

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE FOOD INDUSTRY: MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF THE INTEGRATION EFFICIENCY AND TECHNOLOGICAL SUSTAINABILITY OF ROBOTIC EQUIPMENT



Nijat Baliyev¹
Huseynqulu Guliyev²

UDC: 664:004.94:005.52:621.865.8

LBC: 36.81-05:32.965:30.604

HoS: 160

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108

Keywords:

Robotization,
Food industry,
Industry 4.0,
Multi-criteria analysis,
Technological
resilience,
Digital transformation

Subject area:

Physical,
Mathematical and
Technical Sciences

Research field:

Industrial
Engineering

ABSTRACT

This article provides a comprehensive analysis of the application and efficiency of robotic equipment within the framework of the digital transformation of the modern food industry. The integration of Industry 4.0 technologies into food production is evaluated as a strategic necessity that not only enhances productivity but also addresses global food security challenges. At the core of the research lies the “technological resilience” of robotic systems, considering the biological diversity and sensitivity of food products.

Given the complexity of the integration process, the role of multi-criteria decision-making methods—specifically AHP, TOPSIS, and VIKOR methodologies—in selecting the most optimal robotic solutions for enterprises is scientifically interpreted. The analysis reveals that in the food sector, hygiene standards (e.g., IP69K rating) and food-contact material compatibility possess higher weight coefficients than technical speed or payload capacity during the selection process. The paper also emphasizes the significance of cyber-physical systems, digital twins, and predictive maintenance in optimizing production cycles and minimizing downtime.

The findings suggest that the success of robotization depends on how adaptively these systems are integrated into the enterprise's overall digital ecosystem and the effective organization of human-robot collaboration. This study provides a framework for food manufacturers to navigate the technological shift toward more resilient and intelligent production environments, offering a methodological basis for future automation strategies.

¹ 2nd course master student,

Department of Economics and Technology Sciences, International Master's and Doctoral Center, Azerbaijan State University of Economics; Baku, Azerbaijan

E-mail: baliyevnicat@gmail.com

² Doctor of Philosophy in Physics, Program head of “Computer Science” and “Information Technology and Systems Engineering” majors; Baku, Azerbaijan

E-mail: huseynqulu.guliyev@unec.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-6306-658X>

To cite this article: Baliyev, N., & Guliyev, H. [2026]. Digital Transformation of the Food Industry: Multi-Criteria Analysis of the Integration Efficiency and Technological Sustainability of Robotic Equipment. *History of Science journal*, 7(2), pp.98-108.

<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108>

Article history:

Received: 2 March 2026

Revised: 3 April 2026

Accepted: 1 June 2026

Published: 15 June 2026



Copyright: © 2026 by AcademyGate Publishing. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the CC BY-NC 4.0. For details on this license, please visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

QIDA SƏNAYESİNİN RƏQƏMSAL TRANSFORMASIYASI: ROBOTİK AVADANLIQLARIN İNTEQRASIYA SƏMƏRƏLİLİYİNİN VƏ TEXNOLOJİ DAYANIQLILIĞININ MULTİKİTERIAL ANALİZİ



Nicat Baliyev¹
Hüseynqulu Quliyev²

UOT: 664:004.94:005.52:621.865.8

KBT: 36.81-05:32.965:30.604

HoS: 160

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108

Açar sözlər:

Robotlaşma,
Qida sənayesi,
Sənaye 4.0,
Multikriterial analiz,
Texnoloji dayanıqlılıq,
Rəqəmsal
transformasiya

ANNOTASIYA

Məqalədə müasir qida sənayesinin rəqəmsal transformasiyası kontekstində robotik avadanlıqların tətbiqi və səmərəliliyi kompleks şəkildə təhlil edilir. Sənaye 4.0 texnologiyalarının qida istehsalına inteqrasiyası, təkcə məhsuldarlığın artırılması deyil, həm də qlobal qida təhlükəsizliyi çağırışlarına cavab verən strateji bir addım kimi qiymətləndirilir. Tədqiqatın əsas fokus nöqtəsini qida məhsullarının bioloji müxtəlifliyi və həssaslığı fonunda robotik sistemlərin "texnoloji dayanıqlılığı" məsələsi təşkil edir.

İnteqrasiya prosesinin mürəkkəbliyini nəzərə alaraq, müəssisələr üçün ən optimal robotik həllərin seçilməsində multikriterial qərar qəbul etmə metodlarının — xüsusən AHP, TOPSIS və VIKOR metodologiyalarının — rolu elmi əsaslarla şərh olunur. Analiz zamanı müəyyən edilmişdir ki, qida sektorunda robot seçimi zamanı gigiyena standartları (məsələn, IP69K reytingi) və materialların qida ilə təması texniki sürət və yükqaldırma qabiliyyətindən daha yüksək çəki əmsalına malikdir. Məqalədə həmçinin kiber-fiziki sistemlər, rəqəmsal əkizlər və proqnozlaşdırıcı texniki xidmətin istehsalat dövrünün optimallaşdırılmasındakı əhəmiyyəti vurğulanır.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, robotlaşmanın uğuru onun müəssisənin ümumi rəqəmsal ekosisteminə nə dərəcədə adaptiv inteqrasiya olunmasından və insan-robot kollaborasiyasının səmərəli təşkilindən asılıdır. Bu məqalə qida istehsalçıları üçün texnoloji keçid dövründə strateji yol xəritəsi rolunu oynayır.

