

ISSN 1815-1779



Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi  
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan  
Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики



Azərbaycan Texniki Universiteti  
Azerbaijan Technical University  
Азербайджанский Технический Университет

**ELMİ ƏSƏRLƏR**

**PROCEEDINGS**

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**



# ELMİ ƏSƏRLƏR

Elmi-texniki jurnal

# PROCEEDINGS

Scientific-technical journal

# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

Научно-технический журнал

**№2**

**2024**

DOI: 10.61413/MOED7274

**Təsisçi:** Azərbaycan Texniki Universiteti  
**Founder:** Azerbaijan Technical University  
**Учредитель:** Азербайджанский Технический Университет

Jurnal 1992-ci ildən nəşr olunur. Şahadətnamə №305.  
The journal is published since 1992. Certificate No. 305.  
Журнал издается с 1992 года. Сертификат №305.

## REDAKSİYA HEYƏTİ

### Baş redaktor:

prof. V.M.Vəliyev

### Baş redaktorun müavinləri:

prof. S.N.Namazov

prof. N.A.Yusifbəyli

### Məsul katib:

t.f.d. X.M.Nəbiyev

### Redaksiya heyətinin üzvləri:

akademik A.M.Paşayev

(Azərbaycan)

akademik T.A.Əliyev (Azərbaycan)

AMEA-nın müxbir üzvü

A.Z.Məlikov (Azərbaycan)

prof. V.Mixaylov (Almaniya)

prof. S.Təkəli (Türkiyə)

prof. S.Simon (Almaniya)

prof. İ.A.Babayev (Azərbaycan)

prof. M.Güdəm (Türkiyə)

prof. Z.D.Kovalyuk (Ukrayna)

prof. N.V.Zik (Rusiya)

prof. İ.A.Balova (Rusiya)

prof. H.N.Nəcəfov (Türkiyə)

prof. M.İsmayilov (Türkiyə)

prof. E.Ə.Məsimov (Azərbaycan)

prof. P.D.Lazzaro (İtaliya)

prof. Z.A.Cahangirli (Azərbaycan)

prof. E.M.Qocayev (Azərbaycan)

prof. V.Ə.Qasimov (Azərbaycan)

prof. F.V.Yusifov (Azərbaycan)

prof. V.İ.Nəsirov (Azərbaycan)

prof. A.N.Məmmədov

(Azərbaycan)

prof. R.M.Rzayev (Azərbaycan)

prof. A.Y.Yerşov (Rusiya)

prof. İ.İ.Əliyev (Azərbaycan)

prof. Ə.Q.Əlirzayev (Azərbaycan)

prof. F.Ə.Qənbərov (Azərbaycan)

dos. A.N.Eminov (Azərbaycan)

dos. H.B.Guliyev (Azərbaycan)

i.e.f.d. N.V.Namazova (Azərbaycan)

## EDITORIAL BOARD

### Chief editor:

prof. V.M.Valiyev

### Deputy chief editors:

prof. S.N.Namazov

prof. N.A.Yusifbayli

### Senior secretary:

PhD Kh.M.Nabiyev

### Member of the editorial board:

academician A.M.Pashayev

(Azerbaijan)

academician T.A.Aliyev

cor.member of ANAS A.Z.Melikov

(Azerbaijan)

prof. V.Mikhailov (Germany)

prof. S.Tekeli (Turkey)

prof. S.Simon (Germany)

prof. İ.A.Babayev (Azerbaijan)

prof. M.Guden (Turkey)

prof. Z.D.Kovalyuk (Ukraine)

prof. N.V.Zik (Russia)

prof. İ.A.Balova (Russia)

prof. H.N.Najafov (Turkey)

prof. M.Ismailov (Turkey)

prof. E.A.Masimov (Azerbaijan)

prof. P.D.Lazzaro (Italy)

prof. Z.A.Jahangirli

(Azerbaijan)

prof. E.M.Godjaye (Azerbaijan)

prof. V.A.Gasimov (Azerbaijan)

prof. F.V.Yusifov (Azerbaijan)

prof. V.I.Nasirov (Azerbaijan)

prof. A.N.Mammadov

(Azerbaijan)

prof. R.M.Rzayev (Azerbaijan)

prof. A.Y.Yeršov (Russia)

prof. İ.İ.Aliyev (Azerbaijan)

prof. A.G.Alırızayev (Azerbaijan)

prof. F.A.Ganbarov (Azerbaijan)

ass.prof. A.N.Eminov (Azerbaijan)

ass.prof. H.B.Guliyev (Azerbaijan)

PhD N.V.Namazova (Azerbaijan)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Главный редактор:

проф. В.М.Валиев

### Зам. гл. редактора:

проф. С.Н.Намазов

проф. Н.А.Юсифбейли

### Ответственный секретарь

д.ф.т. Х.М.Набиев

### Члены редакционной коллегии:

академик А.М.Пашаев

(Азербайджан)

академик Т.А.Алиев

(Азербайджан)

член-корреспондент НАНА

А.З.Меликов (Азербайджан)

проф. В. Михайлов (Германия)

проф. С.Текели (Турция)

проф. С.Симон (Германия)

проф. И.А.Бабаев (Азербайджан)

проф. М.Гюден (Турция).

проф. З.Д.Ковалюк (Украина)

проф. Н.В.Зик (Россия)

проф. И.А.Балова (Россия)

проф. Х.Н.Наджафов (Турция)

проф. М.Исмаилов (Турция)

проф. Е.А.Масимов (Азербайджан)

проф. П.Д.Лаззаро (Италия)

проф. З.А.Джахангирли

(Азербайджан)

проф. Е.М.Годжаев (Азербайджан)

проф. В.А.Гасимов (Азербайджан)

проф. Ф.В.Юсифов (Азербайджан)

проф. В.И.Насиров (Азербайджан)

проф. А.Н.Мамедов

(Азербайджан)

проф. Р.М.Рзаев (Азербайджан)

проф. А.Е.Ершов (Россия)

проф. И.И.Алиев (Азербайджан)

проф. А.Г.Алирзаев (Азербайджан)

проф. Ф.А.Ганбаров (Азербайджан)

доц. А.Н.Эминов (Азербайджан)

доц. Х.Б.Гулиев (Азербайджан)

д.ф.э. Н.В.Намазова (Азербайджан)

**İcraçı redaktor:** İ.İ.Ağazadə

**Executive Editor:** İ.İ.Aghazada

**Исполнительный редактор:** И.И.Агазаде

**Redaksiyanın ünvanı:** AZ1073, Bakı ş., H.Cavid prosp., 25. AzTU.

Tel.: (+99412)5391452; <https://proceedings.aztu.edu.az>; E-mail: [elmieserler@aztu.edu.az](mailto:elmieserler@aztu.edu.az)

Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elmi əsərlər” jurnalında fizika, riyaziyyat, kimya, mexanika, avtomatika, informatika, telekommunikasiya, maşınqayırma, elektrotexnika, metallurgiya, maşınşünaslıq, energetika, iqtisadiyyat, nəqliyyat, ekologiya bölmələri üzrə məqalələr və qısa məlumatlar dərc edilir.

\*\*\*\*\*

Articles and brief information on physics, mathematics, chemistry, mechanics, automatics, informatics, telecommunications, machine-building, electrical engineering, metallurgy, theoretical engineering, energetics, economics, transport, ecology are published in the journal “Proceedings” of Azerbaijan Technical University.

\*\*\*\*\*

В журнале «Ученые записки» Азербайджанского Технического Университета публикуются статьи и краткие сообщения по физике, математике, химии, механике, автоматике, информатике, телекоммуникациям, машиностроению, электротехнике, металлургии, машиноведению, энергетике, экономике, транспорту, экологии.

---

Jurnal Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının təsdiq etdiyi elmi dərəcə iddiaçılarının əsərlərinin çap edildiyi dövrü elmi nəşrlərin siyahısına daxil edilmişdir.

\*\*\*\*\*

The journal is included in the list of periodical scientific publications approved by the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Azerbaijan where the works of scientific degree candidates are published.

\*\*\*\*\*

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, в которых публикуются работы соискателей ученых степеней, утверждаемый Высшей аттестационной комиссией при Президенте Азербайджанской Республики.



## MÜNDƏRİCAT \* CONTENTS \* ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Yegana Novruz Aliyeva, Sakina Mammad Abbasova</b> – Mathematical model of vortex vacuum robot gripper to determine its carrying capacity .....	5-12
<b>Alirza Majid Majidov</b> – Control of flow rate in heavy-oil pipelines using PID controller.....	13-20
<b>Bəhrüz Məmməd oğlu Sadıqlı</b> – “Multisim” proqramının elektrik dövrələrinin yığılmasında və parametrlərinin ölçülməsində tətbiqi .....	21-28
<b>Heybətulla Mabud oğlu Əhmədov, Elşən Kamil oğlu Manafov, Fərid Hikmət oğlu Hüseynov, Əli Sübhü oğlu Sadıxov</b> – Fiber-optik rabitənin server otağına avtomatlaşdırılmış nəzarətin modelləşdirilməsi.....	29-36
<b>Ramiz Kamandar oğlu Həsənli</b> – Çuqunun saflaşdırılma prosesinin səmərəliliyinin artırılması.....	37-44
<b>Adam Abdelsamad</b> – The impacts of the oil industry development on the vegetation cover in the oil production areas in Western Kordofan State, Sudan .....	45-50
<b>Aytac Nəzif qızı Bədəlova, Hikmət Nazim oğlu Məmmədov, Nəsimi Seymur oğlu Valehov, Fidan Ağarza qızı Valehova</b> – Kənd təsərrüfatı landşaftının geoinformasiya xəritələşdirilməsi və relyef modelləşdirilməsi üçün CİS texnologiyalarının tətbiqi .....	51-55
<b>Lalə İsbəndiyar qızı Qarayeva</b> – Yaşıl pedaqogikanın ətraf mühitin mühafizəsində rolu .....	56-60
<b>Röya Məmmədəli qızı Əmirova</b> – Azərbaycanın dövlət maliyyəsinin güclənməsində effektiv enerji istehsalının rolu: yaşıl iqtisadiyyata keçid strategiyaları .....	61-66
<b>Naridə Qaçay qızı Zülfüqarova</b> – İqlim dəyişikliklərinin təbii və texnoloji risklərinin minimumlaşdırılması.....	67-71
<b>Xəyalə Məmmədəğa qızı Qədirova</b> – Müxtəlif indekslərin tətbiqi ilə ərazilərin bitki örtüyünün qiymətləndirilməsi .....	72-79
<b>Ali Kanan Hasanov</b> – The impact of AI technologies on agriculture: a review .....	80-83
<b>Javad Vaqif Najafli</b> – Hybrid approaches to maximum Power Point Tracking (MPPT) based on artificial intelligence: synergy of methods to increase efficiency.....	84-91
<b>İsa Rəhman oğlu Məmmədov, Eldəniz Musail oğlu Hüseynov</b> – Mobil rabitə sistemlərində siqnalların müxtəlif üsullarla verilişi və qəbulu zamanı maneədayanlığının artırılması imkanlarının təhlili.....	92-97
<b>Valeh Jabbar Jafarov, Nahida Amanulla Alimirzaeva, Gulnara Huseynchan Musaeva, Sanam Musa Khalilova, Mansura Camal Rajabova</b> – Influence of filler and apprete on the properties of composite based on low density polyethylene and mineral roc “Gizil Zod”.....	98-103
<b>Khagani Farzulla Mammadov, Guldana Elsever Ismayilova, Ulviyya Salam Aliyeva-Jabbarly, Subura Gulali Xasayeva, Elnur Ismixan Mehtiyev</b> – Studying the influence of oil's heavy metals on the environment.....	104-110
<b>Нармин Айдын кызы Пашабейли, Омар Абдурагим оглы Садыгов</b> – Однореакторная дегидратация с изомеризацией циклогексанола в метилциклопентены и синтез аминометилциклопентантиолов и исследование их бактерицидных свойств .....	111-118

## MATHEMATICAL MODEL OF VORTEX VACUUM ROBOT GRIPPER TO DETERMINE ITS CARRYING CAPACITY

**Yegana Novruz Aliyeva, Sakina Mammad Abbasova**

*Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan:*

*yegane.aliyeva.1969@mail.ru, abbasovasakina@rambler.ru*

*<https://orcid.org/0000-0002-4211-9806>, <https://orcid.org/0000-0002-9213-5273>*

**Abstract.** Analysis of the quality and reliability of the results of boundary layer formation depending on the parameters of gas flow calculation, separation of the device connection model into finite elements was carried out in ANSYS FLUENT environment using the finite element method.

The results of calculations on the obtained analytical dependencies show high convergence with the calculations obtained by more complex modeling in the Ansys Fluent environment. They also include items with different surface shapes to provide gripping of items with different surface shapes while generating the technologically necessary gripping force. When manipulating different types of objects, stringent requirements are placed on the handle to ensure the safety of the surfaces it interacts with. Sometimes it is necessary to equip robots with interchangeable grippers to meet the requirements of the gripper.

**Keywords:** *Ansys Fluent, manipulation, vacuum grip, vortex, finite elements.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

The ability of industrial robots to perform the tasks of gripping objects, holding them securely during transfer and accurately positioning them at given positions has required the creation of a large number of different gripping devices.

When calculating and designing the gripping device of the considered type, the dimensions of the vacuum chamber and the carrying capacity of the device, determined by the mass of manipulation objects and the dynamics of the gripping device movement together with the object, are set as initial parameters. Consideration of the conditions of equilibrium of all forces allows us to determine the carrying capacity of the vacuum gripping device. At first, the bearing capacity is determined in the absence of motion, when only gravity and lifting force of the gripper act on the gripped object with a flat, horizontally oriented surface. This means that the gap is stabilized so that the lifting force of the gripper slightly exceeds the gravitational force acting on the object [1].

### Main part

The object must be in equilibrium when they act together; this condition imposes constraints on the masses of the objects to be carried on the one hand, and on the other hand, on the dynamic forces acting on the objects during the transfer. The force distributions lead to the conclusion that bending of the grasped object occurs, and this may be important for the determination of the strength conditions. Also, for very thin objects in the form of sheets, deformations, in particular creases, can be significant, leading to significant changes in clearances. In relation to the forces of gravity and the forces of inertia, factors such as center of mass displacements and angular orientation of the gripping device are also important.

Vortex motion of gases in the considered problems always has nonstationarity, which is accompanied by significant pressure pulsations, gas flow regimes are turbulent. However, in the simplified theory only constant, stationary components of velocities and pressures are considered.

The curve (Figure 1) shows that in the region from the axis to a certain radius the flow rotates with almost constant angular velocity  $w \approx 19(1/s)$ . In vortex theory, this zone rotating with  $w = \text{const}$  is called a forced vortex [2]. In the peripheral region of the chamber the angular velocity decreases sharply with increasing radius, and near the wall in the boundary layer it drops to zero. The law of velocity variation in this region, especially in cross-sections close to the nozzle cross-section, approaches the law of potential fluid flow. In the theory of vortex effect this flow is called free vortex.

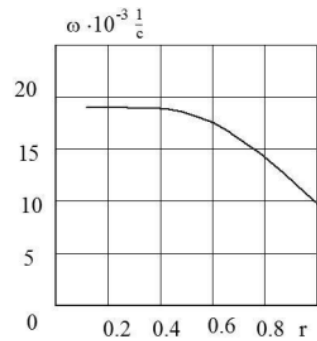


Fig. 1. Distribution of angular velocity of the rotating gas mass in the nozzle section of a vortex tube with a diameter of 30 mm along the relative radius  $r=r1/R$

The second component of the problem solved in the course of research is the problem of destruction of the jet exiting the nozzle, which ends the channel of compressed gas supply. The velocity  $V$  of flow from the nozzle for the pre-critical regime, when it is less than the speed of sound  $V < V^*$  is determined by the expression

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (1)$$

and in the subcritical regime the velocity remains constant and equal to the speed of sound  $V^*$ .

Let us consider the use of compressed air as a working gas. At pressure in the compressed air line  $P = 0.5$  MPa, the flow from the pipeline with a diameter of 2 mm is subcritical [3].

After the air flows into the chamber, it expands with a pressure drop to approximately atmospheric pressure (from 0.5 MPa to 0.1 MPa, i.e. 5 times). If the pipeline directly enters the chamber, the expansion occurs uniformly in all directions. To obtain directional expansion tangential to the vortex, a nozzle is used. A nozzle is a nozzle in which the potential energy of compressed gas is converted into kinetic energy; along the nozzle axis, the velocity of the moving air increases to the critical velocity and the pressure decreases. The absolute pressure decreases toward the nozzle outlet section, and the velocity can increase substantially, resulting in an increase in the angular velocity of the rotating air mass in the chamber.

The problems of aerodynamics of the processes occurring in a vortex vacuum gripping device are rather complicated. The mathematical model of these processes is built on the basis of nonlinear partial differential equations of Navier-Stokes under certain boundary conditions. The theory of vortex aerodynamics occupies a significant place in classical monographs on the mechanics of liquids and gases. The theory of vortices in cylindrical chambers has also been developed, but predominantly in relation to technological installations designed for air purification with particulate matter extraction and/or in relation to cooling [5-7].

Such problems are predominantly solved by numerical finite element method. As a result of mathematical modeling, the laws of stationary distribution of velocities and pressures in the vortex chamber after the jets exit from the nozzles were determined. However, first of all, it is necessary to have a convenient for practical use engineering technique for analyzing processes and determining parameters on the basis of rather simple calculation formulas.

