ciddi risk altında qoyur. Penetrasiya testi zamanı ehtiyat nüsxə yollarının görünməsi, giriş icazələri, şifrələmə, ayrılmış saxlama prinsipi və bərpa sınaqlarının mövcudluğu araşdırıla bilər. Məqsəd ehtiyat nüsxəni pozmaq deyil, onun müdafiə səviyyəsini qiymətləndirməkdir.

Jurnal məlumatlarının və aşkarlama qaydalarının yoxlanılması penetrasiya testinin müdafiə dəyərini artırır. Hücum ssenarisi icra olunduqda sistemlərdə hansı izlərin qaldığı, SIEM və EDR alətlərinin hansı xəbərdarlıqları yaratdığı və təhlükəsizlik komandasının bu xəbərdarlıqlara necə reaksiya verdiyi müşahidə edilir. Əgər test fəaliyyəti heç bir xəbərdarlıq yaratmırsa, təşkilat real hücumu da gec görə bilər. Buna görə penetrasiya testi yalnız zəiflik tapmaq üçün deyil, eyni zamanda aşkarlama və reaksiya mexanizmlərini kalibrləmək üçün istifadə olunmalıdır.

Məxfilik və məlumat minimallaşdırılması test prosesində xüsusi yer tutur. Penetrasiya testçisi bəzən həssas fayl adlarını, istifadəçi məlumatlarını və ya sistem konfigurasiyalarını görə bilər. Pəşəkar yanaşmada həmin məlumatlar yalnız tapıntıyı sübut etmək üçün minimum həcmdə qeyd olunur. Lazımsız məlumat kopyalanmır, testdən sonra müvəqqəti fayllar silinir və hesabat qorunan kanalla

təqdim edilir. Bu prinsip təşkilatın hüquqi öhdəliklərini və test komandasının etibarını qorumağa xidmət edir.

Hesabatdan sonra bərpa tədbirlərinin izlənməsi ayrıca idarəetmə prosesi kimi qurulmalıdır. Hər tapıntı üçün məsul şəxs, planlaşdırılmış düzəliş, son tarix, risk sahibi və yoxlama meyarı müəyyən edilməlidir. Yüksək riskli tapıntılar üçün müvəqqəti kompensasiyaedici nəzarətlər də tətbiq oluna bilər. Məsələn, yamağın dərhal tətbiqi mümkün deyilsə, təhlükəsizlik divarında məhdudlaşdırma, servis deaktiv edilməsi və ya monitoring qaydasının sərtləşdirilməsi müvəqqəti risk azaldıcı tədbir ola bilər. Bu proses olmadıqda hesabat arxiv sənədinə çevrilir və real risk azalmır.

Təkrar test, yəni retest mərhələsi bərpa tədbirlərinin keyfiyyətini təsdiqləyir. Administrator zəifliyi düzəltdiyini düşünə bilər, lakin dəyişiklik yalnız bir serverə tətbiq oluna, digər oxşar sistemlərdə qalmaqla davam edə bilər. Retest tapıntının bağlanıb bağlanmadığını, yeni yan təsir yaradıb yaratmadığını və kompensasiyaedici nəzarətin işləyib işləmədiyini yoxlayır. Bu mərhələ hesabatın son nəticəsini daha etibarlı edir. Retest olmadan təşkilatın risk vəziyyəti barədə qəti fikir söyləmək çətinidir. Penetrasiya testində etik haker anlayışı texniki icazədən daha genişdir. Etik davranış müştərinin məlumatına hörmət, sistemlərin davamlılığına diqqət, aşkar edilmiş zəifliklərin gizli saxlanması, maraqlar toqquşmasından qaçınma və nəticələrin şişirdilməməsi kimi prinsipləri əhatə edir [7]. Testçi tapıntıyı olduğundan daha təhlükəli göstərməməli, eyni zamanda real riski də yumşaltmamalıdır. Peşəkar balans texniki sübut və obyektiv izah üzərində qurulur.

Sistem penetrasiya testinin məhdudiyyətləri də açıq yazılmalıdır. Test müəyyən zaman aralığında, müəyyən icazələrlə və müəyyən texniki üsullarla aparılır. Bu o deməkdir ki, testdən sonra sistemdə heç bir zəiflik qalmadığı iddia edilə bilməz. Yeni zəifliklər yayımlana, konfigurasiya dəyişə və ya test əhatəsindən kənar aktivlər mövcud ola bilər [8]. Keyfiyyətli hesabat bu məhdudiyyətləri göstərir və təşkilata davamlı təhlükəsizlik proqramı qurmağı tövsiyə edir.

Akademik baxımdan sistem penetrasiya testi tətbiqi tədqiqat xarakteri daşıyır. Burada nəzəri təhlükə modelləri real texniki mühitdə yoxlanılır. Testçi həm sistem arxitekturasını, həm də hücumçu davranışını anlamalıdır. Nəticələr yalnız texniki nəticə kimi deyil, risk idarəetməsi və qərarvermə mexanizmi kimi təqdim olunduqda tədqiqatın praktik dəyəri artır. Bu səbəbdən penetrasiya testinin tədrisində laboratoriya mühitləri, simulyasiya edilmiş şəbəkələr və hesabat yazma bacarıqları birlikdə öyrədilməlidir.

Sənədləşdirmə standartı testin təkrarlanmasını və nəticələrin etibarlılığını təmin edir. Hər addım, istifadə olunan sistem və alətlər qeyd edilməlidir. Düzgün sənədləşmə olmayan testin nəticəsi etibarlı sayılmaya bilər. Penetrasiya testində təhlükəsiz laboratoriya yanaşması da vacibdir [9]. Riskli sınaqlar istehsal mühiti əvəzinə test laboratoriyasında aparılaraq zəifliyin təsiri təhlükəsiz şəkildə sübut edilə bilər. Bu, xidmət dayanmasının qarşısını alır.

Tədqiqat göstərir ki, penetrasiya testi texniki müdafiə ilə idarəetmə qərarları arasında mühüm körpü rolunu oynayır. Test nəticələri texniki komandaya zəifliklərin necə yarandığını, hansı sistemlərə təsir etdiyini və onların necə aradan qaldırılmalı olduğunu sübutlarla göstərir. Eyni zamanda rəhbərlik bu zəifliklərin biznes proseslərinə, xidmət dayanıqlığına, məlumat məxfiliyinə və təşkilatın reputasiyasına təsirini daha aydın anlayır [10]. Bu yanaşma risklərin prioritetləşdirilməsini, təhlükəsizlik investisiyalarının düzgün planlaşdırılmasını və idarəetmə qərarlarının daha əsaslı qəbul edilməsini təmin edir. Buna görə penetrasiya testi yalnız texniki yoxlama vasitəsi deyil, həm də strateji risk idarəetmə aləti kimi qiymətləndirilir.