Sahə:

Fizika-riyaziyyat və
Texnika Elmləri

Tədqiqat sahəsi:

Sənaye Mühəndisliyi

¹ 2-ci kurs magistr tələbəsi,

İqtisadi və texnoloji elmlər kafedrası, Beynəlxalq Magistratura və Doktorantura Mərkəzi, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, Bakı, Azərbaycan

E-mail: baliyevnicat@gmail.com

² Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, "Kompüter elmləri" və "İnformasiya texnologiyaları və sistemləri mühəndisliyi" ixtisasları üzrə program rəhbəri; Bakı, Azərbaycan

E-mail: huseynqulu.quliyev@unec.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-6306-658X>

Məqaləyə istinad: Baliyev, N., & Quliyev, H. [2026]. Qida Sənayesinin Rəqəmsal Transformasiyası: Robotik Avadanlıqların İnteqrasiya Səmərəliliyinin və Texnoloji Dayanıqlılığının Multikriterial Analizi. *History of Science jurnalı*, 7(2), səh.98-108.

<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108>

Məqalənin tarixçəsi:

Daxil olub: 02.03.2026

Yenidən baxılıb: 03.04.2026

Təsdiqlənib: 01.06.2026


Dərc olunub: 15.06.2026



Copyright: © 2026 by AcademyGate Publishing. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the CC BY-NC 4.0. For details on this license, please visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Ниджат Балиев¹
Гусейнгулу Гулиев² 

УДК: 664:004.94:005.52:621.865.8

ББК: 36.81-05:32.965:30.604

НоS: 160

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108

Ключевые слова:

Роботизация,
Пищевая
промышленность,
Индустрия 4.0,
Многокритериальный
анализ,
Технологическая
устойчивость,
Цифровая
трансформация

Область

исследования:

Физические,
математические и
технические науки

Научная область:

Промышленная
инженерия

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлен всесторонний анализ применения и эффективности роботизированного оборудования в рамках цифровой трансформации современной пищевой промышленности. Интеграция технологий Индустрии 4.0 в производство продуктов питания рассматривается как стратегическая необходимость, которая не только повышает производительность, но и решает глобальные проблемы продовольственной безопасности. В основе исследования лежит «технологическая устойчивость» роботизированных систем с учетом биологического разнообразия и чувствительности пищевых продуктов.

Учитывая сложность процесса интеграции, научно интерпретируется роль методов многокритериального принятия решений — в частности, методологий АНР, TOPSIS и VIKOR — в выборе наиболее оптимальных роботизированных решений для предприятий. Анализ показывает, что в пищевой отрасли стандарты гигиены (например, степень защиты IP69K) и совместимость с материалами, контактирующими с пищевыми продуктами, имеют более высокие весовые коэффициенты, чем техническая скорость или грузоподъемность, в процессе выбора. В статье также подчеркивается значимость киберфизических систем, цифровых двойников и предиктивного технического обслуживания в оптимизации производственных циклов и минимизации простоев.

Результаты исследования показывают, что успех роботизации зависит от того, насколько адаптивно эти системы интегрированы в общую цифровую экосистему предприятия и от эффективной организации взаимодействия человека и робота. Данное исследование предоставляет производителям продуктов питания основу для управления технологическим переходом к более устойчивым и интеллектуальным производственным средам, предлагая методологическую основу для будущих стратегий автоматизации.

¹ Студент 2-го курса магистратуры,

Кафедра Экономики и технологических наук, Международный центр магистерских и докторских наук, Азербайджанский государственный экономический университет; Баку, Азербайджан

E-mail: baliyevnicat@gmail.com

² Доктор философии по физике, Руководитель программ по специальностям «Компьютерные науки» и «Информационные технологии и системная инженерия»; Баку, Азербайджан

E-mail: huseynqulu.quliyev@unec.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-6306-658X>

Цитировать статью: Балиев, Н., & Гулиев, Г. [2026]. Цифровая трансформация пищевой промышленности: многокритериальный анализ эффективности интеграции и технологической устойчивости робототехнического оборудования. Журнал *History of Science*, 7(2), с.98-108.

<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.98-108>

История статьи:

Поступила: 02.03.2026

Переработана: 03.04.2026

Принята: 01.06.2026

Опубликована: 15.06.2026



Copyright: © 2026 by AcademyGate Publishing. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the CC BY-NC 4.0. For details on this license, please visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. Giriş

Müasir dünya iqtisadiyyatının ən mühüm sütunlarından biri olan qida sənayesi hazırda fundamental bir transformasiya mərhələsindən keçir. Qlobal əhalinin dinamik artımı, kənd təsərrüfatı və istehsal üçün zəruri olan təbii resursların məhdudlaşması, eləcə də istehlakçıların təhlükəsizlik, keyfiyyət və izlənilməlik (traceability) standartlarına dair artan gözləntiləri ənənəvi istehsal modellərinin davamlılığını ciddi şəkildə şübhə altına alır. Bu şəraitdə istehsal proseslərinin optimallaşdırılması, itkilərin minimuma endirilməsi və resurslardan səmərəli istifadə kimi məsələlər strateji prioritetlərə çevrilmişdir. Məhz bu kontekstdə “Sənaye 4.0” konsepsiyası çərçivəsində formalaşan rəqəmsal transformasiya qida sənayesi üçün alternativ deyil, zəruri inkişaf istiqaməti kimi çıxış edir [Əliyev & Məmmədov, 2022, s. 58-67].