Calculation of velocity and pressure distributions in a cylindrical chamber is carried out under the assumption that rotation of a significant part of the gas volume occurs around a fixed vertical axis in the absence of rotational slippage of cylindrical air layers relative to each other, i.e., it is assumed that the velocity distribution is the same as in a solid body when it rotates with angular velocity  $\omega$  around a fixed axis (Fig. 2). In this case, the velocities at all points are orthogonal to the radii, i.e., they are directed along the tangents to the concentric circles

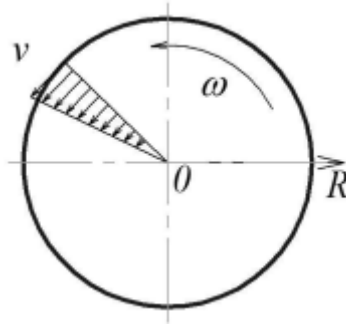


Fig. 2. Distribution of tangential gas velocity in the chamber along the radius

The volume of the gas mass rotating with angular velocity  $\omega$  in the cylindrical volume is bounded by the cylindrical wall of the chamber of radius  $R$ . Obviously, under such assumptions, the friction forces of cylindrical layers against each other are absent, and there is no energy dissipation in a significant part of the vortex chamber volume. It can be assumed that friction forces and energy loss occur only at the walls in thin boundary layers, the study of which represents an independent problem solved in a number of works [3].

$$b = R\left(\frac{1}{\sqrt{Re}}\right), \tag{2}$$

where  $R$  is the characteristic dimension (we can consider that it is the chamber radius), and  $Re$  is the Reynolds number, which is expressed by the relation

$$Re = \frac{\rho VR}{\mu} \tag{3}$$

where  $\rho$  is the air density,  $V$  is the vortex velocity (average),  $\mu$  is the dynamic viscosity coefficient. In this work, the boundary layers, the thickness of which, estimated by the above formulas for typical chamber parameters, as applied to vacuum vortex gripping devices, is of the order of  $0.1R$ , is small, and therefore, the influence of boundary layers on the pressure (rarefaction) distribution and the values of the gripping device lifting force for the steady-state mode can be neglected. The fact that the boundary layer thickness is small is confirmed by the results of computer modeling using the finite element method. It is also assumed that the distribution of velocities and pressures does not change along the height of the chamber. However, it is necessary to take into account the compressibility of the gas, i.e., the dependence of the density  $\rho$  on the pressure  $p$  varying along the radius. In accordance with the adopted model, the tangential velocity  $V(r)$  at radius  $r$  is determined by the expression

$$V(r) = \omega r = \frac{V_0 r}{R}, \tag{4}$$

where  $\omega$  is the angular velocity and  $V_0$  is the linear velocity at the wall (actually at the boundary with the boundary layer). The value  $V_0 = V\tau(R)$  of the tangential air velocity at the chamber wall is ultimately determined by the kinetic momentum of air jets from nozzles, i.e., the product of the nozzle flow velocity (in the problems under consideration, it is the sound velocity  $V_{kr}$ , i.e., close to 360 m/s) by the mass flow rate [8]. However, recalculation to the velocity  $V_0$  is difficult; it is only clear that at a constant flow rate of incoming compressed air through the nozzles, the velocity  $V_0$  (practically - averaged over the height) is smaller the greater the height of the chamber. It is further assumed that the velocity distribution in the chamber does not depend on the coordinate  $z$  along the chamber axis. Accordingly, it is assumed that the absolute pressure in the gas  $p(r)$  and its density  $\rho(r)$  depend only

on the radius  $r$ . It is assumed that the temperature is constant throughout the volume, so the process is isothermal; then the density is proportional to the pressure

$$\frac{\rho(r)}{\rho(R)} = \frac{p(r)}{p(R)} \quad (5)$$

It is also possible to assume that the process is isentropic, then the above relation must be changed. In the further derivation of the formulas, the pressure  $p(R)$  and density  $\rho(R)$  at the wall are assumed to be known. To derive the pressure distribution along the radius, consider a thin layer between two cylinders of radii  $r$  and  $(r+dr)$ , respectively. As the gas rotates, a distributed radial volume load  $\rho\omega^2 r$  from centrifugal forces acts on each layer, and as a consequence the pressure and, respectively, the density  $\rho$  change. On a positive increment  $dr$  of radius  $r$  there is a positive increment of pressure  $dp(r)$

$$dp(r) = \rho(r) \omega^2 r dr \quad (6)$$

Using the relation (5) relating pressure to density, we obtain instead (6):

$$\frac{dp(r)}{p(r)} = \frac{\rho(R)\omega^2 r}{p(R)} \quad (7)$$

Integrating over the variable  $r$  in the range from an arbitrary value of  $r$  to the boundary  $r=R$ , we obtain

$$\ln(r) = \frac{\rho(R)\omega^2 r^2}{2p(R)} + C \quad (8)$$

where  $C$  is an arbitrary constant. After its definition from the boundary condition  $p(R)$  at  $r=R$ , we finally obtain an expression for the relative change of the degree of rarefaction along the radius  $r$ :

$$\frac{p(r)}{p(R)} = \exp\left[-\frac{\rho(R)\omega^2 (R^2 - r^2)}{2p(R)}\right] \quad (9)$$

Thus, the formula of pressure variation along the radius coincides with the formula of Gaussian distribution, the center of which is shifted relative to zero ( $r = 0$ ) to the edge. At the center on the chamber axis (i.e., at  $r = 0$ ), the minimum pressure value is obtained:

$$\frac{p(0)}{p(R)} = \exp\left[-\frac{\rho(R)\omega^2 R^2}{2p(R)}\right] = \exp\left[-\frac{\rho(R)V^2 R}{2p(R)}\right] \quad (10)$$

This expression defines the maximum rarefaction. The exponent in expression (10) is the exponent of the exponent, which is the ratio of the velocity head at the chamber wall (at  $r = R$ ) to the static pressure also at the wall:

$$F_s = 2\pi \int_0^R (p(r) - p_0) r dr \quad (11)$$

The integral within (0, R) is not expressed through elementary functions, but is expressed through the integral of probabilities or must be calculated numerically. The determination of the pressure drop (from  $p(R)$  to atmospheric  $p_0$ ) at the exit (at  $r = R$ ), i.e., when air exits the chamber through the annular slit, is an independent problem, the solution of which can be found in the monograph [9]. However, if the annular width of the slit is assumed to be small, the radial component of the flow velocity from the slit can be determined from the energy conservation condition

$$\frac{\rho(R)V_r^2(R)}{2} \approx [p(R) - p_0] = \Delta p \quad (12)$$

Relations (10) and (12) are two equations with respect to two unknowns  $V_r(R)$  and  $p(R)$ . When solving them, it is necessary to set different values of the gap  $z$ . The assumption often made that the pressure  $p(R)$  can be considered close to atmospheric pressure ( $p(R) \approx 0.1$  MPa) is not justified, and this pressure value must be found from the conditions of equality of flow rate through the slot and gas inflow through the nozzles.

Further, we need to use the condition of air mass constancy in the chamber, i.e., the equality of air flow rates through  $n$  nozzles with inner diameter  $d$  and flowing out through the gap between the chamber edge and the object surface. This condition has the form:

$$\frac{\pi n d^2 \rho^* V^*}{4} = 2V_r(R)\pi R z \rho(R) \quad (13)$$

where  $V^*$  and  $\rho^*$  are respectively velocity and density in front of the gap. Hence, at  $n=2$  the expression for the gap is obtained:

$$z = \frac{d^2 \rho^* V^*}{4R \rho_0 V_r} \quad (14)$$

At  $d=2$  mm, assuming that  $V(R)/V^* = 0.5$ , we obtain  $z = 0.6$  mm. Note that in the absence of stops positioning the object, the constant value of the gap cannot be set, it is obtained as a result of using the obtained solution of the problem. However, in another case, when the position of the object relative to the camera is set by setting the stops, and this unambiguously determines the width of the slot, we can be guided by this value. When the gripping device is supplied from the compressed air network, the velocity of flow from the nozzle is close to the speed of sound  $V^* \approx 340$  m/s, and the density  $\rho^* \approx 5$  kg/m<sup>3</sup>. After substituting (13) into (12), we obtain the following dependences of overpressure  $\Delta p = [p(R) - p_0]$  and radial velocity  $V_r(R)$  on the gap  $z$ :

$$V_r(R) = \frac{n d^2 \rho^* V^*}{8R z \rho(R)} \quad (15)$$

$$\Delta p = \frac{n^2 d^4 \rho^{*2} V^{*2}}{128 R^2 z^2 \rho(R)} \quad (16)$$

For the case of a gripper with two nozzles of 2 mm diameter connected to a standard compressed air network with a pressure of 0.5 MPa we have:

$$\Delta p = \frac{0.281}{R^2 z^2 \rho(R)} \quad (17)$$

These formulas are valid only for the range of variation of the gap  $z$  for which the vortex is conserved. The results of calculations according to formulas (10) and (12) are presented in the form of graphs depicting the dependences of the ratio of the rarefaction index in the center on the vortex velocity at the wall, shown in Figure 3.

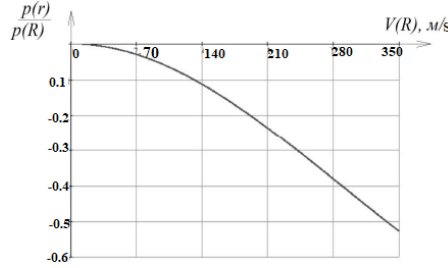


Fig. 3. Dependence of the rarefaction index on the velocity at the chamber wall

It can be seen that the rarefaction index  $p(0)/p(R) = 0.5$  is achieved at very high velocity  $V^* \approx 300$  m/s, close to sonic velocity. At substantially lower subsonic velocities, instead of (9) for the distribution of the degree of rarefaction, it is reasonable to limit ourselves to the first two terms of the decomposition into a step series, then approximately

$$\frac{p(r)}{p(R)} \approx 1 - \frac{\rho(R)\omega^2(R^2 - r^2)}{2p(R)} \quad (18)$$

and in the center, at  $r=0$

$$\frac{p(0)}{p(R)} \approx 1 - \frac{\rho(R)V^2(R)}{2p(R)} \quad (19)$$

Using the approximate expression (17), the lifting force  $F_c$ , can be found as an integral over the area:

$$\begin{aligned} F_c &= 2\pi \int_0^R (p(r) - p_0) r dr = 2\pi \int_0^R \left[ p(R) - \frac{\rho(R)\omega^2(R^2 - r^2)}{2} - p_0 \right] r dr = \\ &= -\frac{\pi}{4} R^4 \rho(R)\omega^2 + \pi R^2 p(R) - \pi R^2 p_0 \end{aligned} \quad (20)$$

If we take the chamber radius  $R=0,025$ m,  $\rho(R)=1$ kg/m<sup>3</sup> as the air density under normal conditions (atmospheric pressure), and the pressure at the periphery of the vortex chamber to be equal to  $p(R)=0,1$ MPa, we obtain the value of the lifting force:  $F_v = 72$ N.

As a result of numerical calculations without the above simplification, the specified value of the force  $F$  is obtained:

$$F_c = 2\pi \int_0^R \left( \exp\left[-\frac{\rho(R)\omega^2 R^2}{2p(R)}\right] - p_0 \right) r dr = 58 \text{ H} \quad (21)$$

Thus, the error of calculation by the simplified formula (19) compared to the calculation of the integral (20) by numerical methods (Runge-Kutty) is about 20%. To be fair, it should be noted that if the first three terms in the power series expansion of formula (9) are retained, the expression for the force will take the form:

$$\begin{aligned} F_c &= 2\pi \int_0^R (p(r) - p_0) r dr = 2\pi \int_0^R \left[ p(R) - \frac{\rho(R)\omega^2(R^2 - r^2)}{2} + \frac{\rho(R)^2 \omega^4 (R^2 - r^2)^2}{4} - p_0 \right] r dr = \\ &\pi p(R) R^2 - \pi p_0 R^2 - \frac{\pi R^4 \omega^2 \rho(R)}{4} + \frac{\pi R^6 \omega^4 (\rho(R))^2}{24} = 56 \text{ H} \end{aligned}$$

In this case, the value of force  $F$  will be equal to 56 N, and the calculation error will be 4%. The question of velocity distribution in the boundary layer at the chamber wall remains open. Obviously, this velocity depends on the number of nozzles and, most importantly, on their diameters. It can be expected that the velocity distribution along the height will be significantly different from the uniform one; it can be assumed that, other things being equal, the velocity distribution will also depend on the geometrical dimensions of the chamber, namely, on the height or volume of the chamber [10,11]. The greater the height, the greater the volume of gas will be driven into rotational motion, the lower the velocities will be and the lower the degree of rarefaction will be. In full-scale experimental studies, it is easier to measure the pressure (rarefaction) or the forces themselves rather than the velocities.

Mathematical modeling of aerodynamics in the vortex chamber is presented below. The results of numerical calculations performed by the finite element method of pressure distribution (reduction with respect to atmospheric pressure) in the working chamber of the gripper are presented in Figure 4, Diagram 2.

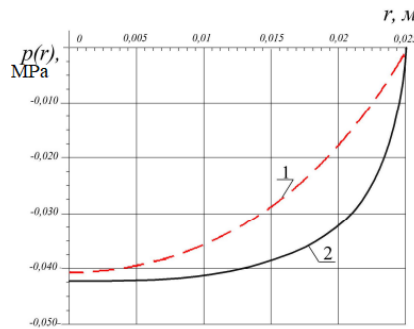


Fig. 4. Graph of pressure change along the radius of the vortex chamber, calculated analytically - 1 and in ANSYS Fluent - 2

Figure 4, graph 1 shows the analytically obtained graph of pressure distribution in the working chamber of the gripper. Figures 4 show that the analytical solution is close enough to the numerical one. The analytically obtained approximate solution allows to carry out simplified express-calculations, which is necessary at the initial stages of design of the gripping device of the considered type. To solve the problem of parametric optimization of the gripping device it is advisable to use numerical simulation of the processes occurring in the vortex chamber of the vacuum vortex gripping device[5, p. 215-240]. From the results of the calculations it follows that the level of rarefaction, which was achieved in the calculations of the vortex chamber with a diameter of 50 mm, is 0.04MPa, and the vortex gripping device with a chamber diameter of 150 mm was able to statically hold an object with a mass of 29kg. Characteristics of two variants of the device with different chamber diameters are presented in table.

Characteristics of vacuum vortex non-contact grippers

Vacuum chamber diameter, mm	50	150
Nozzle diameter, mm	2	3
Maximum design mass of the load held statically, kg	7.8	29
Compressed gas flow rate, l/min	210	622
Supply pressure, MPa	0.6	0.6
Vortex velocity at the periphery of the vacuum chamber, m/s	320	310

The obtained characteristics of vacuum gripping devices allow using these gripping devices for solving many practical problems, including manipulation tasks in robotic technological systems.

The above dependences (19-20) can be used in the design of a vacuum vortex chamber. Designing a vacuum vortex chamber for a gripping device provides a reasonable choice of its geometric



parameters and nozzle parameters, as well as compressed air pressure. The main geometrical parameters are: diameter  $D$ , height  $h$  of the chamber, nozzle diameter and their number, width of the vacuum chamber body side above the annular gap between the gripping device and the object to be carried. Compressed air can be supplied from an independent pump or from a central line; in the second case, it should be taken into account that the actual pressure can be much lower than the industry standard pressure (e.g. 0.4 MPa).

### Conclusions

In the course of the research, it is shown that there is a stable equilibrium position during object holding along with the unstable equilibrium position. Moreover, the system "gripper-object of holding" passes the unstable equilibrium position at the moment of gripping the manipulation object and determines the distance from which the gripping process begins.

Mathematical models of vortex gripping devices designed for automation of technological processes and operations requiring limited impact on the manipulation object have been developed.

### REFERENCES

1. Məmmədova K.A. Əliyeva Y.N, Əliyeva A.Ə. Üç sərbəstlik dərəcəli robot manipulyator sistemi üçün optimal PID tənzimləyicisinin modelləşdirilməsi. Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri / Proceedings. 2024, s. 13-21. <https://proceedings.aztu.edu.az/publications/39>
2. Захаров А.А. Математическое моделирование многомерных газодинамических процессов в канале воздухозаборника СПВРД методом ленточно-адаптивных сеток // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Тез. докл. науч.-мет. конф. -М., 2008. с. 91-95.
3. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. Ижевск, НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2000, с. 147-153.
4. Пирумов У.Г., Росляков Г.С. Газовая динамика сопел. - М.: Наука. 1990. с. 242-263.
5. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. - М.: Физматлит. 2006, с. 225-230.
6. Felix Gabriel, Markus Fahning, Julia Meiners. Modeling of vacuum grippers for the design of energy efficient vacuum-based handling processes. Production Engineering Research and Development ISSN 0944-6524 Prod. Eng. Res. Devel. 2020, pp. 545–554. DOI 10.1007/s11740-020-00990-9
7. Giacomo Mantriota, Politecnico di Bari. Theoretical model of the grasp with vacuum gripper. Mechanism and Machine Theory. January 200742(1): 2-17. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2006.03.003
8. Mammadova K.A., Aliyeva A.A. Intelligent control system of multi-motion mobile robot. The caucasus economic & social analysis journal of southern Caucasus. 2024, pp. 79-93. DOI: 10.36962/CESAJSC5801024-78
9. Automatizacia Technologických Procesov Priemyselnyimi Robotami a manipulatorami / U. Cop, J. Buda, Ju. Kozyrev. CSc. Bratislava: Alfa, 1989.
10. Lokhin V.M. et al. Intelligent Feedback, Knowledge Processing and Self Learning in the Control Systems of the Autonomous Robots and Multi-Agent Robotic Groups. Mehatronika, avtomatizacija, upravljenje – Mechatronics, Automation, Control. 2015. Issue 16. vol. 8. pp. 545–555. <https://doi.org/10.17587/mau.16.545-555>.
11. Xin Li, Ning Li et al. Experimental comparison of Bernoulli gripper and vortex gripper. September 2015. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 16(10):2081-209 DOI:10.1007/s12541-015-0270-3

Accepted: 27.11.2024

## CONTROL OF FLOW RATE IN HEAVY-OIL PIPELINES USING PID CONTROLLER

**Alirza Majid Majidov**

*SOCAR, Baku, Azerbaijan: elirza1996@mail.ru*

*<https://orcid.org/0009-0001-9655-5523>*

**Abstract.** Along with the development of urbanization and the needs of the industry, more and more trunk oil pipelines are being built and serviced. For this industry, more reliable, effective and flexible control systems for the automation of the oil pipeline system are needed to prevent leaks during transportation. PID controller is used to control the flow rate of heavy oil in pipelines by controlling the vibration in the motor pump. Torsion actuator is installed on the motor pump to control the vibration in the motor and thus control the flow rate in the pipelines.