Təhlükəsiz konfigurasiya sistem penetrasiya testinin əsas nəticələrindəndir. Bir çox zəiflik standart ayarların dəyişdirilməməsindən yaranır. Test nəticələrinə əsasən təhlükəsiz konfigurasiya şablonları hazırlanarsa, eyni səhvlərin təkrarlanmasının qarşısı alınır [11]. Penetrasiya testinin effektiv olması üçün risklər sadə və ölçülə bilən şəkildə izah edilməlidir. Rəhbərlik üçün əsas məsələ zəifliyin texniki adı deyil, onun xidmətə, məlumat məxfiliyinə və reputasiyaya təsiridir. Buna görə hesabatda təsir və tövsiyələr aydın göstərilməlidir.

Sistem penetrasiya testi həm də tədris və kadr hazırlığı üçün vacibdir. Mütəxəssislər yalnız alət istifadəsini deyil, şəbəkə protokollarını, əməliyyat sistemlərini, risk qiymətləndirməsini və hesabat yazmağı bilməlidirlər. Praktiki laboratoriyalar və reala yaxın tapşırıqlar onların peşəkar və etik inkişafına kömək edir.

Nəticə

Kompüter sistemlərinin penetrasiya testi müasir kibertəhlükəsizlik idarəetməsində mühüm rol oynayır. Bu proses sistemlərin real hücumlara qarşı dayanıqlığını yoxlayır, texniki zəiflikləri aşkarlayır, nəzarət mexanizmlərinin işləkliyini qiymətləndirir və risklərin prioritetləşdirilməsi üçün sübut təqdim edir. Tədqiqatdan görünür ki, uğurlu penetrasiya testi yalnız skan alətlərinin istifadəsindən ibarət deyil. O, dəqiq əhatə dairəsi, hüquqi icazə, etik davranış, təhlükəsiz istismar, sübutların qorunması, biznes təsirinin izahı və bərpa prosesinin izlənməsi ilə birlikdə aparılmalıdır.

Sistem penetrasiya testinin təşkilat üçün əsas dəyəri zəifliklərin real riskə çevrilmə yolunu göstərməsidir. Bir serverdə köhnə servis, digər sistemdə zəif parol siyasəti və üçüncü komponentdə artıq səlahiyyət ayrı-ayrılıqda orta risk kimi görünə bilər. Lakin həmin zəifliklər birlikdə kritik hücum zənciri yarada bilər. Penetrasiya testi bu əlaqəni üzə çıxarır və müdafiə tədbirlərinin hansı ardıcılıqla tətbiq olunmalı olduğunu göstərir. Bu baxımdan risk əsaslı yanaşma penetrasiya testinin mərkəzində dayanmalıdır.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, kompüter sistemlərinin təhlükəsizliyi davamlı prosesdir. Penetrasiya testi bu prosesin dövrü yoxlama və öyrənmə mexanizmidir. Təşkilatlar test nəticələrini yamaq idarəetməsi, təhlükəsiz konfigurasiya, giriş nəzarəti, monitoring, insidentə reaksiya və əməkdaşların maarifləndirilməsi ilə əlaqələndirdikdə real müdafiə səviyyəsi yüksəlir [12]. Gələcəkdə sistem penetrasiya testinin daha effektiv aparılması üçün avtomatlaşdırılmış təhlil, süni intellekt əsaslı anomaliya aşkarlanması, hücum simulyasiyaları və risk əsaslı hesabatlandırma daha geniş tətbiq olunacaqdır.

Gələcək tədqiqatlarda sistem penetrasiya testinin avtomatlaşdırılmış risk modelləri ilə inteqrasiyası ayrıca araşdırıla bilər. Xüsusilə böyük şəbəkələrdə aktivlərin çoxluğu, konfigurasiya dəyişikliklərinin tezliyi və bulud xidmətlərinin dinamikliyi klassik illik test modelini məhdudlaşdırır. Bu səbəbdən aktiv inventarından, zəiflik məlumat bazalarından, jurnal mənbələrindən və insident tarixçəsindən istifadə etməklə riskin daha operativ hesablanması aktual istiqamətdir. Belə model penetrasiya testçisinə hansı sistemlərin daha əvvəl yoxlanmalı olduğunu göstərə, rəhbərliyə isə təhlükəsizlik investisiyalarını daha əsaslandırılmış formada planlaşdırmağa kömək edə bilər.

Praktik baxımdan təşkilatlara tövsiyə olunur ki, penetrasiya testini ayrıca layihə kimi deyil, ümumi kibertəhlükəsizlik dövrünün tərkib hissəsi kimi qursunlar. Testdən əvvəl aktiv və məsuliyyət xəritəsi hazırlanmalı, test zamanı aşkar edilən kritik hadisələr üçün operativ əlaqə mexanizmi işləməli, testdən sonra isə bərpa planı real icra vəziyyətinə qədər izlənilməlidir. Bu ardıcılıq təmin olunduqda penetrasiya testi yalnız zəiflik siyahısı yaratmır, müəssisənin müdafiə qabiliyyətini ölçən və gücləndirən davamlı idarəetmə mexanizminə çevrilir.

Ədəbiyyat

1. Scarfone, K., Souppaya, M., Cody, A., & Orebaugh, A. (2008). Technical Guide to Information Security Testing and Assessment. NIST Special Publication 800-115. <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/115/final>
2. Penetration Testing Execution Standard. (2014). The Penetration Testing Execution Standard. https://www.pentest-standard.org/index.php/Main_Page
3. Penetration Testing Execution Standard. (2014). PTES Technical Guidelines. https://www.pentest-standard.org/index.php/PTES_Technical_Guidelines
4. Herzog, P. (2010). OSSTMM 3: The Open Source Security Testing Methodology Manual. ISECOM. <https://www.isecom.org/OSSTMM.3.pdf>
5. National Institute of Standards and Technology. (2012). Guide for Conducting Risk Assessments. NIST Special Publication 800-30 Revision 1. <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/30/r1/final>
6. National Institute of Standards and Technology. (2024). The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0. NIST CSWP 29. <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29>

7. Joint Task Force. (2020). Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. NIST Special Publication 800-53 Revision 5.
<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/53/r5/upd1/final>
8. Souppaya, M., Scarfone, K., & Dodson, D. (2022). Guide to Enterprise Patch Management Planning: Preventive Maintenance for Technology. NIST Special Publication 800-40 Revision 4.
<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/40/r4/final>
9. Nelson, A., et al. (2025). Incident Response Recommendations and Considerations for Cybersecurity Risk Management. NIST Special Publication 800-61 Revision 3.
<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/61/r3/final>
10. Center for Internet Security. (2024). CIS Critical Security Controls Version 8.1.
<https://www.cisecurity.org/controls/v8-1>
11. MITRE. (2026). MITRE ATT&CK Enterprise Matrix.
<https://attack.mitre.org/matrices/enterprise/>
12. OWASP Foundation. (2020). OWASP Web Security Testing Guide v4.2.
<https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/v42/>