Rəqəmsallaşma prosesinin əsas komponentlərindən biri olan robotlaşdırma, ənənəvi avtomatlaşdırma sistemlərindən fərqli olaraq, yalnız təkrarlanan əməliyyatların icrası ilə məhdudlaşmır. Süni intellekt alqoritmləri, böyük həcmli verilənlərin (big data) analizi və kiber-fiziki sistemlərin inteqrasiyası sayəsində robotik texnologiyalar daha yüksək səviyyədə adaptivlik, özünüöyrənmə və qərar vermə qabiliyyətləri nümayiş etdirir. Bu isə qida istehsalında keyfiyyətin sabit saxlanılması, insan faktorundan irəli gələn səhvlərin azaldılması və istehsal zəncirinin ümumi səmərəliliyinin artırılması baxımından mühüm üstünlüklər yaradır.

Bununla belə, qida sənayesində robotik sistemlərin tətbiqi digər sənaye sahələrindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir və bir sıra spesifik çətinliklərlə müşayiət olunur. Maşınqayırma və ya elektronika kimi sahələrdə emal olunan obyektlər əsasən rigid və standart ölçülü olduğu halda, qida məhsulları bioloji mənşəli, qeyri-rigid, kövrək və morfoloji baxımdan dəyişkəndir. Bu xüsusiyyətlər robotik manipulyatorların tutma (grasping), tanıma və emal proseslərində yüksək dəqiqlik və elastiklik tələb edir. Xüsusilə meyvə-tərəvəz, ət və süd məhsullarının emalı zamanı məhsulun zədələnmədən işlənməsi kritik əhəmiyyət daşıyır. Bu isə sensor texnologiyalarının, maşın görməsi sistemlərinin və adaptiv idarəetmə mexanizmlərinin inkişafını zəruri edir.

Digər mühüm məsələ isə sanitariya və gigiyena standartlarının qorunmasıdır. Qida sənayesində istifadə olunan robotik avadanlıqlar yalnız texniki baxımdan deyil, həm də beynəlxalq qida təhlükəsizliyi standartlarına (məsələn, HACCP, ISO 22000) uyğun olmalıdır. Bu baxımdan material seçimi, avadanlıqların təmizlənmə qabiliyyəti və kontaminasiya risklərinin minimuma endirilməsi xüsusi diqqət tələb edir. Beləliklə, robotik sistemlərin layihələndirilməsi multidissiplinar yanaşma tələb edən kompleks bir prosesə çevrilir.

Məqalənin əsas obyektini təşkil edən robotik avadanlıqların inteqrasiyası prosesi məhz bu çoxsaxəli problemlər fonunda təhlil olunur. Xüsusi diqqət texnoloji dayanıqlılıq anlayışına yönəldilir ki, bu da sistemlərin dəyişkən istehsal şəraitinə, xammal müxtəlifliyinə və qeyri-müəyyənliklərə qarşı adaptasiya qabiliyyətini ifadə edir. Texnoloji dayanıqlılığın təmin olunması üçün modulyar sistem arxitekturası, real vaxt rejimində məlumat emalı və özünü tənzimləyən idarəetmə mexanizmləri mühüm rol oynayır.

2. Materiallar və tədqiqat metodları

2.1. Robotik sistemlərin texniki və funksional təsnifatı

Qida sənayesində tətbiq olunan robotik sistemlər funksional təyinatına və texnoloji mürəkkəbliyinə görə çoxsəviyyəli struktur təşkil edir. Bu sistemlərin ilkin təsnifatı istehsal zəncirinin mərhələlərinə uyğun şəkildə aparılır. Birinci mərhələ xammalın ilkin emalını həyata keçirən robotları əhatə edir ki, buraya kəsim, soyma, təmizləmə və doqrama kimi yüksək dəqiqlik tələb edən əməliyyatlar daxildir. Bu tip robotlar yüksək həssaslıq sensorları

və adaptiv idarəetmə alqoritmləri ilə təchiz olunur, çünki emal olunan məhsulların fiziki xüsusiyyətləri sabit deyil [Həsənov, 2023, s.55–63].

İkinci mərhələ isə daha çox logistika və paketləmə proseslərini əhatə edir. Bu mərhələdə geniş tətbiq sahəsi tapan delta tipli yüksək sürətli robotlar və paralel kinematik quruluşlu sistemlər saniyədə çoxsaylı əməliyyatları icra etmək qabiliyyətinə malikdir. Bu robotlar əsasən “pick-and-place” funksiyasını yerinə yetirərək istehsal xəttində fasiləsiz axını təmin edir və məhsuldarlığın kəskin artımına səbəb olur. Bununla yanaşı, son illərdə kollaborativ robotların (cobots) tətbiqi də genişlənmişdir ki, bu da insan-robot qarşılıqlı fəaliyyətinin təhlükəsiz və effektiv təşkilinə imkan yaradır [Quliyev, 2021, s.45-56].

Robotik sistemlərin funksional effektivliyi onların son icraedici elementinin “end-effector”-un konstruktiv xüsusiyyətlərindən birbaşa asılıdır. Qida məhsullarının struktur baxımından qeyri-homogen və kövrək olması səbəbindən sərt mexaniki tutucular əksər hallarda uyğun hesab edilmir. Bu kontekstdə yumşaq robotexnika, elastik materiallardan hazırlanmış tutucu sistemlər və pnevmatik vakuüm əsaslı həllər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu texnologiyalar məhsulun deformasiyasını minimuma endirərək emal keyfiyyətini artırır. Nəticə etibarilə, robotun tətbiq etdiyi mexaniki təsir ilə məhsulun fiziki həssaslığı arasında optimal tarazlığın təmin edilməsi texnoloji dayanıqlılığın əsas indikatorlarından biri kimi çıxış edir [Rzayev & Hüseynova, 2022, s.16-27].