**Keywords:** *PID controller, motor pump, open-loop model, linear model.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### 1. Introduction

Oil pipelines and transfer pump units are critical parts of the oil transportation system because they can interfere with daily production, cause property losses and even damage the environment due to pipeline leaks, abnormal operation of energy-mechanical system equipment with certain faults. With the development of advanced technology, fault diagnosis systems, leak detection systems in the control center, safety control and physical parameter control, etc. are installed in the pipelines. The distance between the shut-off valves is optimal. The component of the protection system should be selected according to the cross-section through which the pipelines pass, so as to regulate the pressure, flow rate and flash point of petroleum products and prevent cracks from occurring in the pipelines. PID control is used to control and maintain processes. PID is simply an equation that the controller uses to evaluate the variables being controlled. The process variable is measured and a feedback signal is sent to the controller. The controller then compares the feedback signal with the one sent and generates an error value. The value is checked using one or more of three proportional, integral and derivative methods. As a result, the controller issues the necessary command or changes the control variable to correct the error [1].

PID controllers use feedback control in industrial applications and control systems. The controller first calculates an error value as the difference between the measured process variable and the preferred set-point value. It then attempts to minimize the error by increasing or decreasing the process control inputs or outputs so that the process variable approaches the target value. This method is most useful when the mathematical model of the process or control is too complex or unknown to the system. To improve performance, for example by increasing the responsiveness of the system, the PID parameters must be tuned to suit the specific application.

### 2. Problem statement

This paper deals with modeling and control of flow rate in heavy oil pipelines. For this purpose, PID control algorithm is used to control the flow mechanism in pipelines. Torsion bar drive is installed in the motor pump to control vibration in the engine. The stability of the PID controller is tested using Lyapunov stability analysis. Analysis of the stability of the controller leads to a theorem that confirms that the state system is limited. Theoretical concepts are tested by numerical simulation and analysis that prove the effectiveness of the PID controller in controlling flow rates in pipelines [2].

The flow control system is a feedback control system. The structure of the pump model is explained in Figure 1, it is an open-loop system. If there is unwanted vibration in the motor, the flow stability will be disturbed. Therefore, it is important to convert the open-loop system into a closed-loop system by applying a controller that controls the flow stability by controlling the vibration in the motor.

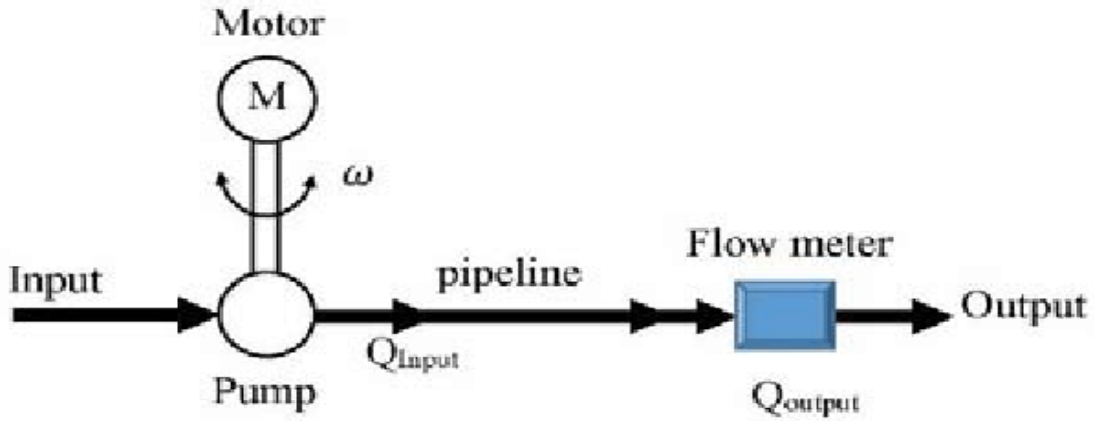


Figure 1. Open-loop model scheme.

### 3. Pipe modelling

Linear global flow stability theory is based on self-decomposition of linearized flow operators. Direct and adjoint decompositions associated with such operators provide information on the stability of the operator, the acceptance of initial conditions and external forcing, and the sensitivity to spatially localized disturbances [5]. For an incompressible liquid, the distribution is constant. We suggest that you obtain the simplest form of the operation by setting the density type equal to zero and dividing by the constant  $\rho$ :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\Delta p}{\rho} - u \cdot \nabla u + F_f \quad (1)$$

where,  $\rho$ -is the density in  $\frac{kg}{m^3}$ ,  $\Delta$ -divergence,  $u$ -is the flow velocity,  $p$ -is the pressure,  $t$  is the time in  $s$ ,  $F_f$ - is termed as the summation of external force and body forces [1].

Introducing the mass balance into equation (1), the following conclusion can be described:

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

Equation (1) can be described as,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_f \quad (3)$$

where  $\frac{\partial p}{\partial x}$  is the change of pressure in two different points, to achieve numerical stability of calculations.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho L} (p_i - p_{i+1}) + F_f, i = 1 \dots n \quad (4)$$

where  $L$ - is taken to be the distance between two sections. Now let's mention pressure coefficient

$$\alpha p_i = p_{i-1}, i = 1 \dots n \quad (5)$$

where,  $\alpha$ - is termed as the coefficient of pressure changes in sections

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho L} (1 - \alpha) p_i + F_f, i = 1 \dots n \quad (6).$$

The friction loss under laminar flow conditions is given with the Hagen-Poiseuille equation. By taking into consideration a fluid of density ( $\rho$ ) and kinematic viscosity  $\nu$ , the hydraulic slope  $F_f$  can be described as,

$$F_f = \frac{64}{Re} \frac{u^2}{2gD} + F_b = \frac{64\nu u}{2gD^2} + F_b, \quad (7)$$

where  $g$ - is the gravity,  $D$ -is pipe diameter and  $F_b$  –is the shape force vector in pipes. If some substitutions are made, equations (7) will be as following:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho L} (1 - \alpha) p_i + \frac{64\nu u}{2gD^2} + F_b, i = 1 \dots n \quad (8)$$

By taking into consideration  $F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2}$ ,  $u = \frac{dx}{dt}$ , equation (8) will be as below:

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial x_i}{\partial t} = -\frac{(1 - \alpha)}{\rho AL} \frac{\partial^2 x_i}{\partial t^2} \quad (9)$$

Therefore,

$$-\frac{(1 - \alpha)}{\rho AL} \frac{\partial^2 x_i}{\partial t^2} + \frac{64\nu}{2gD^2} \frac{\partial x_i}{\partial t} \quad (10)$$

#### 4. Linear model of torsion actuator

Control valves must provide reliable and repeatable control of the process fluid over a wide range of operating conditions. The control valve flow characteristic represents the dependence of the relative flow rate through the valve on the relative stroke of the control valve while maintaining a constant pressure drop.

Linear flow characteristic – equal increases in the relative stroke of the valve result in equal increases in the relative flow rate. Regulating valves with linear flow characteristic are used in systems where there is a direct relationship between the regulated value and the medium flow rate. Regulating valves with linear flow characteristic are ideal for maintaining the temperature of the mixture of heat carriers in heating stations with dependent connection networks [5].

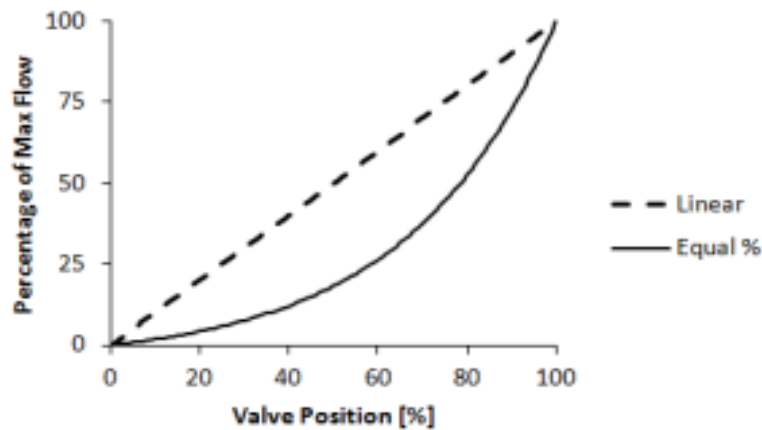


Figure 2. Linear model of torsional actuator

#### 5. PID structure

PID controller is a well-known and most commonly used controller in industrial applications because PID controller is simple, provides good stability and fast response. In each application, the gains of these three actions are changed to obtain the optimum response and control. The input signal

of the controller is the error signal, and the output signal is given to the process. The output signal of the controller is shaped in such a way that the output signal of the process tends to reach desired value.

PID controller is a closed-loop feedback system that compares a process variable with a set-point and generates an error signal according to which it regulates the output of the system. This process continues until this error becomes zero or the value of the process variable becomes equal to the set-point.

PID controllers are designed based on the microprocessor technology. Different manufactures uses different PID structures. The most commonly used PID equations are parallel which parallel type design of controller is used in this article.

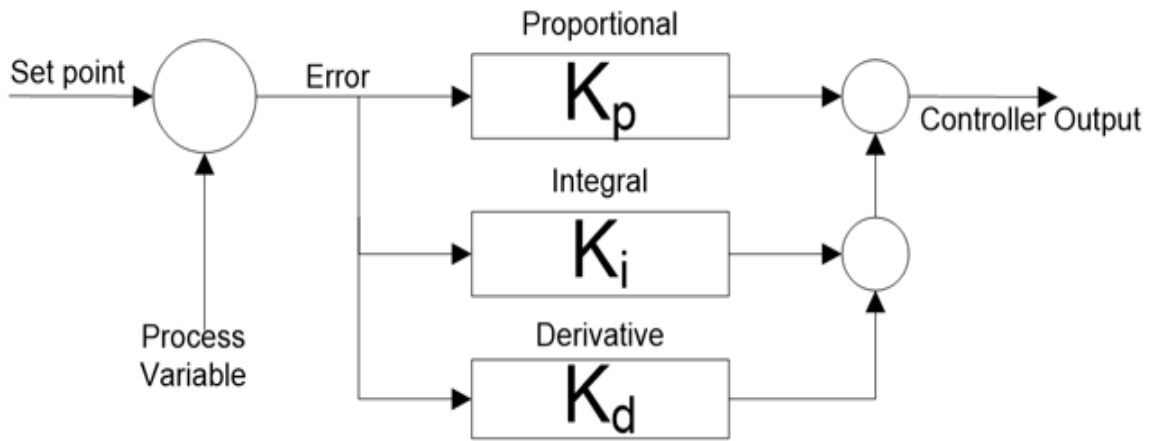


Figure 3. PID block diagram

The proportional term takes into account the current error, which is the difference between the desired set-point and the actual process variable. It then calculates the control output as a proportional response to this error. The proportional term is critical to preventing large deviations from a set-point, but it can itself lead to constant errors and oscillations [2]. This controller has the form

$$f(t) = K_p e(t) \tag{11}$$

$K_p$  – proportional constant.

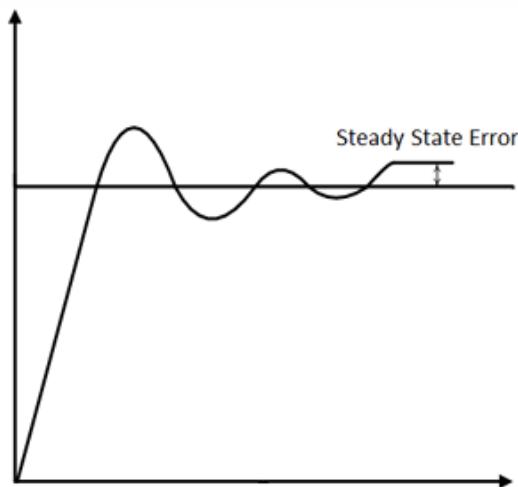


Figure 4. P type controller curve

The integral controller is often used because it can eliminate any bias that may exist. A negative error will cause the signal to enter the system to decrease, while a positive error will cause the signal

to increase. The integral controller affects the system by reacting to the accumulated historical error [2]. The format of this controller is as follows:

$$f(t) = K_i \int_0^t e(t) \tag{12}$$

$K_i$  – integral constant.

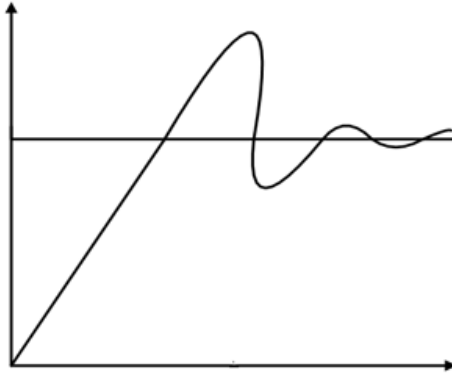


Figure 5. I type controller curve

Derivative control is a form of feedforward control that predicts process conditions by analyzing the change in error. It works to minimize the change in error, thus maintaining constant system settings. The control output is calculated based on the rate of change of error over time [2]. This controller has the form

$$f(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{13}$$

$K_d$  – derivative constant.

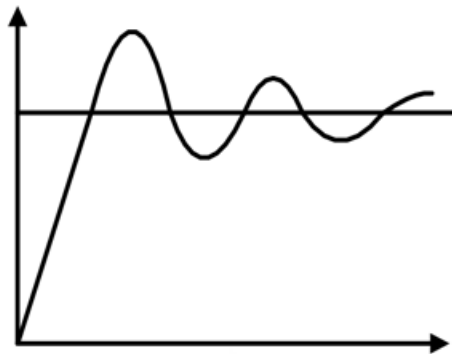


Figure 6. D type controller curve

PID control is the most commonly used because it combines the advantages of each type of control. This includes a quicker response time because of the P-only control, along with decreased zero offset from combined derivative and integral controllers [2]. This controller has the form in equation (14)

$$f(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{14}$$

For analyzing in PID controller, equation (14) can be stated as below:

$$f(t) = K_p X + v + K_d \dot{X} \tag{15}$$

$$v = K_i \int_0^t X d(t), v(0) = 0$$

According to closed-loop system, PID control is demonstrated as below:

$$\begin{aligned}\Gamma\ddot{X} + \varphi\dot{X} + F_g &= K_p X + K_d \dot{X} + v \\ v &= K_i X\end{aligned}\quad (16)$$

In matrix form, the closed-loop system is defined as,

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ X \\ \dot{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i X \\ X \\ \Gamma(\varphi\dot{X} + F_g - K_p X + K_d \dot{X} + v) \end{bmatrix}\quad (17)$$

For moving the equilibrium to the origin, the following is defined,

$$\check{v} = v - f(0)\quad (18)$$

And, the final closed-loop equation is defined as,

$$\begin{aligned}\Gamma\ddot{X} + \varphi\dot{X} + F_g &= K_p X + K_d \dot{X} + v - f(0) \\ v &= K_i X\end{aligned}\quad (19)$$

To analyze the stability of equations (18), the following properties are necessary:

**Property 1.** The positive define  $\Gamma$  must satisfy the following condition:

$$0 < \lambda_{\min}(\Gamma) \leq \|\Gamma\| \leq \lambda_{\max}(\Gamma) \leq \tilde{\gamma}\quad (20)$$

$\lambda_{\min}(\Gamma)$  and  $\lambda_{\max}(\Gamma)$  are minimum and maximum eigenvalues of matrix  $\Gamma$ , respectively also  $\tilde{\gamma} > 0$  is taken to be the upper bound [3].

**Property 2.**  $f$  is assumed to be Lipschitz in  $\tilde{x}$  and  $\tilde{y}$  if

$$\|f(\tilde{x}) - f(\tilde{y})\| \leq \Delta \|\tilde{x} - \tilde{y}\|\quad (21)$$

Since  $F_g$  is a continuous function of the first order and satisfies the Lipschitz condition, property 2 is established [3]. The lower bound of  $F_g$  can be calculated as follows:

$$\int_0^t f dx = \int_0^t F_g dx + \int_0^t d_u dx\quad (22)$$

Taking into account the above analysis of PID control approach is given by the below mentioned theorem:

**Theorem.** Considering the structural system of equation (10) controlled by PID control approach of equation (14), the closed system of equations (16) is considered to be asymptotically stable in the equilibrium states of  $[v - f(0), X, \dot{X}]^T = 0$ , if the following gains are satisfied [3]:

$$\begin{aligned}\lambda_{\min}(K_d) &\geq \frac{1}{4} \left( \frac{1}{3} \lambda_{\min}(\Gamma) \lambda_{\min}(K_p)^{1/2} \right) \left[ 1 + \frac{K_e}{\lambda_{\max}(\Gamma)} \right] - \lambda_{\min}(\varphi) \\ \lambda_{\max}(K_i) &\leq \frac{1}{6} \left( \frac{1}{3} \lambda_{\min}(\Gamma) \lambda_{\min}(K_p)^{1/2} \right) \left[ \frac{\lambda_{\min}(K_p)}{\lambda_{\max}(\Gamma)} \right]\end{aligned}\quad (23)$$

The software implemented in this paper is Matlab/Simulink. Simulations are presented to show that the motor vibration can be reduced to a significant level by using a torsional actuator with the developed controllers, thereby validating the effectiveness of the proposed control approach using PID controllers. A simulation period of 20 s is considered for the evaluation [4]. For the simulation purposes, the weight of the torsional actuator is considered to be 5% of the weight of the motor and pump combined. The theorem proposed in this paper provides sufficient conditions for the minimum values of proportional and derivative gains [5]. This theorem confirms that both proportional and

derivative gains should be positive since negative gains can make the systems unstable. The PID gains are selected within the stable range using stability analysis to ensure the effectiveness [6].

To compare the results, two blocks of the milling model subsystem were created: one without a control mechanism and one with a control mechanism. Numerical integrators are used to calculate the speed and also provide the acceleration signal. The control signal from the controller subsystem unit is fed to the torsion drive accounting unit to create the required control force. [7].

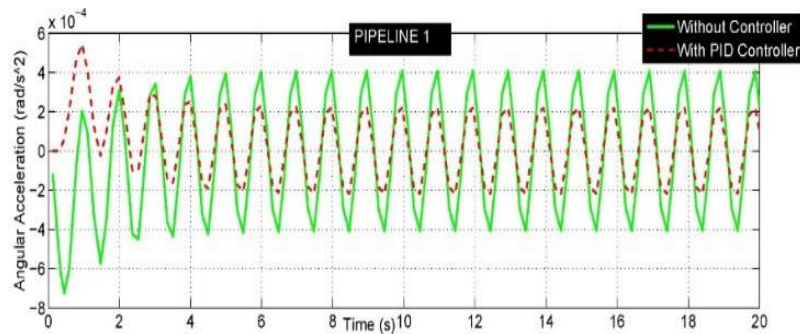


Figure 7. Comparison of motor vibration damping using PID controller for pipeline 1

Figures 7, 8 show the vibration damper of the engine. From these figures, it can be concluded that the PID controller does a good job of minimizing vibration. Figures 9, 10 and are stable, which proves the effectiveness of the PID controller.