Rustam Karimov

Azerbaijan State University of Economics

Master student

<https://orcid.org/0009-0005-9148-8826>

rustamkarimov.n@gmail.com

Circular Economy as a Factor of Global Sustainable Transformation: Modern Trends and International Experience

Abstract

The article examines the role of the circular economy in the context of modern global economic transformation and sustainable development of the world economy. Modern approaches to the formation of circular business models, ESG transformation mechanisms, and the impact of digital technologies on improving resource efficiency and the competitiveness of economic systems are considered. A comparative analysis of international experience in implementing circular economy principles is conducted using the examples of the European Union countries, China, Finland, and the Netherlands. Particular attention is paid to sustainable production, innovative development, digitalization of industrial processes, and the formation of closed-loop supply chains. Based on international statistical data, the key economic factors influencing the effectiveness of the transition to a sustainable economic development model are identified.

Keywords: *circular economy; sustainable development; ESG; digital transformation; innovative development; resource efficiency; sustainable economic growth; circular business models; green economy; sustainable supply chains*

JEL Classification: Q01, Q56, O44, O31

Xülasə

Məqalədə dairəvi iqtisadiyyatın müasir qlobal iqtisadi transformasiya və dünya iqtisadiyyatının davamlı inkişafı şəraitində rolu tədqiq edilir. Dairəvi biznes modellərinin formalaşdırılmasına dair müasir yanaşmalar, ESG-transformasiya mexanizmləri və rəqəmsal texnologiyaların resurs səmərəliliyinin və iqtisadi sistemlərin rəqabət qabiliyyətinin artırılmasına təsiri araşdırılır. Avropa İttifaqı ölkələri, Çin, Finlandiya və Niderland nümunəsində dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinin tətbiqi üzrə beynəlxalq təcrübənin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Davamlı istehsal, innovativ inkişaf, sənaye proseslərinin rəqəmsallaşdırılması və qapalı təchizat zəncirlərinin formalaşdırılması məsələlərinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Beynəlxalq statistik məlumatlar əsasında davamlı iqtisadi inkişaf modelinə keçidin effektivliyinə təsir göstərən əsas iqtisadi amillər müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: *dairəvi iqtisadiyyat; davamlı inkişaf; ESG; rəqəmsal transformasiya; innovativ inkişaf; resurs səmərəliliyi; davamlı iqtisadi artım; dairəvi biznes modelləri; yaşıl iqtisadiyyat; davamlı təchizat zəncirləri*

JEL Classification: Q01, Q56, O44, O31

Introduction

The contemporary global economy is undergoing a massive structural transformation driven by intensifying global competition, accelerating digitalization, shifting investment priorities, and the critical need to ensure sustainable economic growth. Amid finite natural resources and rising global consumption, the traditional linear economic paradigm, based on the "take–make–dispose" principle, demonstrates declining efficiency and limited potential for further development. The exacerbation of global economic and resource imbalances highlights the necessity of transitioning to new economic models focused on rational resource allocation and enhancing the resilience of economic systems.

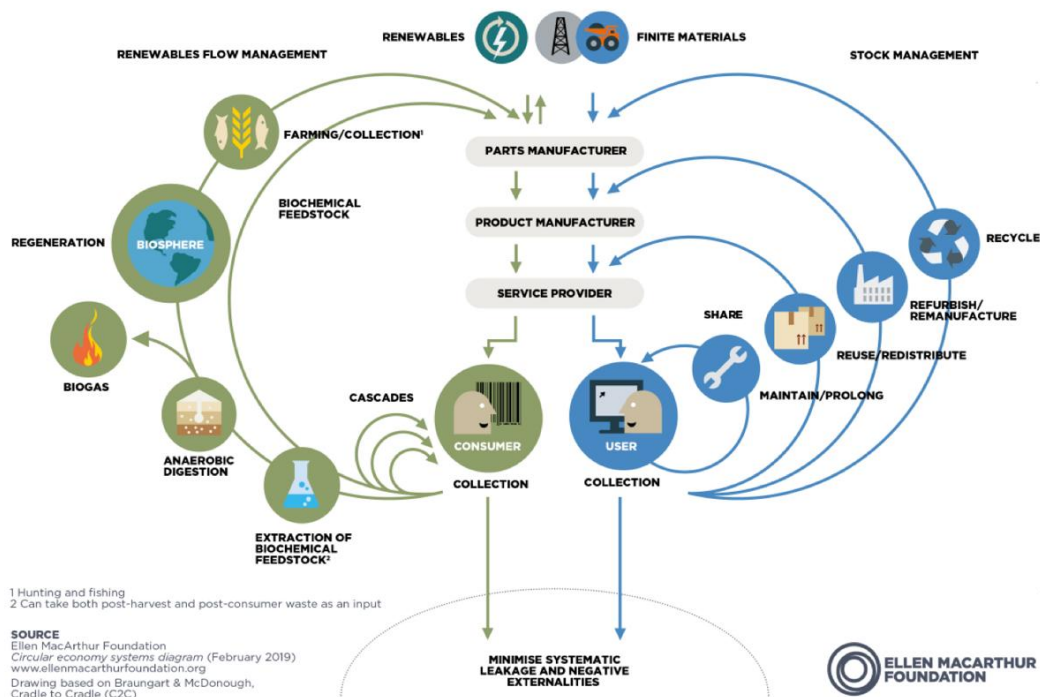


Figure 1: Circular economy systems diagram

Source: Adapted by the author based on Ellen MacArthur Foundation, 2023

As illustrated in Figure 1, the modern circular economy model relies on establishing closed biological and technical cycles that facilitate resource reuse, minimize production losses, and augment the overall efficiency of economic systems. Unlike the linear manufacturing framework, the circular economy focuses on maximizing the retention of product and material value throughout their entire lifecycle. Under current conditions, the circular economy serves as a pivotal mechanism for sustainable economic transformation, ensuring higher resource efficiency, stimulating innovative business models, reducing operational costs, and boosting the competitiveness of national economies. Implementing circular principles fosters resilient supply chains, advances ESG financing, and accelerates the technological modernization of industrial sectors.