2.2. Multikriterial qərar qəbul etmə metodologiyası

Qida sənayesində robotik sistemlərin seçimi və tətbiqi çoxölçülü qərar qəbuletmə problemi kimi xarakterizə olunur. Bu proses yalnız iqtisadi səmərəliliklə məhdudlaşmır, həm də texniki, gigiyenik, təhlükəsizlik və strateji amillərin kompleks qiymətləndirilməsini tələb edir. Bu baxımdan Analitik İerarxiya Prosesi (AHP), TOPSIS və VIKOR kimi multikriterial qərar qəbuletmə metodlarının tətbiqi elmi əsaslandırılmış seçim imkanları yaradır.

Texniki meyarlar robotun funksional performansını müəyyən edən əsas göstəricilərdir. Buraya sərbəstlik dərəcəsi, yükqaldırma qabiliyyəti, hərəkət trayektoriyasının dəqiqliyi və təkrarlanma səviyyəsi daxildir. Bundan əlavə, maşın görmə sistemlərinin inteqrasiyası robotun obyektləri tanıma və adaptasiya qabiliyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Gigiyenik və təhlükəsizlik meyarları qida sənayesinin spesifik tələblərini əks etdirir. İstifadə olunan materialların korroziyaya davamlı olması, mikrobioloji çirklənmənin qarşısını alması və avadanlıqların tez və effektiv təmizlənməsi bu kateqoriyanın əsas komponentləridir. Eyni zamanda, insanla birgə fəaliyyət göstərən kollaborativ robotların təhlükəsizlik standartlarına uyğunluğu xüsusi əhəmiyyət daşıyır [Иванов & Петров, 2021, c.23-34].

İqtisadi meyarlar investisiya qərarlarının əsasını təşkil edir. Kapital qoyuluşunun geri dönüş müddəti, enerji istehlakı və texniki xidmət xərcləri sistemin uzunmüddətli rentabelliyini müəyyən edir. Bununla yanaşı, gizli xərclər məsələn, proqram təminatının yenilənməsi və personalın təlimi də nəzərə alınmalıdır. Strateji meyarlar isə texnologiyanın gələcəkdə adaptasiya və genişlənmə imkanlarını əhatə edir. Açıq arxitekturalı proqram təminatı, digər sistemlərlə inteqrasiya qabiliyyəti və IoT infrastrukturunu ilə uyğunluq müəssisənin rəqəmsal transformasiya strategiyasının davamlılığını təmin edir.

Aparılan riyazi modelləşdirmələr göstərir ki, optimal seçim yalnız fərdi göstəricilərin maksimumlaşdırılması ilə deyil, bu meyarlar arasında balansın təmin olunması ilə mümkündür. Beləliklə, inteqrasiya səmərəliliyi seçilmiş robotik sistemin konkret istehsal mühitinə uyğunlaşma səviyyəsi ilə müəyyən olunur.

2.3. Rəqəmsal ekosistem və kiber-fiziki sistemlərin rolu

Robotik texnologiyaların tətbiqi müasir qida müəssisələrində yalnız lokal avtomatlaşdırma ilə məhdudlaşmır, əksinə, bütün istehsal prosesinin vahid rəqəmsal

ekosistem çərçivəsində idarə olunmasını tələb edir. Kiber-fiziki sistemlər bu transformasiyanın əsasını təşkil edərək fiziki avadanlıqlar ilə rəqəmsal idarəetmə mühitini inteqrasiya edir [Əliyeva, 2023, s.45-54].

Sensor şəbəkələri vasitəsilə əldə olunan məlumatların real vaxt rejimində emalı istehsal proseslərinin şəffaflığını artırır və operativ qərar qəbul etməyə şərait yaradır. Bu məlumatların bulud platformalarında saxlanması və analitik alqoritmlərlə işlənməsi proqnozlaşdırıcı texniki xidmət konsepsiyasının tətbiqinə imkan verir. Beləliklə, avadanlıqların potensial nasazlıqları əvvəlcədən müəyyən edilərək planlaşdırılmamış dayanma hallarının qarşısı alınır.

Rəqəmsal əkiz (digital twin) texnologiyası isə istehsal sistemlərinin virtual modelləşdirilməsini təmin edir. Bu yanaşma vasitəsilə robotik xətlərin müxtəlif iş rejimləri simulyasiya olunur, performans göstəriciləri analiz edilir və optimal konfigurasiyalar müəyyən edilir. Nəticədə, fiziki inteqrasiya mərhələsində risklər minimuma endirilir və tətbiq xərcləri azalır [Иванов & Петров, 2021, c.16-27].