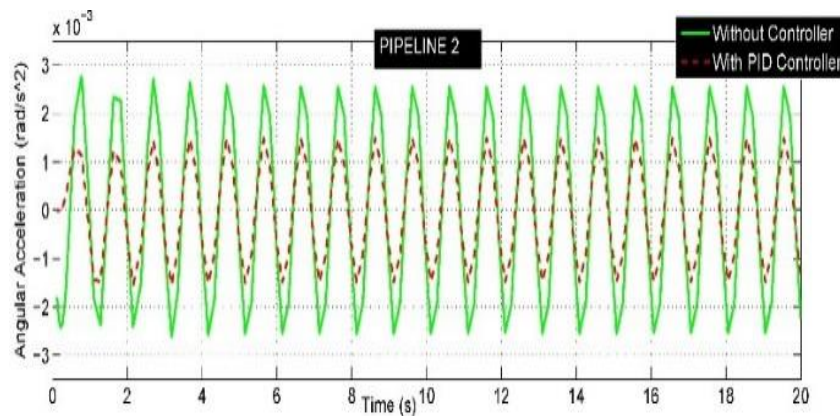


Figure 8. Comparison of motor vibration damping using PID controller for pipeline 2

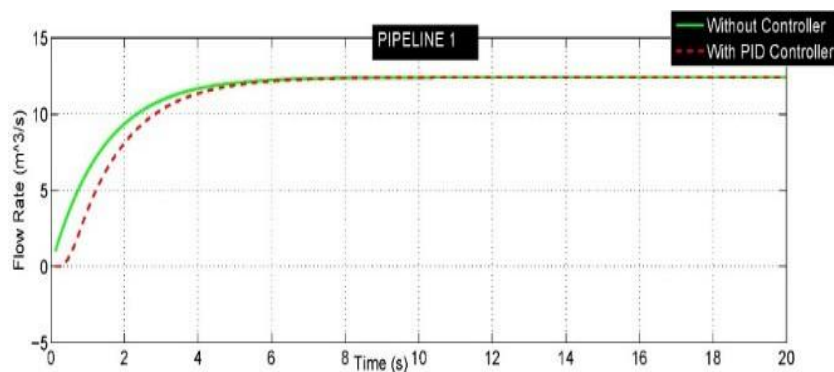


Figure 9. Flow stability using PID controller in pipeline 1



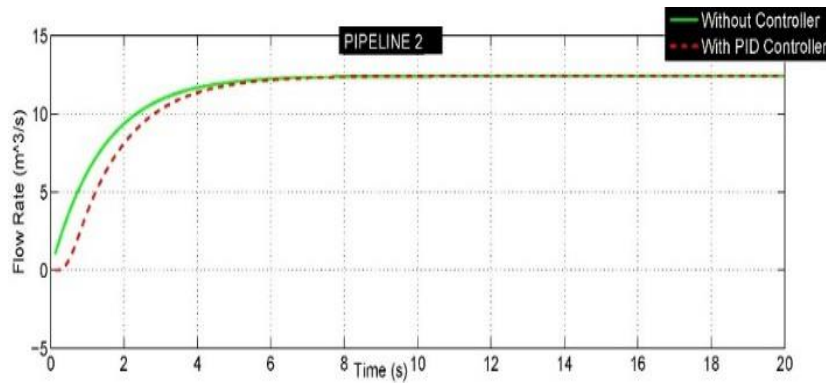


Figure 10. Flow stability using PID controller in pipeline 2

## 6. Conclusion

In this paper, the necessary conditions for the asymptotic stability of the proposed controller are verified by implementing the Lyapunov stability theorem. The theoretical concepts are verified through numerical simulation and analysis, which proves the effectiveness of the PID controller in pipeline flow control. A new active control strategy is proposed to suppress engine vibration and then control the flow rate of heavy oil pipelines. An important theoretical contribution is made to the stability analysis of the PID controller. The stability conditions necessary for tuning the PID gains are obtained. Sufficient conditions for the proportional, integral and derivative gains are obtained using the Lyapunov stability analysis. The numerical simulation and analysis confirm the effectiveness of the PID controllers in minimizing engine vibration in pipeline flow control. The main points of this paper are:

1. This work confirms the stability of the PID controller which was ignored in previous studies and looks at the flow control.
2. The method of using a torque drive in the construction of a pump-motor is completely new concept.

## REFERENCES

1. Thomas A. Huges. Measurement and control basics, 3rd edition, 2002.
2. Rames C. Panda. Introduction to PID controllers-theory, tuning and application to frontier areas, 2012.
3. Sung S.W., Lee J., Lee I-B. Process identification and PID control., IEEE Press, 2009.
4. Basilio J.C. and Matos S.R. Design of PI and PID controllers with transient performance specification. IEEE Transactions on Education, vol. 45, no. 4, pp. 364-370, 2012.
5. Priyanka E.B., Maheswari C., and Meenakshipriya B. Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC based PID controller. Journal of Applied Research and Technology, vol. 14, pp. 125-131, 2016.
6. Q. Xing Li. Design of flow control system based on expert PID. Conference: 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), 2016.
7. Ozkan M., Karakaya B., Turel E., Cicek O., Choban M.T. Linear flow characteristics in control valves. 7th Asia Pacific International Modern Sciences Congress, 2016.

Accepted: 27.11.2024

## “MULTİSİM” PROQRAMININ ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN YİĞİLMƏSİNDƏ VƏ PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİNDƏ TƏTBİQİ

**Bəhruz Məmməd oğlu Sadiqli**

*Azerbaijan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

### PERFORMING ELECTRICAL LABORATORY WORK ON “MULTISIM” COMPUTER EDUCATIONAL PROGRAM

**Bəhruz Məmməd Sadiqli**

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: behruz.sadiqli@student.aztu.edu.az*

*https://orcid.org/0009-0000-5217-6700*

**Abstract.** The application of the computer educational program "Multisim" has been indicated for measuring the parameters aiming assembly and calculation of electrical circuits and their description, which is the main topic of training and laboratory classes on "Electrical Engineering", "Basics of Electrical Engineering", "Basics of Electrical Engineering and Electronics", "Circuits Theory", "Theory of Electric Circuits", "Basics of Electric Circuits" and "Theoretical Basics of Electric Circuits" subjects taught at the "Electrical Engineering" department. With the help of the "Multisim" computer program, electrical circuits are assembled on the computer monitor by selecting active and passive elements of each electrical circuits and placing measuring devices. The "Multisim" program, as a modern computer program, models the measurement of the parameters of electrical circuits on the computer monitor. In this way, it becomes easier to implement the reports of those electrical circuits and the interest to the subject among students increases significantly.

**Keywords:** *Electrical circuits, "Multisim" program, electric measurements, reporting.*

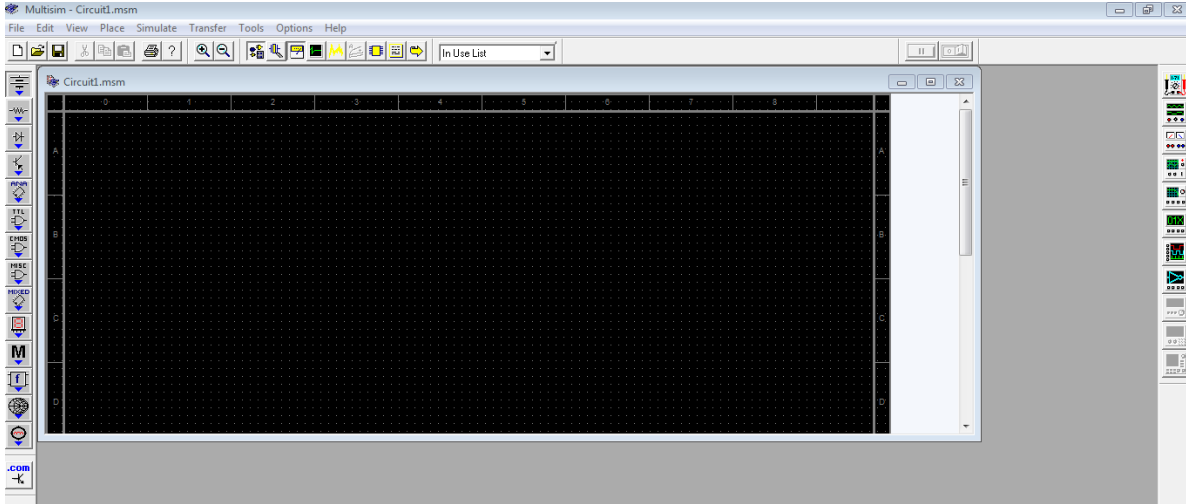
© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elektrotexnika” kafedrasında tədris edilən “Elektrotexnika”, “Elektrotexnikanın əsasları”, “Elektrotexnika və elektronikanın əsasları”, “Dövrələr nəzəriyyəsi”, “Elektrik dövrələr nəzəriyyəsi”, “Elektrik dövrələrinin əsasları” və “Elektrik dövrələrinin nəzəri əsasları” fənlərinin əsas məqsədlərindən biri elektrik dövrələrinin və onların təsviri olan elektrik sxemlərinin hesablarıdır [1, s. 63-67]. Bu hesabların yerinə yetirilməsi üçün elektrik sxemlərinin məlum olan və ya ölçü cihazları vasitələri ilə ölçülə bilən parametr və kəmiyyətlərindən istifadə edərək digər naməlum olanları təyin etmək tələb olunur [2, s. 9, 21-30]. Tədris olunan praktiki dərslərdə elektrik dövrələrinin yığılması vizual yerinə yetirilir və elektrik sxemlərinin hesabları məlum qanunlara əsasən həyata keçirilir [3, s. 19-23]. Mühazirə dərslərində tədris edilən nəzəriyyəyə əsaslanan tərtib olunmuş laboratoriya işləri də, yuxarıda qeyd olunan fənlərin tələbələr tərəfindən keyfiyyətli mənimsənilməsində xeyli əhəmiyyət kəsb edir [4, s. 12-212].

**Məsələnin qoyuluşu.** “Multisim” tədris kompüter proqramının tətbiqi ilə yuxarıda qeyd olunan fənlərin praktiki dərslərində elektrik dövrələrinin təsviri sayılan sxemlərin kompüterdə çəkilməsinin və parametrlərinin ölçülməsinin modelləşdirilməsi dəqiq yerinə yetirilməlidir [5, s. 1-3].

**Məsələnin həlli üsulları.** “Multisim” kompüter proqramı vasitəsi ilə elektrik sxemlərinin hər bir aktiv, passiv elementlərinin və ölçü cihazlarının modellərini seçib monitorda yerləşdirmək və parametrlərini müəyyən diapazonda tənzimləmək mümkündür. Dövrələrin elementlərinin və ölçü cihazlarının modellərini kompüterdə yerləşdirərkən açılan cədvəllərdən onların qiymətləri, ölçü cihazlarının sistemləri və hədləri də seçilir. Dövrənin elementlərini və ölçü cihazlarını birləşdirən naqillər isə monitorda xətlər ilə çəkilir. Elektrik sxeminin modeli çəkilib qurulduqdan sonra xüsusi açarın bir vəziyyətdən digərinə keçirilməsi ilə mənbənin dövrəyə qoşulması da modelləşdirilir. Bunun nəticəsində elektrik sxemlərinin ölçü cihazları dövrənin parametrlərinin qiymətlərini göstərir və onlar qeyd olunur. Ölçülər aparıldıqdan sonra isə məşğələ və laboratoriya işlərinin müvafiq hesabları keçirilir [6, 7].

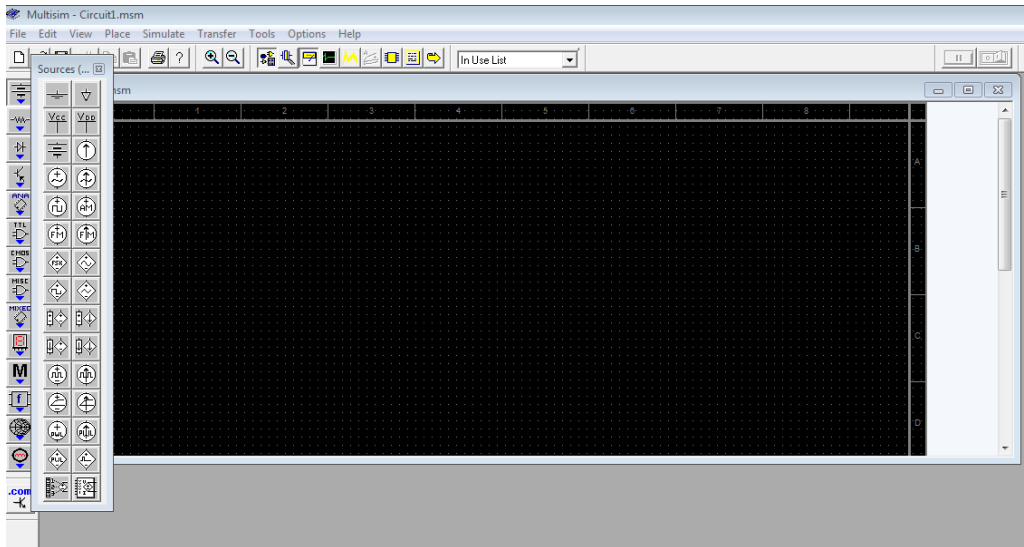
**“Multisim” kompüter proqramında elektrik sxeminin yığılması.** Kompüterdə elektrik sxemlərinin çəkilməsi üçün monitorunda “Multisim” proqramını açanda qara rəngdə sxem lövhəsi (proqramın digər versiyalarında lövhənin forması və rəngi fərqli ola bilər) və elektrik dövrəsinin elementlərinin modellərinin daxil edilməsi üçün piktoqramlar görünür (Şəkil 1).



Şəkil 1. Kompüterin monitorunda elektrik sxemlərinin çəkilməsi üçün qara lövhə

Bu lövhədən yuxarıda yerləşən “+” və “-” işarəli lupa piktoqramları ilə lövhəni, çəkilmiş elektrik sxemlərini elementlərilə birlikdə müvafiq olaraq iri və ya kiçik etmək mümkündür. Lövhədən sol tərəfdə elektrik sxemlərinin çəkilməsi üçün tələb olunan piktoqramlar şaquli cərgədə yuxarıdan aşağıya yerləşdirilmişdir. Həmin cərgədən hər hansı bir piktoqramı seçməklə elektrik dövrəsinin müvafiq elementinin modelini qara lövhənin istənilən hissəsində yerləşdirmək olar. Bu piktoqramlar müvafiq elementlərin elektrik sxeminin modelinə daxil edilməsinə vasitəçilik edir [7].

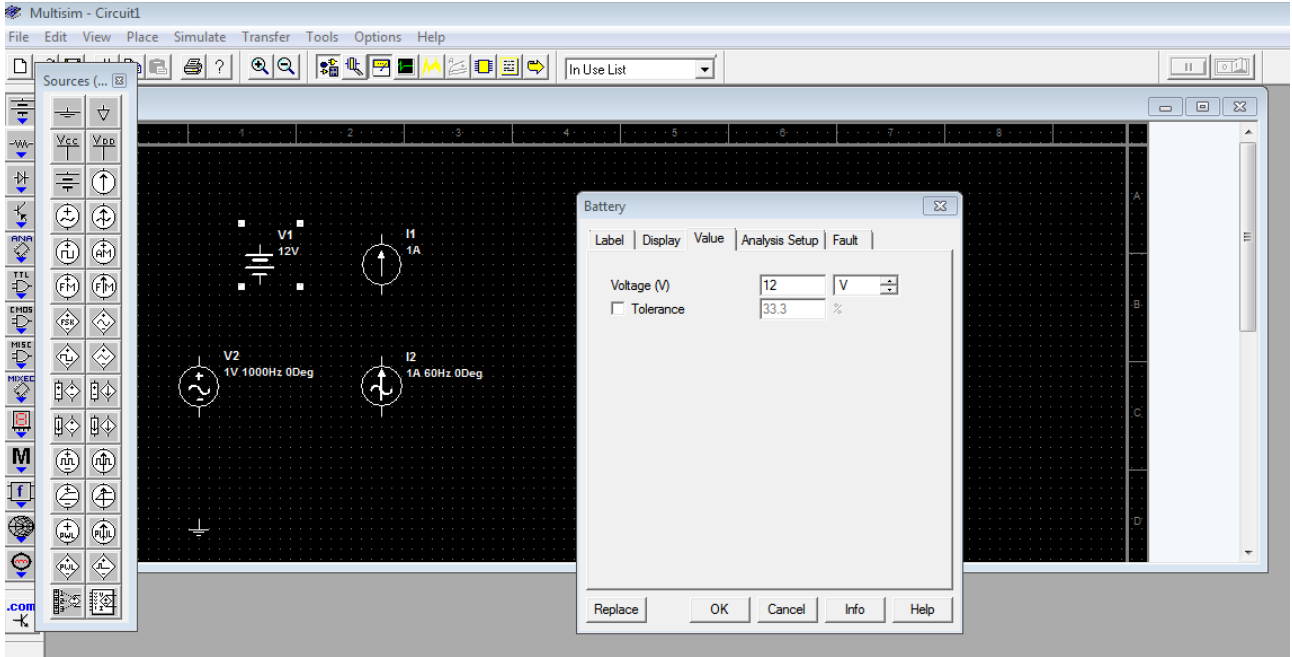
Lövhədə elektrik dövrəsinin əsas elementi sayılan mənbənin və torpaqlanmanın modellərinin yerləşdirilməsi üçün sol tərəfdə şaquli cərgənin yuxarıdan 1-ci piktoqramını istifadə etməklə pultun sağ tərəfini vurmaq lazımdır. Bundan sonra şaquli cərgənin yanında yeni 2-sütunlu şaquli cərgə açılır (Şəkil 2).