The concept of a circular economy has gained paramount relevance within the international ESG agenda and the global transition toward sustainable development. Leading world economies actively deploy mechanisms to support green investments, resource-saving technologies, and digital solutions designed to improve the sustainability of production systems. Within the framework of the European Green Deal, the European Union is executing a comprehensive strategy to achieve carbon neutrality and incentivize circular manufacturing processes (European Commission, 2024). Concurrently, Asian nations—including China, South Korea, and Japan—are developing state programs to bolster innovative industries and sustainable manufacturing.

Digital transformation represents another critical driver of circular economy development. The integration of artificial intelligence, Big Data, the Internet of Things (IoT), and digital platforms enhances resource efficiency and strengthens the structural resilience of production networks (World Economic Forum, 2024). Consequently, this synergy shapes a new model of sustainable economic development built on the convergence of innovative technologies, ESG approaches, and circular business models.

It is essential to emphasize that advancing the circular economy is a multifaceted process requiring robust interaction among the state, business, the financial sector, and society. The efficiency of transitioning to a circular framework depends heavily on the maturity of institutional development, investment activity, the quality of state regulation, the adequacy of recycling infrastructure, and the level of technological upgrading across industries.

This study aims to analyze the impact of the circular economy on sustainable economic transformation, innovative development, and the competitiveness of the global economy under the pressures of digitalization and the ESG transition. To fulfill this objective, we examine contemporary international practices for implementing circular business models, evaluate sustainable financing mechanisms, and investigate the role of digital technologies in securing long-term economic growth.

1. Research

1.1. Theoretical Foundations of the Circular Economy

In recent years, the concept of the circular economy has emerged as a cornerstone of sustainable structural transformation in the global economy. The formation of a circular development model is inherently linked to the imperative of expanding resource efficiency, mitigating production costs, and securing the long-term stability of economic systems amidst growing resource scarcity and escalating global competition. In contrast to the conventional linear economic model governed by the "take–make–dispose" principle, the circular economy implies the institutionalization of closed-loop production cycles, resource reuse, material recycling, and the extension of product lifecycles. The overarching goal of the circular economy is to construct a sustainable economic framework oriented toward minimizing resource leakages and optimizing production efficiency.

The contemporary conceptual framework of the circular economy has been significantly shaped by theories of sustainable development, ecological economics, industrial ecology, and innovation management. While the model initially relied on the basic "3R" principles (reduce, reuse, recycle), it was subsequently expanded into the comprehensive "9R" framework (Kirchherr et al., 2017), which incorporates refuse, rethink, repair, refurbish, remanufacture, and repurpose across various stages of the industrial value chain.

Table 1. Comparative Analysis of Linear and Circular Economic Models

Indicator	Linear Economy	Circular Economy
Resource use	High	Optimized
Waste generation	Significant	Minimal
Business model	One-time consumption	Closed-loop
Resource efficiency	Low	High
ESG integration	Limited	Strong

Source: Compiled by the author based on OECD and European Commission data.

Table 1 highlights the fundamental distinctions between the linear and circular economic setups. The contemporary circular paradigm is designed to increase resource efficiency, reduce dependence on virgin raw materials, and foster sustainable business workflows (OECD, 2024). In the modern economic landscape, the circular economy is treated not merely as an ecological or social concept, but as a critical determinant of business competitiveness, corporate innovation, and the attraction of sustainable investments. Scaling circular business models helps decouple economic growth from resource consumption, opens new market segments, and mitigates risks within international supply chains.

Digital transformation plays a particularly vital role in accelerating circular economy adoption. Implementing artificial intelligence, Big Data, the Internet of Things (IoT), automated control systems, and digital platforms enables organizations to refine manufacturing processes, optimize logistics, and drastically reduce waste volumes. Consequently, digitalization has become a key catalyst for modern circular economy development.

1.2. International Experience in Circular Economy Development

Leading global powers view the circular economy as a primary vehicle for securing sustainable economic growth and capturing international competitive advantages. The most systematic operationalization of circular principles is observed in the European Union, which executes a comprehensive strategy for transitioning to sustainable production and consumption patterns via the European Green Deal.

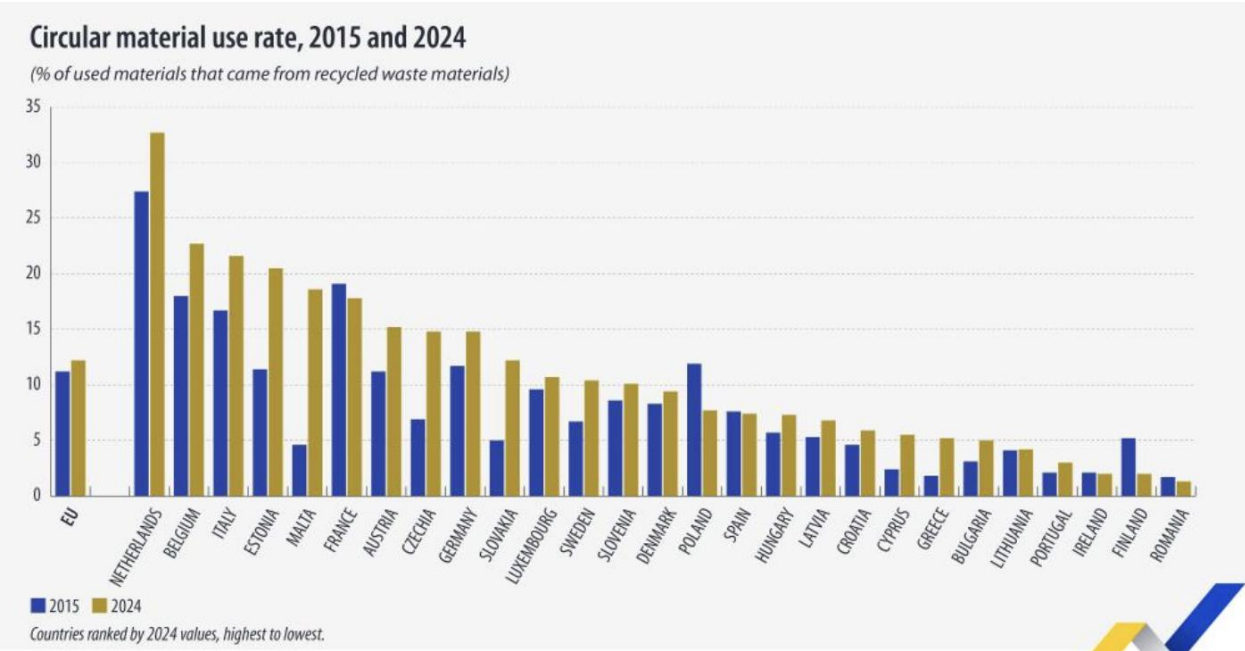


Figure 2: Circular material use rate in the European Union
Source: European Commission, Circular Economy Monitoring Framework, 2024.