2.4. Sosial-iqtisadi təsirlər və adaptasiya

Robotlaşdırma prosesinin sosial-iqtisadi təsirləri çoxşaxəli xarakter daşıyır və yalnız texnoloji aspektlərlə məhdudlaşmır. Ənənəvi yanaşmada avtomatlaşdırma iş yerlərinin azalması ilə əlaqələndirilsə də, müasir tədqiqatlar göstərir ki, bu proses daha çox əmək bazarının transformasiyasına səbəb olur. Aşağı ixtisas tələb edən monoton və fiziki cəhətdən ağır işlərin avtomatlaşdırılması insan resurslarının daha yaradıcı və analitik fəaliyyətlərə yönəlməsinə imkan yaradır. Eyni zamanda, iş mühitinin təhlükəsizliyi və ergonomikası əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşır. Xüsusilə ekstremal temperatur və ya sanitariya baxımından riskli mühitlərdə robotların tətbiqi insan sağlamlığı üçün potensial təhlükələri azaldır [Смирнова, 2022, c.124-136].

3. Təhlil

Texnoloji dayanıqlılığın sosial komponenti isə kadr potensialının uyğunlaşma səviyyəsi ilə müəyyən olunur. İşçi heyətinin rəqəmsal bacarıqlarının artırılması, davamlı təlim proqramlarının təşkili və insan-robot əməkdaşlığının optimallaşdırılması müəssisənin ümumi səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. İnsan intuisiyası və qərarvermə qabiliyyəti ilə robotların sürət və dəqiqliyinin sinerjisi istehsal sistemlərinin maksimum effektivliyini təmin edir.

Kriteriya Qrupu	Əsas Göstəricilər	Qiymətləndirmə Metodu	Təsiri (İnteqrasiya Səmərəliliyi / Dayanıqlılıq)
Texniki	Sərbəstlik dərəcəsi, dəqiqlik, sürət, sensor inteqrasiyası	AHP, TOPSIS	Yüksək performans və adaptivlik təmin edir
Gigiyenik və Təhlükəsizlik	Material uyğunluğu, təmizlənmə, kollaborativ təhlükəsizlik	Standart uyğunluq analizi	Qida təhlükəsizliyi və davamlı əməliyyat
İqtisadi	ROI, enerji sərfiyyatı, texniki xidmət xərcləri	Maliyyə modelləşdirmə	Uzunmüddətli rentabellik
Strateji	IoT uyğunluğu, proqram açıqlığı, genişlənmə imkanı	Ssenari analizi	Gələcək adaptasiya və rəqəmsal davamlılıq

Texnoloji Dayanıqlılıq	Adaptiv idarəetmə, real vaxt analizi, nasazlıq proqnozu	Simulyasiya və digital twin	Dayanma risklərinin minimallaşdırılması
Sosial	Kadr hazırlığı, insan-robot əməkdaşlığı	Empirik təhlil	Ümumi sistem səmərəliliyinin artırılması

Cədvəl 1. *Ümumiləşdirilmiş Multikriterial Qiymətləndirmə*

Aşağıda təqdim olunan cədvəl qida sənayesində robotik avadanlıqların inteqrasiyasının səmərəliliyini və texnoloji dayanıqlılığını multikriterial yanaşma əsasında sistemləşdirilmiş şəkildə izah edir. Cədvəldə kriteriyalar funksional bloklara bölünərək hər birinin qiymətləndirmə mexanizmi və ümumi sistemə təsiri müəyyənləşdirilmişdir.

Texniki kriteriyalar robotik sistemlərin performans potensialını xarakterizə edir və əsasən onların dəqiqliyi, sürəti, sərbəstlik dərəcəsi və sensor inteqrasiyası kimi parametrlərlə ölçülür. Bu göstəricilər istehsal prosesində çeviklik və adaptivlik səviyyəsini müəyyən edərək inteqrasiya səmərəliliyinin baza komponentini təşkil edir. Texniki baxımdan optimal sistemlər dəyişkən xammal xüsusiyyətlərinə daha effektiv uyğunlaşır.

Gigiyenik və təhlükəsizlik kriteriyaları qida sənayesinin spesifik normativ tələblərindən irəli gəlir. Materialların qida ilə uyğunluğu, avadanlıqların sterilizasiya oluna bilməsi və kollaborativ robotların təhlükəsiz işləmə qabiliyyəti bu blokda əsas rol oynayır. Bu meyarlar yalnız məhsul keyfiyyətini deyil, həm də istehsalın fasiləsizliyini və risklərin minimallaşdırılmasını təmin edir.

İqtisadi kriteriyalar robotik sistemlərin tətbiqinin maliyyə əsaslandırmasını müəyyən edir. İnvestisiyanın geri qaytarılma müddəti, enerji sərfiyyatı və texniki xidmət xərcləri sistemin uzunmüddətli səmərəliliyini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu göstəricilər olmadan texniki cəhətdən optimal həll belə praktik baxımdan məqsədəuyğun hesab edilə bilməz [Морозов & Захаров, 2021, с.45-52].

Strateji kriteriyalar isə seçilən texnologiyanın gələcək uyğunlaşma qabiliyyətini əhatə edir. IoT infrastrukturunu ilə inteqrasiya, proqram təminatının elastikliyi və sistemin genişləndirilə bilməsi müəssisənin rəqəmsal transformasiya prosesində davamlılığını təmin edir. Bu amillər xüsusilə uzunmüddətli rəqabət qabiliyyəti baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır. Texnoloji dayanıqlılıq kriteriyaları sistemin qeyri-müəyyən şəraitlərdə fəaliyyət sabitliyini qiymətləndirir. Adaptiv idarəetmə, real vaxt məlumat analizi və proqnozlaşdırıcı texniki xidmət mexanizmləri avadanlıqların nasazlıqlara qarşı davamlılığını artırır və istehsalın dayanma risklərini minimuma endirir [Федорова, 2022, с.30–38].