Şəkil 2. Elektrik sxemində mənbə və torpaqlanmanın çəkilməsi üçün piktoqramların şaquli cərgəsi

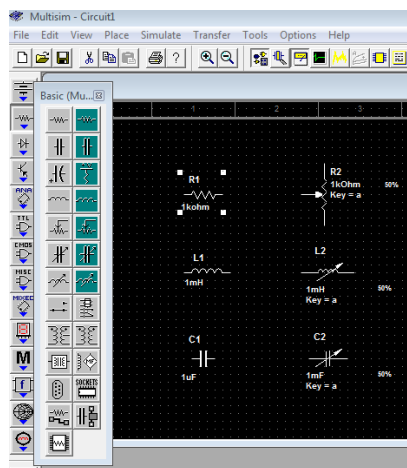
Bu sütunların yuxarıdan 3-cü piktoqramlarını istifadə etməklə sabit gərginlik və ya cərəyan mənbələrinin modellərini lövhədə yerləşdirmək olar. Eləcə də, həmin sütunların yuxarıdan 4-cü piktoqramlarının köməyi ilə dəyişən sinusoidal gərginlik və ya cərəyan mənbəyinin modellərini lövhədə yerləşdirmək mümkündür. Bu piktoqramlardan aşağıda yerləşən piktoqramlar isə müxtəlif formada olan qeyri-sinusoidal gərginlik və ya cərəyan mənbələrinin modelləridir. Elektrik mənbəyinin modelini lövhədə yerləşdirəndən sonra onun üzərində pultun sağ tərəfini 2 dəfə vurmaqla açılan

pəncərədə mənbənin müvafiq qiymətləri və ölçü vahidləri seçilir. Əgər elektrik dövrəsində bir neçə mənbə istifadə edilsə, onda onları müəyyən ad, nömrə və ya işarə ilə bir-birindən fərqləndirmək zəruri və mümkündür (Şəkil 3). Şaquli 2-sütunlu cərgənin ən yuxarıda yerləşən sol piktoqramı elektrik dövrlərində istifadə edilən torpaqlanmanı modelləşdirməyə kömək edən piktoqramdır. Onunla torpaqlanma işarəsini də, qara lövhədə elektrik sxemində yerləşdirmək olar (“Multisim” proqramında elektrik sxeminin torpaqlanma modeli olmadıqda ölçü cihazları göstərməyəcək).



Şəkil 3. Mənbənin və torpaqlanmanın lövhədə yerləşdirilməsi və mənbə qiymətlərinin seçilməsi

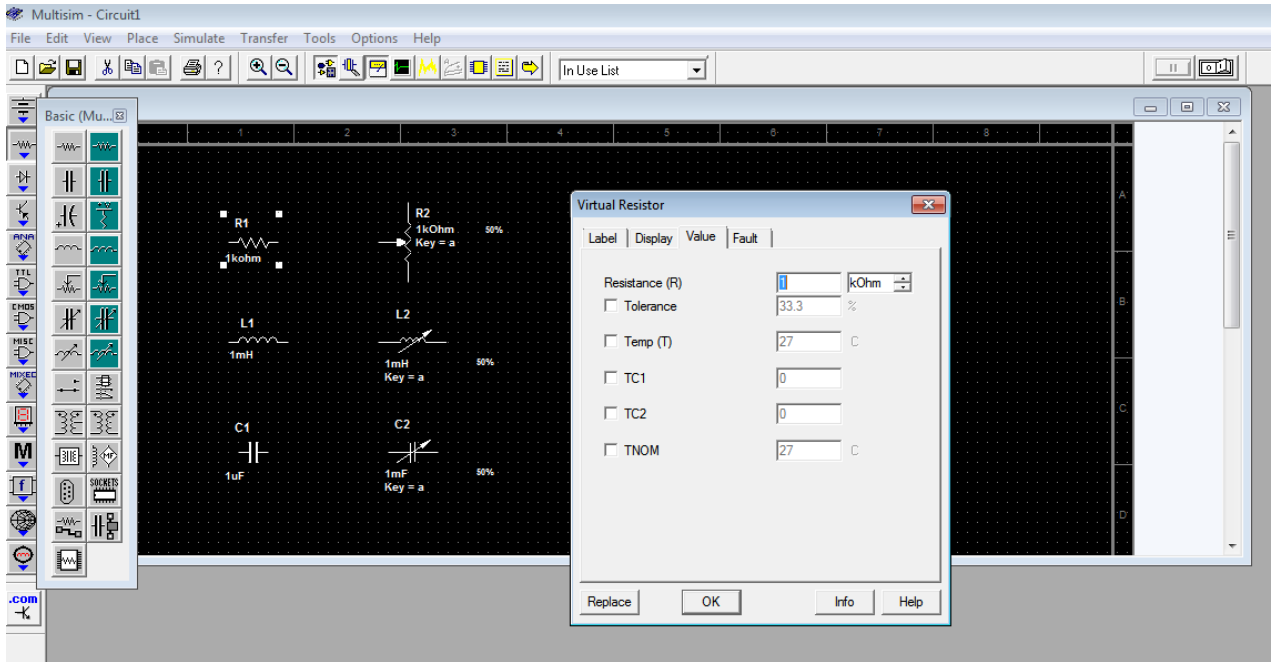
Elektrik dövrəsinin müqavimətlərinin modellərini lövhədə yerləşdirmək üçün Şəkil 1-də sol şaquli cərgənin yuxarıdan 2-ci piktoqramından istifadə etmək lazımdır. Bundan sonra şaquli cərgənin yanında yeni 2-sütunlu şaquli cərgə açılır (Şəkil 4).



Şəkil 4. Müqavimətin (R), induktivliyin (L) və tutumun (C) modellərinin lövhədə yerləşdirilməsi

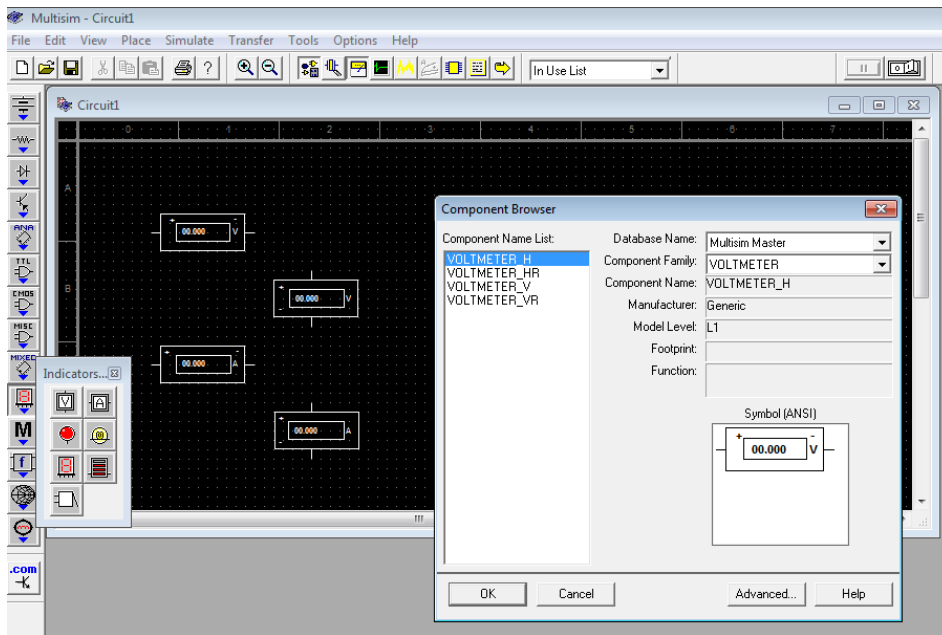
Yeni açılmış 2-sütunlu şaquli cərgələrin sağ tərəfində yerləşən tünd yaşıl fonlu piktoqramlardan istifadə edərək yuxarıdan 1-ci, 4-cü və 2-ci piktoqramlarla müvafiq olaraq sabit müqaviməti (R), induktivliyi (L) və tutumu (C), 5-ci, 7-ci və 6-cı piktoqramlarla isə, müvafiq olaraq dəyişən müqaviməti (R), induktivliyi (L) və tutumu (C) seçib, modellərini qara lövhədə yerləşdirmək

mümkündür (Şəkil 4). Bundan sonra lövhədə bu elementlərin hər hansının üzərində pultun sol tərəfini 2 dəfə vurmaqla açılan pəncərədə elementlərin qiymətini və ölçü vahidini seçmək olar (Şəkil 5).



Şəkil 5. Passiv elementlərin qiymətlərinin və ölçü vahidlərinin seçilməsi

Elektrik dövrəsinin parametrlərinin hesablanması üçün zəruri olan ölçmələrin həyata keçirilməsini təmin edən ölçü cihazlarının modellərini monitorun lövhəsində elektrik sxeminə daxil edilməsi üçün Şəkil 1-də lövhədən solda yerləşən birsütunlu cərgədə yuxarıdan 10-cu, qırmızı rəngdə rəqəm göstərən piktoqramdan istifadə etmək lazımdır (Şəkil 6).

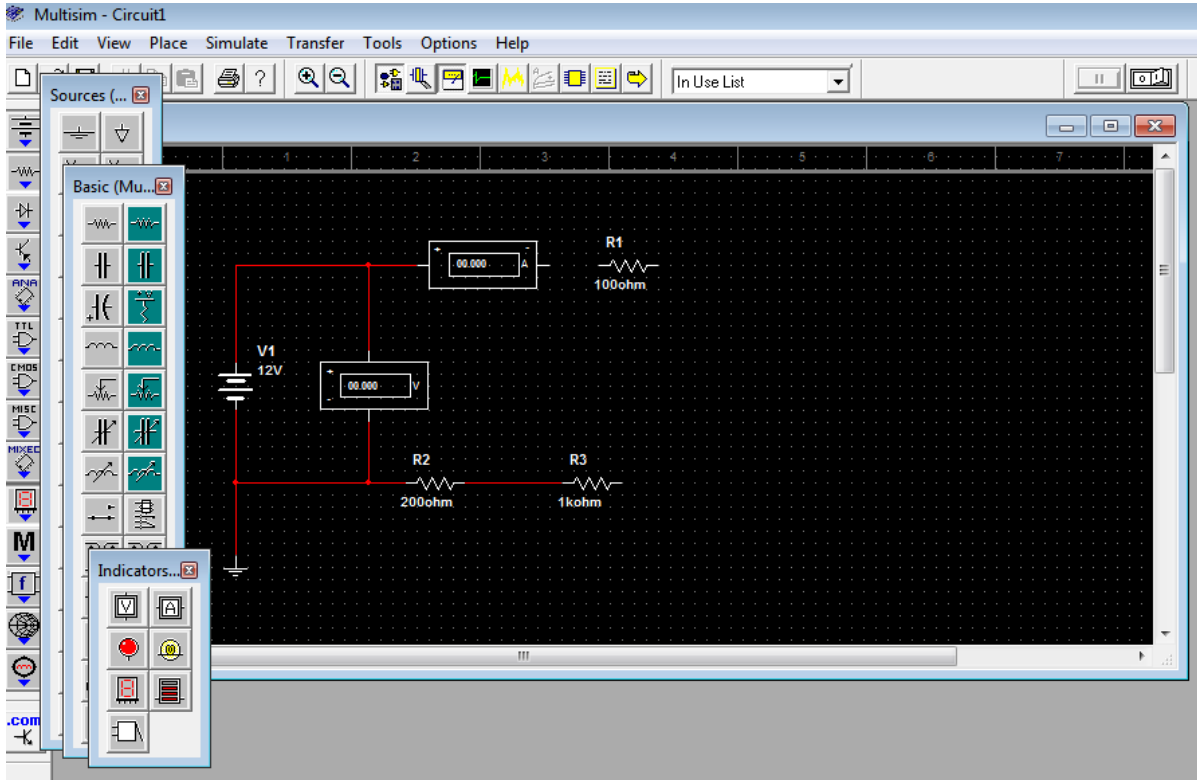


Şəkil 6. Ölçü cihazlarının modelinin və birləşmə naqillərinin istiqamətlərinin seçilməsi

Yeni açılmış 2-sütunlu şaquli cərgələrdən soldakı "V" işarəli piktoqramı seçməklə voltmetrin, sağdakı "A" işarəli piktoqramı seçməklə isə, ampermetrin modelini lövhədə yerləşdirmək olar. Lakin,

bu cihazların lövhədə yerləşməsindən əvvəl pəncərə açılır, hansından ki, elektrik sxeminin mürəkkəbləşdirilməməsi üçün ölçü cihazına birləşən naqillərin istiqamətləri seçilir. Bu pəncərənin sol tərəfində görünən cərgəsində cihazın tipinin yanında olan “H” hərifi naqillərin cihaza horizontal birləşməsi, “V” hərifi isə şaquli birləşməsi üçündür. Ölçü cihazına birləşən naqillərin istiqamətlərini sonradan sol - sağdan yuxarı - aşağıya və ya əksinə dəyişmək mümkündür. Seçimləri edəndən sonra ölçü cihazlarının tipini və ona birləşən naqillərin istiqamətlərini qəbul etmək olar.

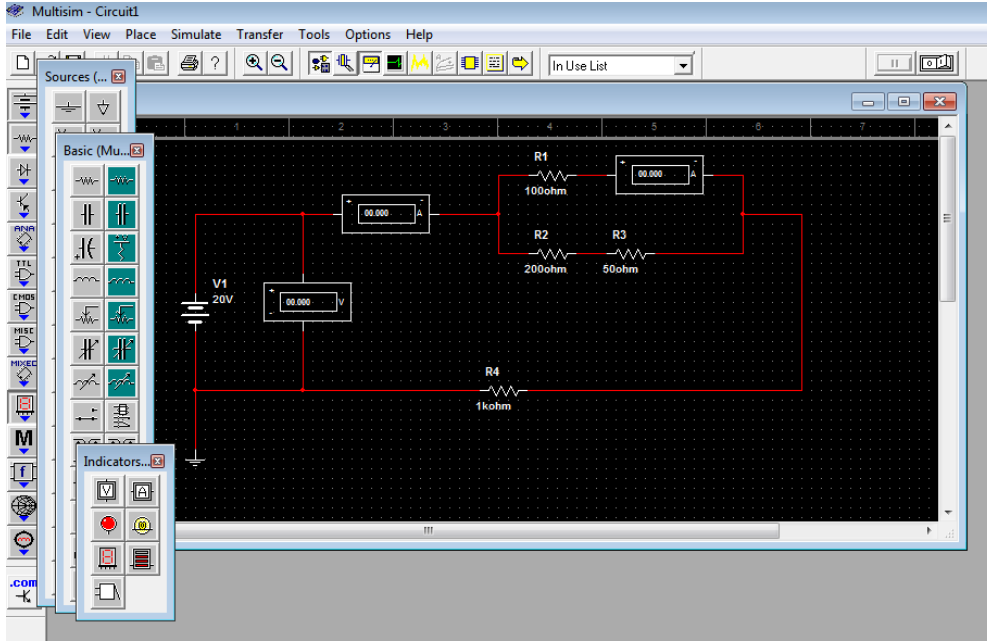
Monitorun qara lövhəsində elektrik dövrəsinin bütün tələb olunan aktiv və passiv elementlərinin, eləcə də, ölçü cihazlarının modellərini yerləşdirəndən sonra onları, elektrik sxeminin modelini yığmaq üçün, naqillər ilə birləşdirmək lazımdır. Bu məqsədlə monitora bir elementin və ya ölçü cihazının ucuna kursor yerləşdirilir və pultun sol tərəfi sıxılıb lövhədə əmələ gələn qırmızı rəngdə düz xətt digər lazım olan elementə birləşdirilənə qədər çəkilir (Şəkil 7).



Şəkil 7. Elektrik sxeminin elementlərinin və ölçü cihazlarının naqillər ilə birləşdirilməsi

Elektrik dövrəsinin elementlərinin və ölçü cihazlarının düz qırmızı xətlər ilə birləşdirilməsi monitora qapalı hal alandan sonra “Multisim” proqramında elektrik sxeminin qurulması başa çatır (Şəkil 8).

“Multisim” proqramında elektrik dövrəsinin modelləşdirən sxemin yığılması qurtardıqdan sonra mənbənin dövrəyə qoşulması modelləşdirilməlidir və mənbənin dövrəyə qapanmasını ölçü cihazları öz göstəriciləri ilə təsdiq etməlidirlər. Proqramda mənbəni sxemdə dövrəyə qoşan açarın modeli olmadığından “Multisim” proqramında bu funksiyaları monitorun yuxarı hissəsində yerləşən horizontal panelin sağ tərəfində çevirici piktoqramı yerinə yetirir (Şəkil 9).