As indicated in Figure 2, European Union member states display a steady increase in their circular material use rates, demonstrating an accelerated transition toward a circular economic configuration and enhanced resource efficiency. A core pillar of European policy is the Circular Economy Action Plan, which focuses on empowering resource efficiency, scaling recycling capabilities (European Commission, 2023), shrinking carbon footprints, and incentivizing innovative manufacturing technologies. Furthermore, EU countries are aggressively incorporating ESG financing mechanisms, digital supply chain monitoring tools, and the Digital Product Passport framework (European Commission, 2024) to ensure maximum transparency across product lifecycles. Within Europe, the Netherlands and Finland maintain pioneering positions in circular development. The economic policies of these states are structurally aligned with fostering sustainable industries, encouraging material recirculation, and launching cutting-edge circular business frameworks. The Netherlands is currently pursuing a national strategy to achieve a fully circular economy by 2050 (OECD, 2024), while Finland focuses heavily on engineering digital solutions for resource conservation and clean production.

China contributes significantly to global circular economy dynamics, treating sustainable industrial transformation as a strategic driver of its long-term economic performance. State policies in China are heavily oriented toward advancing green technologies, promoting sustainable industrialization (World Bank, 2023), modernizing industrial capacity, and optimizing national energy efficiency. Special emphasis is placed on establishing eco-industrial parks and integrating advanced resource-recycling infrastructure. Concurrently, other nations across Asia and the Middle East are structurally embedding circular economy principles into their national development agendas. South Korea is expanding industrial digitalization and supporting innovative clean tech sectors, while the United Arab Emirates is investing heavily in sustainable energy projects, green infrastructure, and advanced waste-to-resource technologies.

Table 2. Global Circular Economy Frameworks and Strategies

Country/Region	Core Strategy	Primary Target / Objective
European Union	European Green Deal	Achieving carbon neutrality (Net Zero 2050)
Netherlands	Circular Netherlands 2050	Achieving a 100% circular economy
Finland	Finnish Circular Economy Program	Maximizing national resource efficiency
China	Circular Economy Development Strategy	Driving green industrialization
South Korea	Green New Deal	Expanding sustainable industrial manufacturing
UAE	UAE Circular Economy Policy	Conducting green economic modernization

Source: Compiled by the author based on OECD and European Commission data.

Table 2 illustrates that leading global economies prioritize the circular economy as a foundational factor for sustainable growth, technological upgrading, and international competitiveness. Cross-country evidence reveals that successful circular transition necessitates deep, multi-stakeholder coordination among the state, private business, and the financial sector, complemented by the aggressive deployment of digital systems and ESG market instruments. The critical prerequisites for an effective transition include targeted investment support, robust innovation infrastructure, digitized industrial operations, and an adaptive, enabling regulatory environment.

1.3. ESG Financing and Investment Mechanisms for Circular Economy Development

Under modern macroeconomic conditions, ESG financing has established itself as a critical engine for circular economy scaling and macro-sustainable transformation (European Investment Bank, 2024). Growing global consensus regarding sustainable development, resource conservation, and green industrial modernization actively drives the relocation of capital into projects that mitigate environmental risks, integrate innovative technologies, and utilize sustainable business designs. The institutionalization of ESG (Environmental, Social, Governance) criteria within corporate governance and corporate strategic planning plays an exceptional role in restructuring modern investment pipelines. Multinationals and institutional investors increasingly deploy ESG matrices as an indispensable tool for auditing long-term corporate resilience, investment attractiveness, and global market positioning.

The mandates issued by transnational organizations and sovereign states exert a profound influence on the evolution of sustainable finance. Under the European Green Deal, the European Union is continuously refining green financing taxonomies, stimulating capital flows into sustainable industrial operations, and derisking circular economy deployment. A primary focus area involves developing universal ESG disclosure standards and expanding sustainable asset management to capture long-term structural economic returns.

The global market for ESG-linked investments continues to demonstrate strong positive dynamics (World Economic Forum, 2024). This sustained expansion reflects the deeper anchoring of ESG parameters within the architecture of the global financial system and underscores investor appetite for circular economy assets, manufacturing automation, and smart supply networks. The

growth of ESG allocation serves to structurally reshape corporate business models and physical manufacturing operations. Investments dedicated to resource loop mapping, artificial intelligence implementation, and digital supply chain oversight explicitly optimize corporate resource productivity (McKinsey & Company, 2024), drive down operational overheads, and reinforce corporate insulation against macro-systemic instability.

It is clear that the maturity of the circular economy is fundamentally contingent upon building a robust, institutionalized sustainable investment infrastructure. Leading global financial institutions, including the OECD, the World Bank, and the European Investment Bank, position the circular transition as one of the most viable vectors for long-term global economic health (OECD, 2024; World Bank, 2023). Consequently, ESG financing has become an essential mechanism for unlocking corporate innovation, accelerating industrial modernization, and elevating global economic competitiveness.

1.4. Digital Transformation as a Catalyst for Circular Economic Processes

In the current economic climate, digital transformation acts as a vital structural catalyst for circular economy development and sustainable global modernization. The proactive integration of digital architectures optimizes resource utilization, refines shop-floor workflows, and builds resilient supply frameworks. Ultimately, digitalization provides companies with critical instruments to improve market competitiveness and protect long-term economic expansion.

Advanced digital capabilities—specifically artificial intelligence (AI), Big Data analytics, the Internet of Things (IoT), cloud computing, and automated industrial control systems—play an extraordinary role in driving the modern circular economy. Utilizing specialized digital platforms allows enterprises to execute real-time production monitoring, thereby elevating resource productivity metrics (Kristoffersen et al., 2020). These digital systems profoundly alter the operational realities of sustainable production networks and circular corporate models. Deploying smart logistics software, digital supply chain tracking, and predictive demand analytics dramatically cuts raw material waste and ensures optimal utilization of material inputs.

Modern digital architectures form the foundational layer of an emerging circular economic paradigm characterized by technological synthesis, automated manufacturing, and data-driven resource stewardship. Beyond maximizing direct shop-floor output, digitalization accelerates corporate ESG-led transition. Modern firms actively exploit digital tools to run carbon footprint audits, map vendor compliance, and guarantee operational transparency. The introduction of the Digital Product Passport framework is particularly revolutionary, as it enables end-to-end tracking of product lifecycles and provides precise data on material recyclability (European Commission, 2024).