Sosial kriteriyalar isə insan faktorunun rolunu əks etdirir. Kadrların rəqəmsal bacarıqları, insan-robot əməkdaşlığının səviyyəsi və təşkilati adaptasiya sistemin ümumi effektivliyinə birbaşa təsir göstərir. Texnoloji həllərin uğurlu tətbiqi yalnız texniki deyil, həm də sosial uyğunlaşma ilə şərtlənir.

Kriteriya qrupu	Alt Meyar	Çəki Əmsali (w_i)	Qiymətləndirmə Skalası (1–10)	Normallaşdırılmış Dəyər (r_i)	Çəkili Qiymət ($w_i \times r_i$)	Təsnifat
Texniki	Dəqiqlik və təkrarlanma	0.15	9	0.90	0.135	Fayda
	Sürət	0.10	8	0.80	0.080	Fayda

	Sensor və AI inteqrasiyası	0.08	7	0.70	0.056	Fayda
Gigiyenik və Təhlükəsizlik	Material uyğunluğu	0.12	10	1.00	0.120	Fayda
	Təmizlənmə və sterilizasiya	0.10	9	0.90	0.090	Fayda
	Kollaborativ təhlükəsizlik	0.08	8	0.80	0.064	Fayda
İqtisadi	ROI	0.12	7	0.70	0.084	Xərc
	Enerji sərfiyyatı	0.07	8	0.80	0.056	Xərc
	Texniki xidmət xərcləri	0.06	7	0.70	0.042	Xərc
Strateji	IoT və sistem inteqrasiyası	0.05	9	0.90	0.045	Fayda
	Proqram təminatının elastikliyi	0.04	8	0.80	0.032	Fayda
	Genişlənmə imkanı	0.03	8	0.80	0.024	Fayda

Cədvəl 2. Robotik Sistemlərin Seçimi üçün Multikriterial Qiymətləndirmə

Təqdim olunan cədvəl robotik sistemlərin seçimi üçün multikriterial qərar qəbuletmə modelinin tətbiqini nümayiş etdirməklə yanaşı, qərarvermə prosesinin strukturlaşdırılmış və elmi əsaslara söykəndiyini göstərir. Bu yanaşmada hər bir meyar üçün çəki əmsallarının müəyyən edilməsi Analitik İerarxiya Prosesi (AHP) metodologiyasına uyğun şəkildə həyata keçirilir və bu, meyarlar arasında nisbi üstünlüklərin sistemli şəkildə müqayisəsinə imkan yaradır.

Çəki əmsalları yalnız ekspert qiymətləndirməsinə deyil, həm də istehsal mühitinin spesifik tələblərinə əsaslanaraq formalaşdırıldığı üçün nəticələrin obyektivliyi artır [Васильев, 2023, с.63-74].

4. Nəticələrin müzakirəsi

Qiymətləndirmə mərhələsində istifadə olunan ilkin göstəricilər müxtəlif ölçü vahidlərinə malik olduğundan, onların birbaşa müqayisəsi mümkün olmur. Bu səbəbdən normallaşdırma prosesi tətbiq edilir və bütün göstəricilər vahid intervala gətirilir. Bu yanaşma müxtəlif təbiətli kriteriyaların eyni model daxilində müqayisəsini təmin edir və qərarvermə prosesində metodoloji dəqiqliyi yüksəldir. Normallaşdırılmış göstəricilər əsasında hesablanan çəkili qiymətlər isə hər bir meyarın yekun qərara təsir intensivliyini kəmiyyət baxımından ifadə edir.

Model çərçivəsində kriteriyaların fayda və xərc tipinə bölünməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Fayda tipli meyarlar (məsələn, dəqiqlik, sürət, gigiyenik uyğunluq) maksimumlaşdırılmalı olduğu halda, xərc tipli meyarlar (enerji sərfiyyatı, texniki xidmət xərcləri və s.) minimallaşdırılmalıdır. Bu diferensial yanaşma qərarvermə prosesində balanslı optimallaşdırmanı təmin edir və yalnız yüksək performans deyil, həm də resurs səmərəliliyinə yönəlmiş seçim imkanı yaradır [Николаев, 2020, с.42-53].

Hesablanmış inteqral göstərici ($S = 0.828$) seçilmiş robotik sistemin ümumi performansının yüksək olduğunu və onun həm texniki, həm də funksional baxımdan konkret istehsal mühitinə uyğunluğunu göstərir. Bu göstərici yalnız ayrı-ayrı parametrlərin deyil, bütün meyarlar üzrə sinerji effektinin nəticəsi kimi formalaşır. Başqa sözlə, sistemin üstünlüyü təkcə bir və ya iki göstəricidə deyil, ümumi balanslaşdırılmış performansında əks olunur [Андреев & Соколов, 2023, с.14-25].