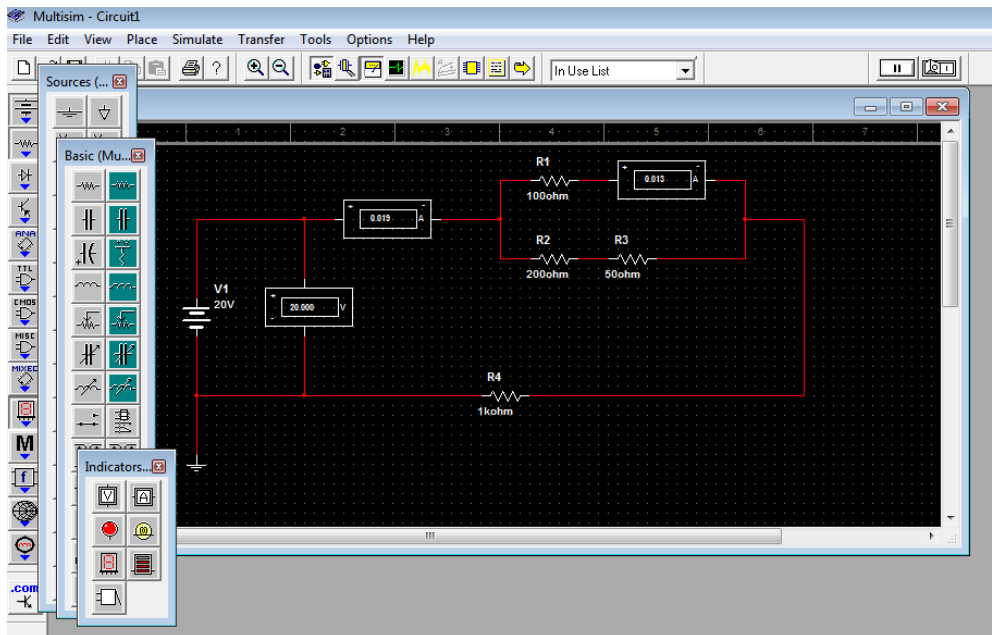


Şəkil 8. Elektrik sxeminin kompüterdə yığılmasının başa çatması



Şəkil 9. Mənbənin elektrik dövrəsinə qoşmasını modelləşdirən çevirici piktoqramı

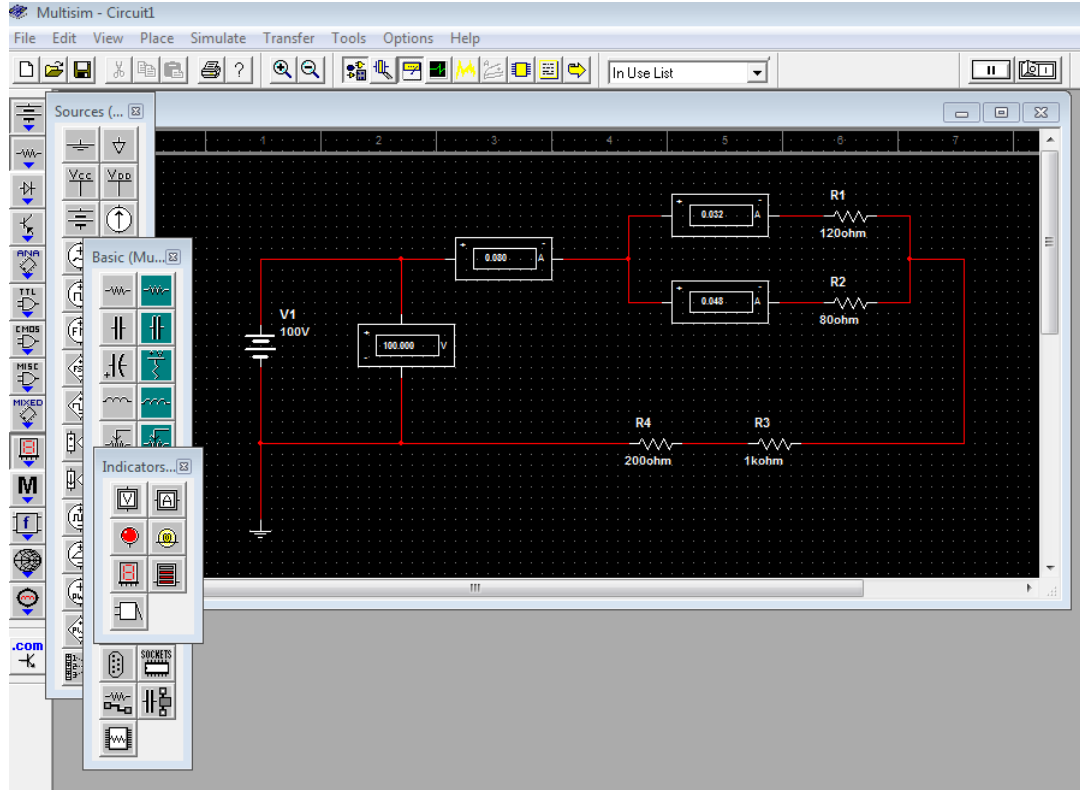
Bunun üçün çevirici piktoqramın bir vəziyyətdən digərinə keçirilməsi ilə elektrik sxemində görünməyən xüsusi açarın qapanması (bağlanması, yəni dövrənin mənbəyinin onun elementlərinə və cihazlarına qoşulması) modelləşdirilir. Bundan sonra elektrik sxemində olan ölçü cihazlarının modelərində dövrənin parametrləri rəqəmlə görünməyə başlayır (Şəkil 10).



Şəkil 10. Elektrik dövrəsinin mənbənin gərginliyinə qoşulmasının modelləşdirilməsi



“Multisim” programından istifadə edərək elektrik dövrəsinin hesabı. Misal kimi, elektrik sxemində 100 V-luq sabit gərginlik mənbəyinin  $R_1 = 120 \text{ Ohm}$ ,  $R_2 = 80 \text{ Ohm}$ ,  $R_3 = 1 \text{ kOhm}$  və  $R_4 = 200 \text{ Ohm}$  qiymətlərində 4 müqavimətə qarışıq (ardıcıl və paralel) birləşməsi göstərilmişdir (Şəkil 11). Belə ki, paralel qoşulmuş  $R_1$  və  $R_2$  müqavimətlərindən ibarət kontur  $R_3$  və  $R_4$  müqavimətləri ilə ardıcıl birləşmişdir. Mənbənin elektrik dövrəsinə qoşulmasının modelləşdirilməsi üçün çevirici piktoqramın vəziyyətinin dəyişdirilməsi ilə ölçü cihazları rəqəmlə dövrənin parametrlərini göstərməyə başlayır.



Şəkil 11. Qarışıq birləşmiş elektrik dövrəsinin sabit gərginlik mənbəyinə qoşulması

İlk növbədə, elektrik sxemində istifadə olunan üç ədəd ampermetrin arasında yerləşən düyüdə Kirxhofun 1-ci qanununu yoxlamaq olar [8, s. 33]. Düyünə sol tərəfdən daxil olan cərəyan 1-ci ampermetrin göstəricisinə görə 0,08 A olaraq, düyüdə sağ tərəfdə yerləşən  $R_1$  və  $R_2$  müqavimətlərindən keçən cərəyanların qiymətlərini əks etdirən ampermetrlərin göstəricilərinin (müvafiq olaraq 0,032 A və 0,048 A) cəminə bərabərdir. Digər tərəfdən, elektrik sxemində sol tərəfdə yerləşən ampermetrdən keçən bu cərəyanı aşağıdakı tənlikdən də hesablamaq olar:

$$I_A = \frac{E}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4}$$

Om qanununa əsaslanan hesabat nəticəsində alınan qiymət:

$$I_A = \frac{100}{\frac{120 \cdot 80}{120 + 80} + 1000 + 200} \approx 0,0801 \text{ A}$$

dövrənin sol tərəfində ampermetrin göstərdiyi 0,08 A qiymətinə təxminən bərabər olduğundan “Multisim” proqramının dəqiqliyi təsdiqlənir [6, 7].



**Nəticə.** “Multisim” kompüter tədris proqramında elektrik sxemlərinin yığılması, həmin elektrik dövrələrinin parametrlərinin ölçülməsi və hesabatlarının yerinə yetirilməsi ətraflı izah olunmuşdur. Bu proqramın Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elektrotexnika” kafedrasında tədris edilən fənlərdə elektrik dövrələrinin hesabatları üçün istifadəsi göstərilmişdir. “Multisim” proqramında və Om, Kirxhof qanunlarına əsaslanan tənliklərdən istifadə etməklə ənənəvi üsulla keçirilən hesabatlarda alınan qiymətlərin eyniliyi proqramın dəqiqliyini təsdiqləmişdir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Kazımzadə Z. İ. “Elektrotexnikanın nəzəri əsasları”. Bakı, “UniPrint”, 2010, 397 s.
2. Seyidov F. İ. “Elektrik dövrələri nəzəriyyəsinin əsasları”. Bakı, “Çaşıoğlu”, 2003, 388 s.
3. Quliyev H. M., Tağıyev S. M. “Elektrik dövrələri nəzəriyyəsinin əsasları”. Bakı, “Maarif”, 1997, 280 s.
4. Seyidov F. İ., Musayeva S. N. “Elektrotexnikanın nəzəri əsasları fənnindən laboratoriya işləri (dərs vəsaiti)”. Bakı, AzTU, 2007, 217 s.
5. “Elektron sxemlərin modelləşdirilməsi. “Multisim” proqramında sxemlərin simulyasiyası”. <https://gtavrl.ru/az/modelirovanie-raboty-elektronnyh-shem-modelirovanie-shem-v-programme-multisim/>.
6. Sadiqli B. M., Cəfərov D. Ş., Əliyeva P. A. “Multisim” kompüter tədris proqramının tətbiqi ilə “Elektrotexnika” kafedrasında laboratoriya işlərinin icrası”. Respublika elmi-texniki konfransı “Enerji səmərəliliyi və yaşıl enerji texnologiyaları”. Bakı, “AzTU nəşriyyatı”, 14-16 dekabr 2022, s.132-138
7. Musayeva S. N., Sadiqli B. M. “Elektrotexnika üzrə fənlərin laboratoriya dərslərində “Multisim” kompüter proqramının tətbiqinə dair Metodiki göstəriş”. Bakı, “AzTU nəşriyyatı”, 2024, s. 23
8. Бессонов Л. А. “Теоретические основы электротехники. Электрические цепи”. Москва, “Юрайт”, 2016, 701 стр.

#### “MULTİSİM” PROQRAMININ ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN YIĞILMASINDA VƏ PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİNDƏ TƏTBİQİ

B.M.Sadiqli

**Xülasə.** “Elektrotexnika” kafedrasında tədris edilən “Elektrotexnika”, “Elektrotexnikanın əsasları”, “Elektrotexnika və elektronikanın əsasları”, “Dövrələr nəzəriyyəsi”, “Elektrik dövrələr nəzəriyyəsi”, “Elektrik dövrələrinin əsasları” və “Elektrik dövrələrinin nəzəri əsasları” fənlərində məşğələ və laboratoriya dərslərinin əsas mövzusu olan elektrik dövrələrinin və onların təsviri sayılan elektrik sxemlərinin yığılması və hesablanması məqsədi ilə parametrlərinin ölçülməsi üçün “Multisim” kompüter tədris proqramının tətbiqi göstərilmişdir. “Multisim” kompüter proqramının köməkliyi ilə elektrik dövrələrinin hər bir aktiv, passiv elementlərini və ölçü cihazlarını seçib kompüterin monitorunda yerləşdirməklə elektrik sxemləri yığılır. “Multisim” proqramı müasir kompüter proqramı olaraq, kompüterin monitorunda elektrik sxemlərinin parametrlərinin ölçülməsini modelləşdirir. Bununla da, həmin elektrik sxemlərinin hesabatlarının həyata keçirilməsi asanlaşır və “Multisim” proqramının istifadəsi ilə tələbələrdə fənnə maraq xeyli artır.

**Açar sözlər:** elektrik dövrələri, “Multisim” proqramı, elektrik ölçmələri, hesabat.

Accepted: 30.10.2024

## FİBER-OPTİK RABİTƏNİN SERVER OTAĞINA AVTOMATLAŞDIRILMIŞ NƏZARƏTİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ

Heybətulla Mabud oğlu Əhmədov<sup>1</sup>, Elşən Kamil oğlu Manafov<sup>1,2</sup>,  
Fərid Hikmət oğlu Hüseynov<sup>2</sup>, Əli Sübhü oğlu Sadıxov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

<sup>2</sup>Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

### MODELING OF AUTOMATED CONTROL OF FIBER-OPTIC COMMUNICATION SERVER ROOM

Heybatulla Mabud Ahmadov<sup>1</sup>, Elshan Kamil Manafov<sup>1,2</sup>,  
Farid Hikmat Huseynov<sup>2</sup>, Ali Subhi Sadihov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [elshan\\_manafov@mail.ru](mailto:elshan_manafov@mail.ru)

<https://orcid.org/009-0001-2798-6477>

<https://orcid.org/0000-0001-5697-577X>

<sup>2</sup>National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan

<https://orcid.org/0000-0002-5325-0279>

<https://orcid.org/0009-0008-8088-7217>

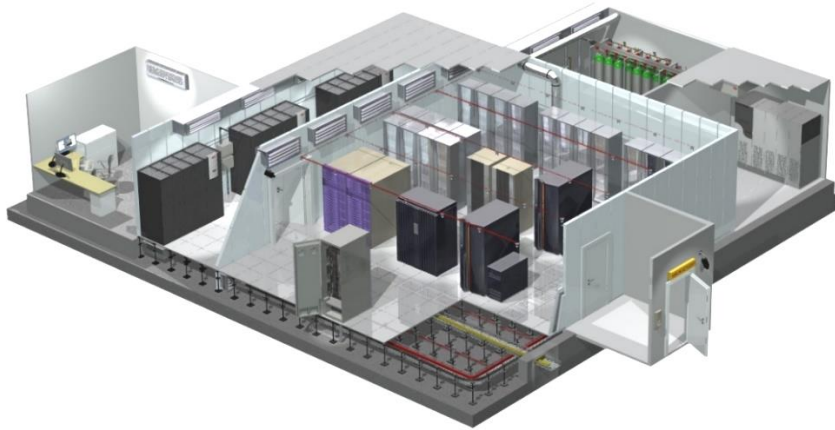
**Abstract.** The article is devoted to modeling the development of an automated monitoring system for server rooms of railways and subways in accordance with modern requirements. The premises must ensure safe, reliable and uninterrupted operation of all equipment and servers included in the information technology system, and also comply with international standards. Since equipment is more expensive and sensitive to temperature and humidity, server rooms must have reliable power supplies, devices and climate control systems. To ensure the security of the system, video surveillance devices, control of entrance doors, and to protect fire alarm devices, automated fire extinguishing systems, etc. should be used. To ensure efficient operation of these systems, microprocessor control must be used. An automated control system for server rooms, built on the basis of a programmable logic controller of the Siemens S7-1200 type, was modeled using the Tia Portal application software. Taking into account the characteristics of the equipment of the fiber-optic communication server room, the Tia Portal program simulates the operation of control systems for temperature, humidity, entrance doors and fire safety of the room. Thanks to the implementation of an automated control system based on PLC, the existing numerous server rooms of railways and subways can be controlled from one point.

**Keywords:** server room, programmable logic controller, automation, control system, modeling

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Məlumdur ki, server otağı server və telekommunikasiya avadanlıqlarının yerləşdirilməsi və fəaliyyəti üçün xüsusi yaradılmış texnoloji otaqdır (şəkil 1). Burada avadanlıqlar xüsusi şəraitə uyğun istismar olunur. Server otaqlarının yerləşdirilməsi üçün nəzərdə tutulmuş bina və ya stansiya məlumatların emalı mərkəzi (data center) sayılır. Server otaqlarındakı kompüterlər adətən KVM (Kernel-based Virtual Machine) keçidi və ya məsafədən idarəetmə proqramı vasitəsilə (Secure Shell, VNC və s.) uzaqdan idarə oluna bilən monitorsuz sistemlərdir. Müxtəlif sahələrdə istifadə olunan server otaqları özünəməxsus iş şəraitinə malik olmalıdır: qonşu otaqlara nisbətən server otağında izafi hava təzyiqi saxlanılmalıdır; server otağını qurarkən ehtiyat enerji təchizatı təmin edilməlidir; server otağında döşəmə səviyyəsi qonşu otaqlardan ən azı 10 sm yüksək olmalıdır; temperatur və rütubət vericiləri, su sızması vericiləri, hava axını və tüstü vericiləri daxil olmaqla müstəqil IP monitoring sistemlərindən istifadə etmək lazımdır və s. Server otaqlarının vacib xüsusiyyətlərindən biri də təhlükəsizlik məsələsidir. Təhlükəsizlik məsələlərinin önəmi strateji obyektlərdə (bank sektorunda, nəqliyyat sistemində, hərbi sahədə və s.) iqiqat yüksəlidir. Nəqliyyat sistemində aid olan hava limanlarının, dəmir yollarının, metropolitenin server otaqları təhlükəsizlik tələblərinə də cavab verməlidir. Belə müəssisələr təhlükəsizlik nəzərdən strateji obyektlər sayıldığından məlumatların qorunması üçün otağa kənar şəxslərin daxil olmasına yol verilməməlidir. Xoşagəlməz halların baş verməməsi üçün 24 saat izləyici müşahidə kameraları quraşdırılmalı, icazəsi olmayan kənar şəxslərin server otağına daxil olmaması üçün giriş parolu kimi barmaq izlərinin, göz bəbəyinin tanınması və s. tətbiq olunmalıdır.

**Məsələnin qoyuluşu.** Müasir şəraitdə mürəkkəb qurğuların yaradılması zamanı layihələndirmə prosesinə böyük diqqət yetirilir. Bu zaman yüksək dəqiqlik və hesablamaların etibarlılığı təmin olunmalıdır. Layihələndirmədə nəzəri yanaşma daha çox vaxt, eksperimental yanaşma isə material xərc aparır. Bununla əlaqədar yeni texniki sistemlərin işlənməsi zamanı modelləşdirmənin tətbiqi layihələndirmə prosesini əhəmiyyətli dərəcədə yüngülləşdirir. Modelləşdirmə zamanı real obyektə tədqiq etmək məqsədilə onun mücərrəd sürətindən ibarət olan analoqu qurulur. Modelləşdirmənin ən sadə yolu simulyasiyadır. Belə ki, simulyasiya zamanı proseslərin əyaniliyi və kompüter texnikasının gücündən istifadə təmin olunur. Simulyasiya modelləşdirməsində dəqiqlik işlənmiş modeldən və modelləşdirmə vasitələrindən asılıdır. Müasir kompüterlərdə simulyasiya modelləşdirməsinin tətbiqi nəzəri yaxud fiziki tədqiq vasitələrinin əlçatmazlığı zamanı müxtəlif texniki obyektlərin geniş və kifayət qədər dərin şəkildə öyrənilməsinə imkan yaradır.



Şəkil 1. Server otağının dizaynı

Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) yeni nəsil proqram təminatı SIMATIC, SINAMICS, SIMOTION, SENTRON və SIRIUS ailələrinin proqram və aparat məhsulları əsasında kompleks avtomatlaşdırma layihələrinin inteqrasiya olunmuş iş mühitini formalaşdırır. TIA Portal çərçivəsində bütün proqram məhsulları üçün vahid istifadəçi interfeysindən istifadə edilir. Layihələrin naviqasiya funksiyalarının, kitabxanaların vahid istifadə konsepsiyasının, məlumatların mərkəzləşdirilmiş idarə edilməsinin və onların tam razılaşdırılmalarının, lazımı redaktorların işə salınmasının, layihələrin yadda saxlanılmasının, diaqnostikanın və bir sıra digər funksiyaların dəstəklənməsi təmin edilir [5 ,6-8].