Major global powers systematically position digitalization as a strategic anchor for national sustainable development and smart industrial reconfiguration. The European Union, through its European Green Deal, is embedding digital resource tracking instruments across its industrial base to monitor efficiency and assist circular operations. Simultaneously, sovereign states across Asia—most notably China, South Korea, and Japan—are directing massive capital allocations into smart manufacturing, industrial software engineering, and unified sustainable technology platforms. Thus, the structural fusion of digital capabilities with circular economic frameworks provides the blueprint for a new model of sustainable economic growth designed to amplify international competitiveness, break resource dependencies, and accelerate innovative industrial upgrading.

Conclusion

In summary, the circular economy has established itself under modern conditions as a vital determinant of global sustainable economic transformation. Transitioning from the historical linear production matrix to a circular economic paradigm optimizes resource productivity, unlocks

innovative technical horizons, and enhances the structural resilience of the global economy against compounding economic and ecological challenges. Our analysis demonstrates that leading global powers treat the circular transition as an indispensable strategy for maintaining long-term economic growth, capturing competitive edge, and modernizing industrial architectures. The European Union, China, the Netherlands, Finland, and South Korea are systematically integrating institutional frameworks for sustainable production, industrial automation, and ESG financial deployment, all centered on engineering closed-loop industrial ecosystems and resilient supply networks.

Digital transformation occupies a position of exceptional importance within this transition. The use of artificial intelligence, Big Data architectures, the Internet of Things, and automated operational software allows industries to maximize resource yield, refine physical workflows, and achieve near-zero waste objectives. Consequently, the deep integration of digital systems with circular corporate strategies builds the operational core of the modern sustainable development model.

Furthermore, the expansion of ESG asset allocation and structured sustainable investment instruments remains a critical pillar of this macro-transformation. Channeling capital into green tech ventures, resource-efficient factories, and innovative industrial designs accelerates the technological overhaul of primary industries and expands the reach of sustainable financial infrastructure. Empirical international assessments confirm that embedding circular designs drastically reduces operational costs, reinforces micro-corporate insulation against volatility (McKinsey & Company, 2024), and drives the innovative restructuring of the global economic space.

Cross-country evidence clearly shows that successful circular development requires deep, organized cooperation among sovereign institutions, private enterprises, and financial markets. The fundamental conditions for an effective transition involve modernizing legal and regulatory codes, incentivizing corporate R&D, deploying specialized ESG market mechanisms, and embedding advanced digital frameworks. In the current geopolitical and macroeconomic climate, the circular economy functions not merely as a tool for environmental mitigation, but as an essential driver of long-term economic growth, industrial modernization, and the global competitiveness of national economic systems. The trajectory of future global economic development will be heavily dictated by the speed and efficiency with which sustainable principles, digital systems, and circular corporate models are structurally integrated into the fabric of global economic relations.

Scientific Novelty of the Study lies in its unified, systemic evaluation of the circular economy as a fundamental driver of sustainable global transformation under the dual pressures of industrial digitalization and the ESG macro-transition. This paper explicitly details and map the structural dependencies between the scaling of circular corporate frameworks, the integration of digital shop-floor architectures, and the deployment of sustainable financing instruments. Particular focus is centered on how the convergence of ESG-linked investment and digital systems expands resource yields, boosts competitive advantages, and protects the structural resilience of modern economic networks.

Practical Significance of the Study rests on the immediate applicability of its findings for structuring national sustainable development playbooks, formulating industrial digitalization roadmaps, and setting up targeted ESG financing guidelines. The international cases, matrices, and operational instruments evaluated in this study offer a clear reference framework for state regulatory bodies, private corporate boards, and institutional investment syndicates seeking to build resilient economic configurations. Ultimately, reinforcing supply network insulation and automating manufacturing workflows represent the definitive prerequisites for securing long-term macroeconomic expansion (World Economic Forum, 2024).

References

1. Accenture. (2023). Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies. Accenture. <https://www.accenture.com/circular-advantage>
2. Bocken, N., & Short, S. (2021). Towards a Sufficiency-Driven Business Model: Experiences and Opportunities. *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 1–15.

- <https://doi.org/10.1002/bse.2654>
3. Ellen MacArthur Foundation. (2023). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. Ellen MacArthur Foundation.
<https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
 4. European Commission. (2023). Circular Economy Action Plan. Brussels: European Commission.
<https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
 5. European Commission. (2024). The European Green Deal. Brussels: European Commission.
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
 6. European Investment Bank. (2024). Financing the Circular Economy. Luxembourg: European Investment Bank. <https://www.eib.org/en/publications/financing-the-circular-economy>
 7. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
 8. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
 9. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
 10. Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The Smart Circular Economy: A Digital-Enabled Circular Strategies Framework for Manufacturing Companies. *Journal of Business Research*, 120, 241–261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
 11. McKinsey & Company. (2024). The Circular Economy: Moving from Theory to Practice. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-circular-economy-moving-from-theory-to-practice>
 12. Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
 13. OECD. (2023). Resource Efficiency and Circular Economy Industry Strategies. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/resource-efficiency-circular-economy>
 14. OECD. (2024). Circular Economy Outlook 2024. Paris: OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/circular-economy-outlook-2024>
 15. Smith, T. (Ed.). (2023). Sustainability and Circular Economy: New Economic Approaches. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-xxxx-x>
 16. Stahel, W. (2024). The Circular Economy: A User's Guide. London: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781003xxxxxx>
 17. United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). Global Waste Management Outlook 2024. Nairobi: UNEP.
<https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook-2024>
 18. World Bank. (2023). Squaring the Circle: Policies from Europe's Circular Economy Transition. Washington DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/39490>
 19. World Economic Forum. (2024a). Circular Economy in Cities: Evolving the Model for a Sustainable Urban Future. Geneva: World Economic Forum.
<https://www.weforum.org/reports/circular-economy-in-cities>
 20. World Economic Forum. (2024b). Future of Manufacturing Report 2024. Geneva: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/future-of-manufacturing-2024>

Seymur Shirinov
Wsb University, Poland
Master's Student
<https://orcid.org/0009-0001-8254-4946>
seymur.shirinov2001@gmail.com

AI-Powered Recruitment: Enhancing the Talent Acquisition Process at SOCAR

Abstract

This article investigates the use of artificial intelligence (AI) in recruitment processes at the State Oil Company of Azerbaijan Republic (SOCAR). The study looks at how AI technologies can improve talent acquisition by increasing efficiency, lowering recruitment costs, decreasing bias, and improving decision-making processes. The paper examines the historical development of recruitment systems, the evolution of AI technologies in human resource management, and the practical implementation of AI-driven recruitment tools like applicant tracking systems, chatbots, machine learning algorithms, and automated screening technologies.