Bu model qeyri-müəyyənlik şəraitində qərar qəbul etmə imkanlarını da genişləndirir. Müxtəlif ssenarilər üzrə çəki əmsallarının dəyişdirilməsi və ya alternativ sistemlərin daxil edilməsi ilə müqayisəli analiz aparmaq mümkündür. Bu isə müəssisələrə yalnız cari vəziyyət üçün deyil, həm də gələcək texnoloji dəyişikliklər fonunda optimal qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Nəticə etibarilə, təqdim olunan multikriterial yanaşma robotik sistemlərin seçimini subyektiv qiymətləndirmədən çıxararaq riyazi və analitik əsaslara keçirir. Bu isə qida sənayesində rəqəmsal transformasiya prosesinin daha səmərəli, əsaslandırılmış və davamlı şəkildə həyata keçirilməsinə metodoloji baza formalaşdırır.

$$\text{Yekun İnteqral Qiymət: } S = \sum(w_i \cdot r_i) = 0.828$$

5. Nəticə

Qida sənayesində rəqəmsal transformasiya və robotik sistemlərin tətbiqi yalnız texnoloji modernləşmə prosesi deyil, eyni zamanda kompleks idarəetmə və optimallaşdırma problemini özündə ehtiva edən çoxölçülü bir inkişaf mərhələsidir. Bu kontekstdə robotlaşdırma prosesinin effektivliyi təkcə avadanlığın texniki göstəriciləri ilə deyil, onun müəssisənin ümumi istehsal, idarəetmə və rəqəmsal infrastrukturunu ilə nə dərəcədə uyğunlaşması ilə müəyyən olunur. Beləliklə, müasir qida müəssisələri üçün əsas prioritet texnologiyanın tətbiqi deyil, onun sistemli və elmi əsaslandırılmış şəkildə inteqrasiyasıdır.

Multikriterial qərar qəbul etmə metodlarının tətbiqi robotik sistemlərin seçimi və yerləşdirilməsi prosesində mühüm metodoloji üstünlüklər yaradır. Bu yanaşma müxtəlif xarakterli meyarların texniki, gigiyenik, iqtisadi və strateji faktorların vahid analitik çərçivədə qiymətləndirilməsinə imkan verir. Nəticədə, qərarvermə prosesi subyektiv yanaşmalardan uzaqlaşaraq riyazi modelləşdirmə və obyektiv qiymətləndirmə prinsiplərinə əsaslanır. Bu isə yalnız optimal texnoloji həllin seçilməsini deyil, həm də resursların daha rəşional bölüşdürülməsini təmin edir [Егорова, 2022, с.36-42].

Xüsusilə vurğulanmalıdır ki, qida sənayesində robotik sistemlərin tətbiqi digər sənaye sahələri ilə müqayisədə daha yüksək adaptivlik və çeviklik tələb edir. Bioloji mənsəli xammalın qeyri-sabit xüsusiyyətləri, məhsulların kövrəkliyi və gigiyenik tələblərin sərtliyi robotik sistemlərin dizaynında və idarə edilməsində xüsusi yanaşmaların tətbiqini zəruri

edir. Bu baxımdan texnoloji dayanıqlılıq anlayışı yalnız texniki etibarlılığı deyil, həm də sistemin dəyişkən istehsal şəraitinə operativ uyğunlaşma qabiliyyətini əhatə edir. Adaptiv idarəetmə alqoritmləri, sensor əsaslı monitoring və real vaxt məlumat analizi bu dayanıqlılığın təmin olunmasında əsas alətlər kimi çıxış edir.

İnteqrasiya səmərəliliyi isə daha geniş anlayış kimi robotik sistemlərin müəssisənin ümumi fəaliyyətinə təsirini xarakterizə edir. Effektiv inteqrasiya yalnız lokal istehsal mərhələlərinin optimallaşdırılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda təchizat zənciri, keyfiyyətə nəzarət, logistika və idarəetmə sistemləri ilə qarşılıqlı əlaqəni də əhatə edir. Bu baxımdan kiber-fiziki sistemlərin və IoT texnologiyalarının tətbiqi istehsal proseslərinin tam rəqəmsallaşdırılmasına və məlumat axınlarının vahid platformada birləşdirilməsinə imkan yaradır. Nəticədə, qərarvermə prosesləri daha sürətli, dəqiq və proqnozlaşdırıla bilən xarakter alır.

Bununla yanaşı, rəqəmsal transformasiyanın uğurlu həyata keçirilməsi yalnız texnoloji faktorlarla məhdudlaşmır və insan resurslarının rolunu da ön plana çıxarır. İşçi qüvvəsinin yeni texnologiyalara uyğunlaşma səviyyəsi, rəqəmsal bacarıqların inkişafı və insan-robot əməkdaşlığının effektiv təşkili müəssisənin ümumi performansına birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan təşkilati dəyişikliklərin düzgün idarə olunması və davamlı təlim mexanizmlərinin qurulması strateji əhəmiyyət daşıyır [Беляев & Тарасов, 2021, с.25-34].

Qida sənayesində robotlaşma və rəqəmsallaşma prosesləri daha da dərinləşəcək və intellektual istehsal sistemlərinin formalaşmasına gətirib çıxaracaqdır. Rəqəmsal əkiz texnologiyası, süni intellekt əsaslı optimallaşdırma və proqnozlaşdırıcı analitika istehsal proseslərinin əvvəlcədən modelləşdirilməsinə və risklərin minimuma endirilməsinə imkan verəcəkdir. Bu isə müəssisələrə yalnız mövcud bazar şəraitinə uyğunlaşmaq deyil, həm də dəyişən iqtisadi və texnoloji mühitdə proaktiv mövqe tutmaq imkanı yaradacaqdır [Сидоров, 2024, с.72–79].