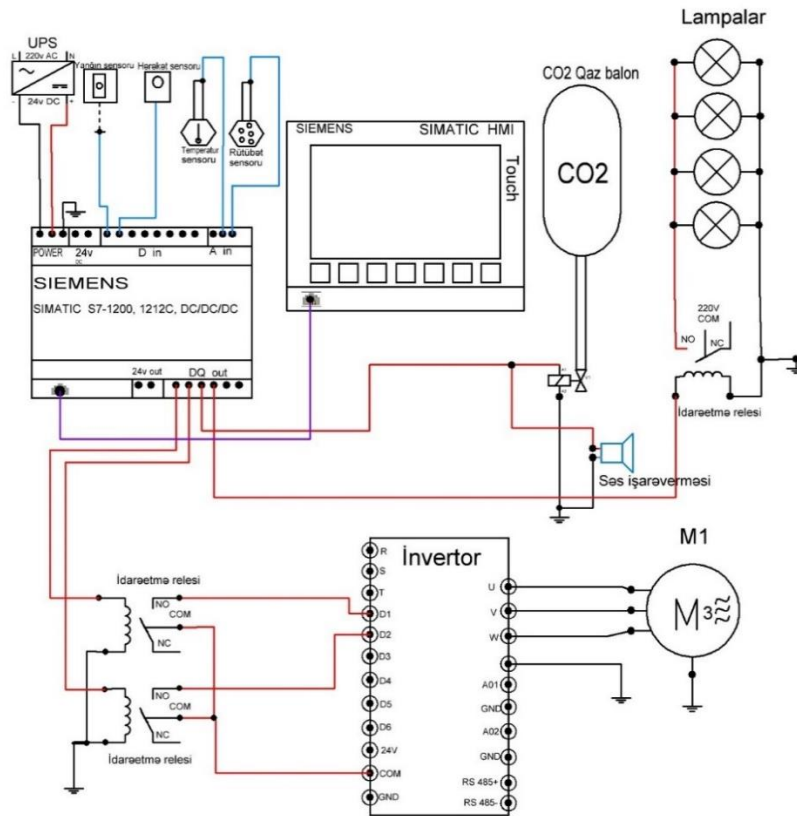
Bu proqram təminatı istənilən avtomatlaşdırma layihələrinin işlənməsində yüksək səviyyədə səmərəlilik əldə etməyə imkan verir. Kontrollerlər, intiqallar, qurğular və insan-maşın interfeysi sistemləri arasında qarşılıqlı əlaqənin təşkili və konfigurasiyası xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Kontrollerlərin bütün sazlanma parametrləri, proqram blokları, teqlər və məlumatlar yalnız bir dəfə daxil edilə bilər ki, bu da kompleks avtomatlaşdırma layihələrinin hazırlanmasını sürətləndirir və xərclərini azaldır.

TIA portal mühitinə inteqrasiya olunmuş proqram təminatının tərkibi ixtiyari seçilir və həll olunan məsələlər çevrəsinə uyğunlaşdırıla bilər. Proqram təminatı versiyaları istifadə edilən TIA Portal versiyasına uyğun olmalıdır. Server otağının monitorinqi üçün SIMATIC STEP 7 Professional/Basic istifadə edilmişdir. Bu proqram təminatı SIMATIC S7-1200/S7-1500/S7-300/S7-400/WinAC proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlər (PLC) əsasında qurulmuş, həmçinin SIMATIC ET 200 stansiyalarının avadanlığı əsəsindəki periferik kontrollerlərin avtomatlaşdırma sistemlərinin konfigurasiyası, proqramlaşdırılması, işə salma-sazlama işlərinin aparılması, diaqnostikası və texniki xidməti üçündür. Bu səbəbdən dəmir yollarının, metropolitenin server otaqlarının müasir tələblər əsəsində, təhlükəsizlik məsələlərinə riayət etməklə qurulması üçün modelləşdirmədən istifadə etmək çox vacibdir [9, 10-12].

**Məsələnin həlli.** Server otaqları informasiya texnologiyaları sisteminə aid olan bütün avadanlıqların və serverlərin təhlükəsiz, etibarlı və fasiləsiz fəaliyyətini təmin etməlidir. Bu otaqların dünya standartlarına cavab verməsi vacibdir. Server otaqlarının hazırlanması prosesində EIA/TIA-569-B standartından istifadə edilir. Bu standartda əsasən server otağında optimal işçi mühitin yaradılması üçün aşağıdakı göstəricilər nəzərə alınmalıdır:

- Otaqdakı havanın temperaturu ( $18 - 24^{\circ}S$ );
- Havanın nisbi rütubətliyi ( $3\% - 5\%$ );
- Tozun miqdarı ( $0,1 - 0,6 q/m^3$ );
- Elektromaqnit dalğalarının təsiri ( $>3 V/m$ );
- İşıqlandırma səviyyəsi ( $540 lk$ );
- Atmosfer təzyiqi ( $147 Pa$ )

Server otağındakı avadanlıqların fasiləsiz fəaliyyətini və təhlükəsizliyini təmin etmək üçün bir neçə əlavə qurğudan istifadə edilməlidir. Fasiləsiz fəaliyyəti təmin etmək üçün server otaqları biri müstəqil olmaqla (UPS stansiyası, dizel-generator qurğusu) iki ehtiyat enerji təchizatı sistemə malik olmalıdır. Server avadanlıqları bahalı, temperatura və rütubətə həssasdırlar. Bu səbəbdən ideal iqlim şəraiti yaratmaq üçün kondisioner, mikro-iqlimə nəzarət cihazları və havalandırma sistemləri lazımdır. Təhlükəsizliyi təmin etmək üçün videomüşahidə, giriş-çıxışa nəzarət qurğuları və s., mühafizə məsələləri üçün isə yanğıın zamanı xəbərdarlıq qurğuları, avtomatlaşdırılmış yanğıın söndürmə sistemləri, işarəvermə və s. sistemlər tətbiq edilməlidir.



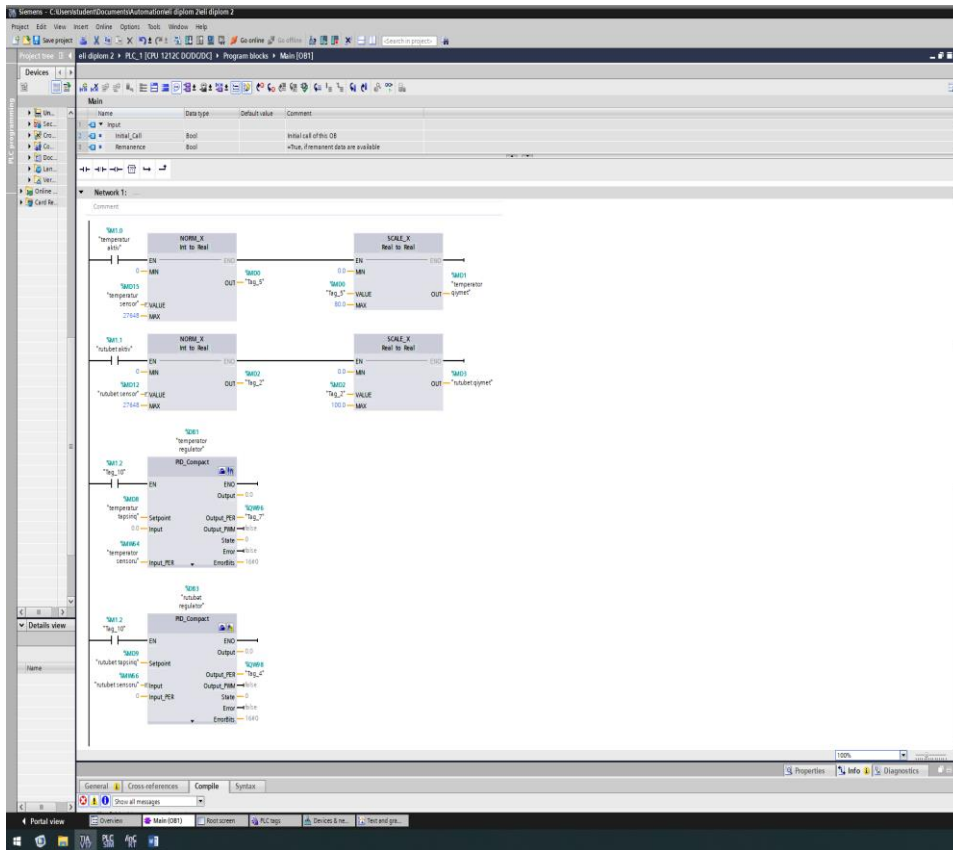
Şəkil 2. Avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin prinsipial sxemi

Modelləşdirmədə dəmir yollarının, metropolitenin server otaqlarının avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin qurulması üçün aşağıdakı elementlərdən istifadə olunur (şəkil 2): sistemi fasiləsiz olaraq qidalandıran qida bloku (UPS), yanğıın sensoru (fire sensor), giriş-çıxışa nəzarət sensoru (RFID), otağın temperaturuna nəzarət etmək üçün termocüt əsaslı temperatur sensoru (temperature sensor), otağın rütubətinə nəzarət etmək üçün rütubət sensoru (humidity sensor), daxil edilmiş proqram əsasında giriş siqnallarına uyğun çıxış siqnalları hasil edən Siemens PLC S7-1200 məntiqi kontrolleri,

sensorların dəyərlərini görməyə və tənzimləyicilərə tapşırıq signalı verməyə imkan verən Siemens HMI, 1 fazlı dəyişən gərginliyi 3 fazlı dəyişən gərginliyə çevirən inverter, havalandırma sisteminin asinxron mühərriki (M), PLC çıxışını inverterla əlaqələndirmək üçün aralıq rele (auxiliary relay), yanğın zamanı karbon qazını təzyiqlə otağa vuraraq yanğının qarşısını alan CO<sub>2</sub> qaz çəni (CO<sub>2</sub> gas tank), CO<sub>2</sub> çənini idarə edən elektromexaniki klapan (electromechanically valve), qəza zamanı ucadandanışan işarəvermə vasitəsi (Buzzer), işıqlanma sistemi (lamps).

### TIA Portal proqram paketində avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin simulyasiyası.

Siemens şirkətinin hazırladığı TIA Portal proqram paketi məlumatların idarə edilməsi və ağıllı kitabxana sistemi sayəsində bütün avtomatlaşdırma tapşırıqlarını səmərəli şəkildə yerinə yetirə bilər. Fiber-optik rabitənin server otağının avadanlıqlarının xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq otağın temperaturuna, rütubətinə, giriş-çıxışa və yanğına nəzarət sistemi TIA Portal proqramı vasitəsilə modelləşdirilərək məlumatlar HMI panelində əks olunur. Modelləşdirmənin uyğun nəticələri aşağıdakı şəkillərdə verilmişdir (şəkil 3-10).

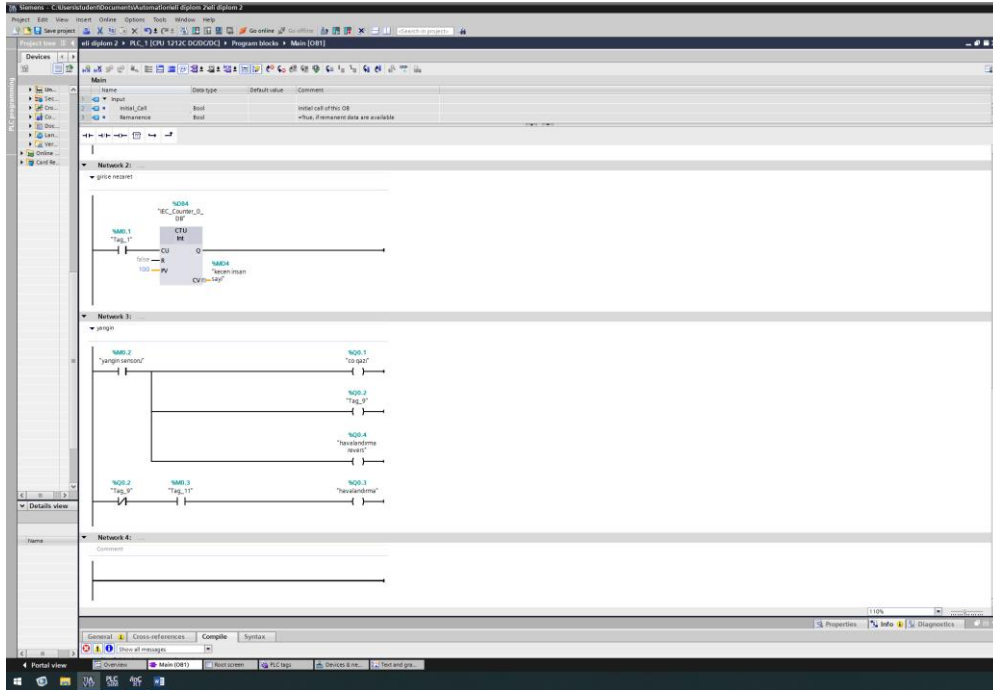


Şəkil 3. Rütubət və temperatur sensorlarından ötürülən analog siqnalların rəqəm siqnallarına çevrilmə prosesinin TIA Portal proqramında reallaşdırılması

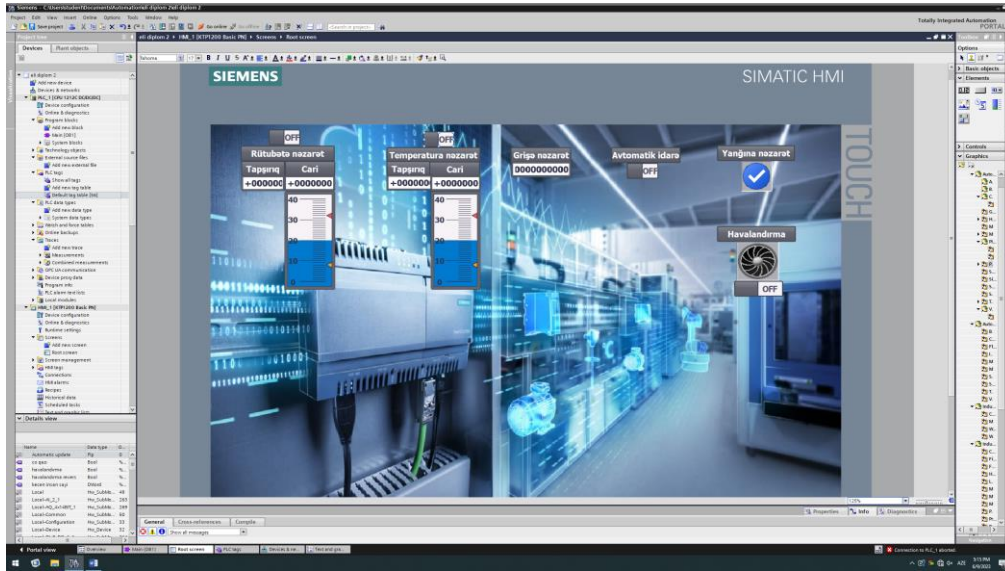
Burada MW64 və MW66 analog giriş dəyərləridir və bu dəyərlər NORM\_X bloku vasitəsi ilə saniyədə 27648 dəfə kvantlanaraq MD0 yaddaş sahəsinə (merkerinə) müvafiq datanı yazır. SCALE\_X bloku MD0 merkerindəki datanı oxuyaraq ona verilən MIN (minimum), MAX (maksimum) dəyərlər intervalında qiymət hesablayır və MD1 merkerinə qeyd edir. MD1 merkerinin dəyəri proqramda temperatur qiyməti olaraq göstərilmiş və HMI panelində cari qiymət sahəsi ilə əlaqələndirilmişdir. Eyni cari qiymət paralel olaraq PID tənzimləmə blokunun INPUT girişinə verilir. PID blokunun tapşırıq (setpoint) girişi HMI-da tapşırıq sahəsi ilə əlaqələndirilmişdir. Bu blok, giriş signalını setpoint signalına bərabərləşdirmək üçün iki girişi differensial olaraq müqayisə edir və müqayisənin qiymətinə uyğun çıxış signalının qiymətini dəyişərək otağın temperaturunu tapşırıq qiymətində saxlayır.



Burada M0.1 girişi nəzarət sensoru ilə əlaqələndirilmişdir. Hər bir daxil olan diskret siqnallar sayılaraq MD4 merkerinə yazır və uyğun qiyməti HMI panelində insanların sayını görmək üçün yaratdığımız sahə ilə əlaqələndiririk və proqrama daxil olmadan insanların sayı paneldə əks etdirilə bilər.



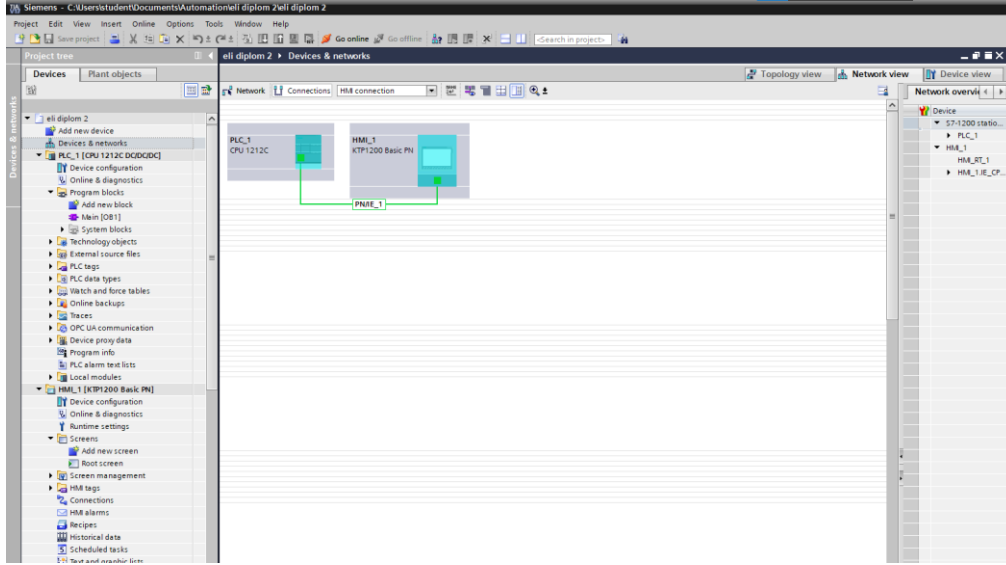
Şəkil 4. Giriş-çıxış və yanğına nəzarət sensorlarından ötürülən rəqəm siqnallarının emalı prosesinin TIA Portal proqramında reallaşdırılması



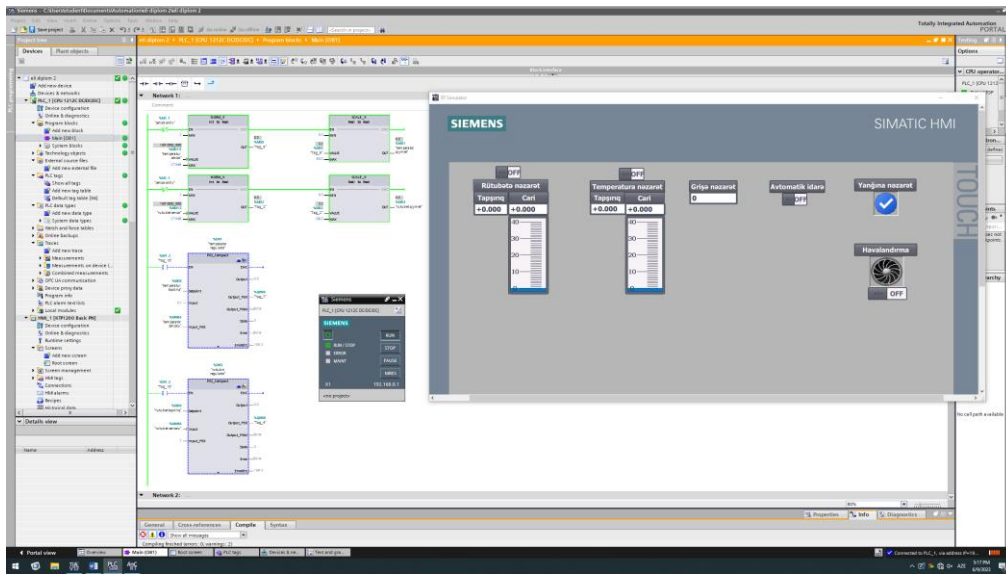
Şəkil 5. HMI panelinin TIA Portal proqram paketində yaradılması

M0.2 ilə işə yanğın sensoru əlaqələndirilmişdir. Əgər yanğın sensorundan siqnal gələrsə bu zaman Q0.1, Q0.2, Q0.4 çıxışları aktiv olur. Uyğun olaraq Q0.1 yanğını söndürmək məqsədi ilə CO<sub>2</sub> qazını otağa daxil edir. Bununla eyni zamanda digər çıxışlar havalandırma sisteminin normal iş rejimini dayandırır və revers iş rejimini aktiv edərək otağı bir növ oksigeniz saxlayaraq yanğının qısa müddətdə söndürülməsinə şərait yaradır.