The study also assesses the opportunities and obstacles associated with AI implementation in SOCAR's recruitment processes. While AI provides substantial benefits such as faster candidate screening, better candidate matching, and more organisational efficiency, there are also worries about ethical issues, data protection, transparency, and algorithmic bias. The article argues that AI has the potential to modernise recruitment methods in Azerbaijan's large-scale organisations, particularly SOCAR, as long as technological innovation is balanced with ethical and organisational concerns.

Keywords: *Artificial intelligence; recruitment; SOCAR; human resource management; machine learning; talent acquisition; Azerbaijan*

Introduction

Over the last few decades, technological progress has substantially impacted current company processes. Artificial intelligence (AI) has emerged as one of the most transformative technologies, affecting both society and organisational management. AI technologies are increasingly being used in everyday life through digital assistants, recommendation systems, autonomous systems, and advanced data processing tools. AI has recently become a major component of human resource management (HRM), particularly in the recruitment and talent acquisition processes.

Traditionally, the recruitment process was based on manual screening, subjective appraisal, and time-consuming administrative procedures. However, the growing competition for competent individuals has raised the need for organisations to modernise their recruitment methods. Large organisations in strategically vital areas, such as the State Oil Company of the Azerbaijan Republic (SOCAR), are under increasing pressure to attract and retain highly qualified employees in an efficient and cost-effective manner.

Automation, machine learning, and data analysis are all ways that artificial intelligence technology can be used to optimise recruitment operations. AI-powered systems may review resumes, identify potential individuals, set up interviews, communicate with applicants, and assist with decision-making. As a result, organisations can shorten recruiting times, cut operating expenses, and increase hiring accuracy.

Despite the increasing global use of AI in recruitment, limited academic research has examined its application within Azerbaijani organizations. This article therefore investigates the role of AI-powered recruitment at SOCAR, evaluates its benefits and challenges, and analyzes how AI technologies may improve organizational efficiency and talent acquisition processes.

1. Methodology

This study employs a mixed-method research strategy that combines qualitative and quantitative methodologies. The qualitative component is based on semi-structured interviews with HR professionals and employees involved in SOCAR's recruitment process. The interviews are aimed at assessing current recruitment difficulties, organisational readiness for AI deployment, and attitudes toward automated recruitment technologies.

The quantitative component comprises of survey data collected from employees and participants knowledgeable with Azerbaijani recruitment methods. The poll includes closed-ended and Likert-scale questions intended to assess opinions about AI technologies in recruitment.

The study uses both primary and secondary data sources. Primary data sources include survey responses and interview results, whereas secondary sources include academic publications, books, institutional reports, and past research on AI and human resource management.

The analysis applies descriptive and analytical methods to evaluate the relationship between AI technologies and recruitment performance. Special attention is given to AI applications such as applicant tracking systems (ATS), natural language processing (NLP), machine learning algorithms, automated candidate screening, and recruitment chatbots.

2. Recruitment Process and Human Resource Management

Recruitment is one of the most critical aspects of human resource management. The fundamental goal of recruitment is to locate, attract, evaluate, and choose qualified persons who can contribute to organisational success. Effective recruitment methods boost an organization's performance, competitiveness, and long-term viability.

Traditional recruitment processes often involve multiple stages, such as workforce planning, job analysis, vacancy advertisement, applicant sourcing, application screening, interviewing, selection, and onboarding. Each level necessitates significant administrative effort and time commitment from HR specialists.

Modern organisations face increasing hurdles in terms of recruitment efficiency. One of the biggest challenges is the increasing competition for highly skilled workers. Companies must process a significant volume of applications while maintaining fairness, transparency, and objectivity in candidate evaluation.

Traditional recruitment systems are also vulnerable to human bias. Recruiters may unconsciously favor candidates based on personal preferences, physical appearance, educational background, or similarities to themselves. Such biases can negatively affect diversity and organizational performance.

Another challenge is the increasing volume of applications resulting from digital recruitment platforms. HR departments often struggle to review large numbers of resumes manually, leading to delays and inefficiencies. These challenges have encouraged organizations to adopt technological solutions capable of automating repetitive recruitment tasks.

3. Artificial Intelligence and Its Role in Recruitment

Artificial intelligence refers to computer systems that can do tasks that normally need human intelligence. AI systems can analyse data, identify patterns, learn from past experiences, and make predictions or judgements. The advancement of machine learning and deep learning technologies has greatly increased AI applications in a variety of industries.

Machine learning is a branch of artificial intelligence that allows computers to improve their performance through data analysis and experience. Natural language processing (NLP) enables artificial intelligence systems to understand and process human language. Deep learning technologies employ neural networks to analyse complex datasets and detect patterns with high accuracy.

AI technologies are becoming more and more utilised in the recruiting industry to automate and optimise hiring procedures. Applicant Tracking Systems (ATS) are one of the most frequent AI-powered tools utilised by businesses. These systems automatically screen resumes for keywords, credentials, and job criteria.

AI-powered chatbots are also commonly employed in recruitment. Chatbots may connect with candidates, answer questions, provide comments, and schedule interviews in real time. Such technologies enhance the candidate experience while lowering the workload of HR staff.

Video interview analysis is another promising AI application in recruitment. Advanced artificial intelligence systems can analyse candidates' speech patterns, facial expressions, communication styles, and emotional responses during interviews. These systems aim to assess personality traits and professional fit.

4. AI-Powered Recruitment at SOCAR

SOCAR is one of Azerbaijan's largest and strategically important corporations. SOCAR operates in the energy sector and requires highly trained personnel in engineering, management, finance, information technology, and other specialised sectors. As the global employment market becomes more competitive, SOCAR is under increasing pressure to modernise its recruitment methods.

The introduction of AI-powered recruitment platforms presents various prospects for SOCAR. First, AI technology can drastically shorten recruiting time by automating resume screening and candidate selection. HR experts can concentrate on strategic decision-making rather than routine activities.

Second, artificial intelligence technologies boost candidate matching accuracy. Machine learning algorithms outperform traditional manual screening approaches in comparing candidate qualifications, experiences, and skills to job criteria. This raises the chances of recognising highly qualified people.

Third, AI-powered recruitment solutions may lower the operational expenses involved with hiring processes. Automated screening methods minimise the need for huge administrative personnel to review applications manually.

Another significant advantage is the enhancement of applicant experience. AI chatbots respond quickly to applicants, maintain constant communication, and streamline application procedures. Such enhancements promote employer branding and raise candidate satisfaction.

SOCAR can benefit from data-driven recruitment decisions. AI algorithms are capable of analysing enormous statistics on applicant performance, employee churn, and recruitment efficiency. This enables HR departments to make better-informed and objective decisions.

5. Challenges and Risks of AI Recruitment

Despite its benefits, AI-powered recruitment faces various problems and risks. One of the main problems is algorithmic bias. AI systems learn from historical data, and if previous recruitment data contains discriminatory trends, AI algorithms may accidentally duplicate or reinforce bias.