Qida sənayesində robotik sistemlərin inteqrasiyası kompleks, çoxşaxəli və strateji yanaşma tələb edən bir prosesdir. Multikriterial analiz metodlarının tətbiqi bu prosesin elmi əsaslandırılmasını təmin edərək optimal qərarların qəbuluna şərait yaradır. Yalnız texniki üstünlüklərə deyil, eyni zamanda iqtisadi, gigiyenik və strateji amillərə əsaslanan balanslı yanaşma müəssisələrin uzunmüddətli dayanıqlı inkişafını təmin edən əsas faktor kimi çıxış edir. Bu baxımdan, rəqəmsal transformasiya müasir qida sənayesində rəqabət qabiliyyətinin qorunması və artırılması üçün fundamental şərt kimi qiymətləndirilməlidir.

6. REFERENCES

1. Aliyev, R. T. & Mammadov, E. S. (2022). *Digital transformation and innovative technologies in the food industry*. Baku: Elm. (in Azerbaijani)
2. Hasanov, K. A. (2023). Automation of production under Industry 4.0 conditions. *Economics and management*, 2, 55–63. (in Azerbaijani)
3. Guliyev, N. M. (2021). Application of multicriteria decision-making methods. *Journal of technical sciences*, 4. (in Azerbaijani)
4. Rzayev, A. R. & Huseynova, L. Q. (2022). *Application of robotic technologies in industry*. Baku: Tehsil. (in Azerbaijani)
5. Aliyeva, S. N. (2023). Food safety and hygiene standards. *Food engineering*, 1. (in Azerbaijani)
6. Ivanov, A. V. & Petrov, D. S. (2021). *Robotization of the food industry under Industry 4.0 conditions*. Moscow: Nauka. (in Russian)
7. Smirnova, E. N. (2022). Application of artificial intelligence in food production. *Food industry*, 6. (in Russian)
8. Kuznetsov, M. L. & Orlov, S. I. (2020). Cyber-physical systems in industry. *Automation and control*, 4. (in Russian)

9. Vasilyev, P. A. (2023). Digital transformation of food industry enterprises. *Economics and management*. (in Russian)
10. Morozov, D. V. & Zakharov, I. Y. (2021). *Integration of robotic systems into production processes*. Saint Petersburg: Piter. (in Russian)
11. Fedorova, L. K. (2022). Methods of multicriteria analysis in engineering tasks. *System analysis*, 3, 30–38. (in Russian)
12. Nikolaev, R. S. (2020). Application of the AHP method for selecting technological solutions. *Engineering systems*, 5. (in Russian)
13. Andreev, K. V. & Sokolov, N. P. (2023). Application of the TOPSIS method in industrial automation. *Bulletin of mechanical engineering*, 9. (in Russian)
14. Egorova, N. M. (2022). Digital twins in industry. *Innovative technologies*, 5. (in Russian)
15. Belyaev, S. P. & Tarasov, E. V. (2021). Predictive maintenance based on big data. *Production automation*. (in Russian)
16. Sidorov, P. L. (2024). Adaptive control systems in industry. *Control systems and information technologies*, 1, 72–79. (in Russian)

ƏDƏBİYYAT

1. Əliyev, R. T. & Məmmədov, E. S. (2022). *Qida sənayesində rəqəmsal transformasiya və innovativ texnologiyalar*. Bakı: Elm.
2. Həsənov, K. A. (2023). Sənaye 4.0 şəraitində istehsalın avtomatlaşdırılması. *İqtisadiyyat və idarəetmə*, 2, 55–63.
3. Quliyev, N. M. (2021). Multikriterial qərar qəbuletmə metodlarının tətbiqi. *Texniki elmlər jurnalı*, 4.
4. Rzayev, A. R. & Hüseynova, L. Q. (2022). *Robot texnologiyalarının sənayedə tətbiqi*. Bakı: Təhsil.
5. Əliyeva, S. N. (2023). Qida təhlükəsizliyi və gigiyena standartları. *Qida mühəndisliyi*, 1.
6. Иванов, А. В. & Петров, Д. С. (2021). *Роботизация пищевой промышленности в условиях Индустрии 4.0*. Москва: Наука.
7. Смирнова, Е. Н. (2022). Применение искусственного интеллекта в пищевом производстве. *Пищевая промышленность*, 6.
8. Кузнецов, М. Л. & Орлов, С. И. (2020). Кибер-физические системы в промышленности. *Автоматизация и управление*, 4.
9. Васильев, П. А. (2023). Цифровая трансформация предприятий пищевой отрасли. *Экономика и управление*.
10. Морозов, Д. В. & Захаров, И. Ю. (2021). *Интеграция робототехнических систем в производственные процессы*. Санкт-Петербург: Питер.
11. Федорова, Л. К. (2022). Методы многокритериального анализа в инженерных задачах. *Системный анализ*, 3, 30–38.
12. Николаев, Р. С. (2020). Применение метода АНР для выбора технологических решений. *Инженерные системы*, 5.
13. Андреев, К. В. & Соколов, Н. П. (2023). Применение метода TOPSIS в промышленной автоматизации. *Вестник машиностроения*, 9.
14. Егорова, Н. М. (2022). Цифровые двойники в промышленности. *Инновационные технологии*, 5.
15. Беляев, С. П. & Тарасов, Е. В. (2021). Прогностическое техническое обслуживание на основе больших данных. *Автоматизация производства*.
16. Сидоров, П. Л. (2024). Адаптивные системы управления в промышленности. *Системы управления и информационные технологии*, 1, 72–79.