Data privacy and confidentiality are also crucial considerations. Recruitment systems handle a considerable amount of sensitive personal information, such as educational records, professional experiences, and psychiatric assessments. Organisations must comply with data protection laws and ethical norms.

Another difficulty is a lack of openness in AI decision-making. Some AI algorithms function as "black-box" systems, making it difficult for organisations and applicants to comprehend how judgements are made. This may erode faith in recruitment systems.

Resistance to technical change may also impact AI implementation. Employees and HR professionals may be concerned about job displacement or lack faith in automated solutions. Successful AI integration necessitates organisational training, digital literacy, and cultural adaption. Overreliance on AI systems can increase hazards. Recruitment is both a technical and a human-centered activity that includes interpersonal communication, emotional intelligence, and an assessment of organisational culture. Excessive automation may diminish the human aspect of recruitment.

Furthermore, adopting AI technology necessitates significant financial resources, infrastructure development, and technical knowledge. Organisations must verify that AI systems are consistent with their strategic aims and values.

6. Organizational Readiness and Employee Attitudes

The successful implementation of AI-powered recruitment depends heavily on organizational readiness. Companies must possess appropriate technological infrastructure, skilled personnel, and strategic leadership to support digital transformation.

Research findings indicate that employees generally recognize the benefits of AI technologies in recruitment. Many participants believe that AI can improve efficiency, reduce delays, and enhance objectivity in candidate evaluation. At the same time, some employees express concerns regarding fairness, transparency, and the potential loss of human interaction in recruitment processes. Candidates often value personal communication and direct engagement with recruiters.

HR professionals also emphasize the importance of balancing technological innovation with human judgment. AI should function as a supportive tool rather than a complete replacement for human decision-makers.

Organizational culture plays a critical role in AI adoption. Companies with innovative and flexible cultures are more likely to implement AI technologies successfully. Leadership commitment and employee training programs are essential for overcoming resistance to change.

7. Discussion

The findings show that artificial intelligence has significant potential for improving SOCAR's recruitment processes. AI technologies can improve efficiency, save operating costs, and enable data-driven decision-making. Automated systems are especially useful for repetitive operations like scanning resumes, communicating with candidates, and organising interviews.

The study also found that implementing AI might improve SOCAR's competitiveness in the labour market. Faster and more precise recruitment processes enable organisations to attract highly qualified individuals ahead of competition. However, the data confirms that AI adoption should be addressed with caution. Ethical implications, data privacy concerns, and algorithmic transparency are still key difficulties. Organisations must develop explicit regulations that govern the use of AI in recruitment. The research also shows that Azerbaijan's organisational climate is gradually becoming more open to digital transformation. Nonetheless, AI usage in recruitment remains very low when compared to worldwide trends. SOCAR has the potential to become a leading example of technological modernisation in Azerbaijan's corporate sector.

Conclusion

Artificial intelligence is altering global recruitment procedures, opening up new prospects for organisational efficiency and talent acquisition. Integrating AI technology into SOCAR's recruitment systems has the potential to greatly improve candidate screening, communication, and decision-making.

The study shows that AI-powered recruiting has several significant advantages, including faster recruitment, higher hiring accuracy, fewer operating expenses, and a better candidate experience. AI technologies also enable data-driven decision-making, which may lead to more objective recruitment outcomes.

Simultaneously, the study indicates significant concerns linked to ethical dilemmas, algorithmic bias, transparency, and data privacy. Successful AI implementation involves rigorous planning, organisational preparation, personnel training, and good governance. Ultimately, artificial intelligence should not completely replace human recruiters. Instead, artificial intelligence should serve as a complimentary tool to assist HR professionals in strategic decision-making. The long-term effectiveness of AI-powered recruitment tools at SOCAR and in Azerbaijan's broader labour market will depend on the balance between technology innovation and human judgement.

References

1. Armstrong, M. (2014). Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice. Kogan Page.
2. Boudreau, J. W. (2014). Will Artificial Intelligence Replace Managers? MIT Sloan Management Review.
3. Bratton, J., & Gold, J. (2012). Human Resource Management. Palgrave Macmillan.
4. Campesato, O. (2020). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning. Mercury Learning & Information.
5. Crawshaw, J., Budhwar, P., & Davis, A. (2014). Human Resource Management: Strategic and International Perspectives. SAGE Publications.
6. Faerber, F., Weitzel, T., & Keim, T. (2003). An Automated Recommendation Approach to Selection in Personnel Recruitment.
7. Geetha, R., & Reddy, V. V. (2018). Recruitment through Artificial Intelligence: A Conceptual Study.
8. Han, J. (2020). Artificial Intelligence in Hiring: Assessing the Ethical and Legal Implications.
9. Hmoud, B., & Laszlo, V. (2019). Will Artificial Intelligence Take Over Human Resources Recruitment and Selection?
10. Jarrahi, M. H. (2018). Artificial Intelligence and the Future of Work.
11. Nawaz, N., & Gomes, A. M. (2019). Artificial Intelligence Chatbots Are New Recruiters.
12. Okolie, U. C., & Irabor, I. E. (2017). E-Recruitment: Practices, Opportunities and Challenges.
13. Srirang, K., Jha, S. K., & Panday, P. (2020). Leveraging Artificial Intelligence for Effective Recruitment and Selection Processes.
14. Upadhyay, A. K., & Khandelwal, K. (2018). Applying Artificial Intelligence: Implications for Recruitment.

İÇİNDƏKİLƏR

Amil Cəmilov, Fərmayıl Həsənov

Transformerəsaslı anomaliya aşkarlanması: metodların müqayisəli təhlili 4

Səfurə Əkbərova

Theoretical Models and Concepts of Digitalization of Commercial Processes 10

Fəxri Məmmədov

Bulud texnologiyalarının informasiya texnologiyalarında rolu və müəssisə sistemlərinin
rəqəmsal transformasiyasında tətbiqi 15

Kanan İsmayilzadə

Scaling B2B SaaS Startups in Emerging Digital Economies:
Challenges and Strategies in the Baltics 20

Nihat Əliyev

Kompüter sistemlərinin penetrasiya testində zəifliklərin aşkarlanması və
risklərin idarə olunması 26

Rustam Karimov

Circular Economy as a Factor of Global Sustainable Transformation:
Modern Trends and International Experience 31

Seymur Shirinov

AI-Powered Recruitment: Enhancing the Talent Acquisition Process at SOCAR 39

İmzalandı: 15.05.2026
Çap tarixi: 01.06.2026
Kağız formatı: 60x84, 1/8
H/n həcmi: 5,75 ç.v.