Yuxarıdakı şəkildə HMI panelinin dizaynı öz əksini tapmışdır. Panel üzərində temperatura, rütubətə, giriş-çığışa, yanğına, havalandırmaya nəzarət sistemlərinin göstəriciləri öz əksini tapmışdır.



Şəkil 6. “Siemens S7-1200” PLC ilə “KTP-400 basic” tipli HMI panelinin kommunikasiyasının qurulması

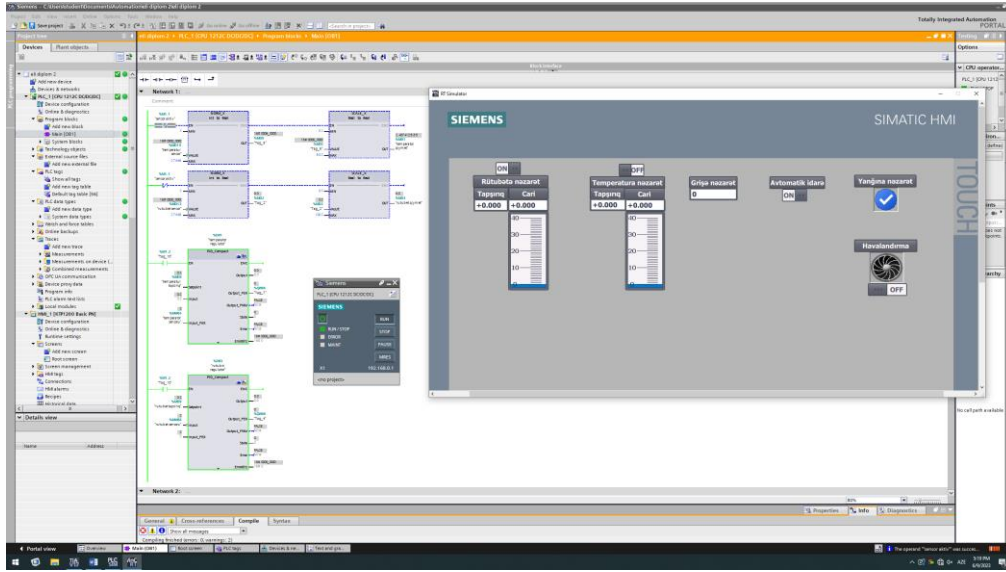


Şəkil 7. Rütubət və temperatura nəzarətin simulyasiyası

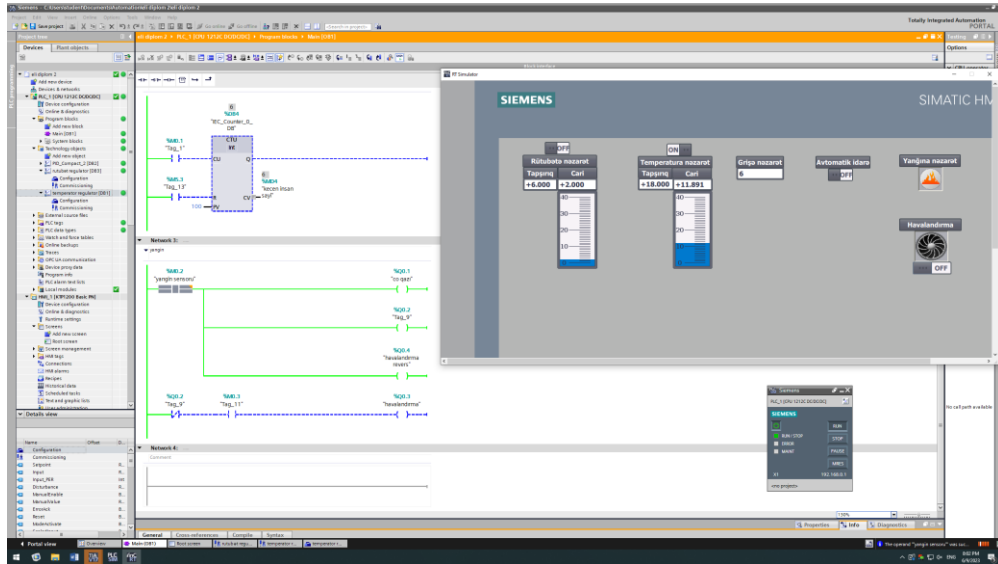
Şəkil 6-da HMI panelinin PLC ilə PROFINET protokolu əsasında kommunikasiyasının qurulması həyata keçirilmişdir. Burada müxtəlif kommunikasiya protokolları isrtifadə oluna bilər. Siemens şirkəti PROFINET ilə avtomatlaşdırma üçün Ethernet standartından istifadə edir. PROFINET bütün platformalarda sürətli və təhlükəsiz məlumat mübadiləsinə, həmçinin istehsal və emal sənayeləri üçün innovativ konsepsiyaların reallaşdırılması imkanları yaradır.

Şəkil 7-də temperatur və rütubət sensorlarından gələn analog siqnallar MD15, MD12 girişlərinə daxil oldqdan sonra uyğun olaraq SCALE\_X və NORM\_X bloklarının köməyilə rəqəm siqnallarına çevrilir. Nəticəni MD1, MD3 registrlərinə yazılır HMI panelindəki uyğun bölmələr isə bu registrlərin dəyərlərini oxuyaraq ekranda göstərir.

Şəkil 8-də PID\_Compact bloklarının MW64, MW66 girişinə temperatur və rütubət sensorlarından daxil olan analog siqnallar tapşırıq girişlərindən daxil olan siqnallarla differensial müqayisə olunur. Beləliklə, nəticənin işarəsindən və qiymətindən asılı olaraq müəyyən çıxış idarəedici siqnalı generasiya olunur. Alınmış siqnal hesabına havalandırma sistemi idarə olunur.



Şəkil 8. PID tənzimləyicisinin işinin simulyasiyası



Şəkil 9. Giriş-çıxışa və yanğına nəzarət sisteminin işinin simulyasiyası

Şəkil 9-da server otağına mühəndis-texnik heyətlərinin giri-çıxışına nəzarəti təmin etmək üçün RFID sensorundan gələn məlumatlar əsasında qurulmuş avtomatlaşdırılmış sistemin simulyasiyası verilmişdir. Həmçinin, yanğına nəzarət sisteminin simulyasiyası verilmişdir. Yanğın sensorundan signal gəldiyi zaman yanğına nəzarət sistemi işə düşür və signalizasiya sistemini qoşur. Həmçinin, yanğının baş verməsi HMI panelində əks olunur. Daha sonra havalandırma sistemi öz normal iş rejimini dayandıraraq revers formada işləməyə başlayır və otaqda olan hava bayıra ötürülür, eyni zamanda, otağı CO<sub>2</sub> qazı ilə təmin edən sistem aktiv olunaraq yanğıni söndürür [13].

**Nəticə.** Beləliklə, dəmir yollarının və metropolitenin server otaqlarının müasir tələblərə və təhlükəsizlik məsələlərinə riayət etməklə qurulması üçün PLC əsaslı avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin tətbiqi təklif edilmişdir. Siemens PLC S7-1200 kontrolleri ilə idarə olunan nəzarət sisteminin prinsipial sxemi verilmiş və TIA Portal tətbiqi proqramında modelləşdirilmişdir. Rütubət və temperatura nəzarətin, PİD tənzimləyicisinin işinin, giriş-çıxışa və yanğına nəzarət sisteminin, yanğının qarşısının alınması sisteminin simulyasiyası həyata keçirilmişdir. PLC əsaslı avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemini tətbiq etməklə dəmir yollarının və metropolitenin mövcud çoxsaylı server otaqlarının işinə bir məntəqdən nəzarət etmək olar. Mərkəzləşdirilmiş sistemin qurulması nəzarət və mühafizə



sistemlərinin etibarlı işini, bu işə bütövlükdə şəbəkə istifadəçilərinin dayanıqlığını və rahatlığını təmin edir.

### ƏDƏBİYYAT

1. Rahim R. Humidity and Temperature Prototype for Education with Internet of Things. International Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 119, no. 16, pp. 2487-2491, 2018.
2. Pallavi S. Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. Journal of Electrical and Computer Engineering, pp. 1-26, 2017.
3. Narkhede P. Physical Conditions Monitoring in Server Rooms Internet of Things. International Journal of Electrical and Electronics Research, pp. 237-239, 2015.
4. Nicola M., Nicola C.I., Sacerdoțianu D., Duță M. 2017. SCADA systems architecture based on OPC Servers and applications for industrial process control, Proc., 23rd Edition International Conference on Hydraulics and Pneumatics (HERVEX), Băile Govora, Romania, 222-232.
5. Qing L. and Yongsheng Q. 2015. Development of OPC server in a remote industrial control system, Proc., 12th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), Qingdao, China, 552-557.
6. Guo H. and Zhi D. 2011. Design of several OPC servers communication system. Proc., International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, China, 317-319.
7. Kon J. and Yamashita Y. 2010. Model predictive control based on ARX models. Proc., Control Automation and Systems (ICCAS), Gyeonggi-do, South Korea, 448-452.
8. Bajodah A.H. and Mibar H. 2016. Partial eigenstructure assignment on LQR control for continuous LTI systems. Proc., 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), Hammamet, Tunisia, 1-6.
9. Zhang De-fu, Haung Ming-Jian, Xu Cui-cui and Tang Zhe. The principles PLC and applications in n-juan, "construction material industry", Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009), Qingdao, China, November 21-22, 2009.
10. Aretz K., Haardt M., Konhauser W. and Mohr W. The future wireless communications beyond the third generation. Comput. Netw. 37, 83-92, 2001.
11. Govind P Agrawal. 2002. Fiber Optic Communication Systems. Third edition, Willy interscience.
12. Communication Technologies, Inc. "Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems", October 2004. [http://www.ncs.gov/library/tech\\_bulletins/2004/tib\\_04-1](http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2004/tib_04-1)
13. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>

## FİBER-OPTİK RABİTƏNİN SERVER OTAĞINA AVTOMATLAŞDIRILMIŞ NƏZARƏTİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ

H.M.Əhmədov, E.K.Manafov, F.H.Hüseynov, Ə.S.Sadixov

**Xülasə.** Məqalə dəmir yollarının, metropolitenin server otaqlarına avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin müasir tələblərə uyğun qurulmasının modelləşdirilməsinə həsr olunmuşdur. Otaqlar informasiya texnologiyaları sisteminə aid olan bütün avadanlıqların və serverlərin təhlükəsiz, etibarlı və fasiləsiz fəaliyyətini təmin etməli, həmçinin dünya standartlarına cavab verməlidir. Avadanlıqlar bahalı, temperatura və rütubətə həssas olduğundan server otaqları etibarlı enerji təchizatına, mikro-iqlimə nəzarət cihazlarına və sistemlərinə malik olmalıdır. Təhlükəsizliyi təmin etmək üçün videomüşahidə, giriş qapısına nəzarət qurğuları, mühafizə məsələləri üçün işə yanğın zamanı xəbərdarlıq qurğuları, avtomatlaşdırılmış yanğın söndürmə sistemləri, işarəvermə və s. sistemlər tətbiq edilməlidir. Bu sistemlərin səmərəli işini təmin etmək üçün mikroprosessor əsaslı idarəetmənin tətbiqinə ehtiyac yaranır. Siemens S7-1200 tipli proqramlaşdırılan məntiqi kontrolleri əsasında qurulmuş server otaqlarına avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemi "TiaPortal" tətbiqi proqramı ilə modelləşdirilmişdir. Fiber-optik rabitənin server otağının avadanlıqlarının xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq otağın temperaturuna, rütubətinə, giriş qapısına və yanğına nəzarət sistemlərinin işi TIA Portal proqramında simulyasiya edilmişdir. PLC əsaslı avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin tətbiqlə dəmir yollarının və metropolitenin mövcud çoxsaylı server otaqlarının işinə bir məntəqədən nəzarət etmək olar.

**Açar sözlər:** server otağı, proqramlaşdırılan məntiqi kontroller, avtomatlaşdırma, nəzarət sistemi, modelləşdirmə.

Accepted: 06.11.2024

## ÇUQUNUN SAFLAŞDIRILMA PROSESİNİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI

Ramiz Kamandar oğlu Həsənli

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

## INCREASING PROCESS EFFICIENCY CAST IRON REFINING

Ramiz Kamandar Hasanli

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: ramiz.hesenli@aztu.edu.az

<https://orcid.org/0009-0008-8384-9996>

**Abstract.** The efficiency of the process of out-of-furnace refining of liquid cast iron by blowing powder impurities has been studied. Studies have shown that the most effective purifier for cast iron desulfurization is a mixture of 59%  $\text{CaC}_2$ , 26%  $\text{CaCO}_3$  and 15% C. It has been found that when a finely ground slurry of lime is blown into the liquid metal to provide a large interfacial area, the fluidity of the slurry deteriorates. It was determined that the temperature drop of cast iron during processing with lime mixtures increased almost twice compared to the application of carbide mixtures. However, this deficiency was eliminated by adding a surfactant to the lime scrub. Studies have shown that the unfavorable shape of the mixer-chamber does not appreciably affect the mixing results in stable zones. Blowing carbide and lime mixtures into the mixer-cauldron increases the mixing effect by 2-3 times compared to the ordinary cauldron.

**Keywords:** cast iron, injection metallurgy, powder, refining, efficiency.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Metal və ərintilərə, xüsusilə də çuqunlara tələbatın günü-gündən artması injeksiyon metallurjiyanın imkanlarından istifadəni ön plana çəkir. Bu kontekstdə ovuntu qatışıqları üfurməklə maye çuqunun sobadankənar saflaşdırılmasının həyata keçirilməsi çox səmərəli hesab oluna bilər.

Aldığımız nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi üçün ən səmərəlisi 59%  $\text{CaC}_2$ , 26%  $\text{CaCO}_3$  və 15% C-dan ibarət olan qarışıqdır. Belə olan halda aydındır ki, 60%( $\text{CaO}+X$ ) +25% $\text{CaCO}_3$ +15%C tərkibli qarışıq da çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi üçün yaxşı nəticələr verə bilər. Burada X əlavədir,  $\text{CaCO}_3$  və C isə CO-nun ayrılmasına səbəb olur ki, nəticədə də çuqunun qarışdırılmasına kömək edir. Bu, öz növbəsində metalın güzgüsü üzərində reduksiyaedici atmosfer yaradır.

Əhəngin səthində maye fazanın yaranması hesabına kükürdsüzləşmə reaksiyasının sürətləndirilməsi üçün yararlı X əlavəsinin seçilməsi üçün laboratoriya təcrübələri aparılmışdır.  $1350 \pm 20^\circ\text{C}$  temperaturda qrafit putada olan 5 kq maye çuquna əhəng və X əlavəsinin ovuntu qarışığı daxil edilmişdir. 1kq çuquna 3q  $\text{CaO}$  əlavə etdikdə sürət tənliyinin [1] istifadəsi ilə eksperimental məlumatların emalı, kükürdsüzləşmə sürəti sabitinin (K) aşağıdakı qiymətlərini vermişdir,  $10^{-4}$  %/dəq:

$$0,3(\text{CaO}); 2,5(95\% \text{CaO} \text{ və } 5\% \text{CaF}_2);$$

$$2,0(95\% \text{CaO} \text{ və } 5\% \text{Na}_3\text{AlF}_6); 1,2(90\% \text{CaO} \text{ və } 10\% \text{Na}_2\text{CO}_3).$$

Beləliklə, ilkin başlanğıc təcrübələr üçün 55CaO-5CaF<sub>2</sub>-25CaCO<sub>3</sub>-15C tərkibindən ibarət olan qarışıq seçilmişdir.

Fərz etdik ki, əhəng ovuntusunun pis axıcılığında ATH qurğusunda qarışığın üfürülməsi üçün istifadə olunan qaz/ovuntu nisbətini ( $l/kq$ ) aşağı həddindən üfurmə zamanı sistemin tutulması baş verə bilər. Əgər böyük fazalararası səth təmin etmək üçün prosesdə əhəngin incə döyülmüş ovuntusunu üfürsək, onda ovuntunun axıcılığı pisləşər. Lakin bu çatışmazlığı əhəng ovuntusuna hər hansı bir səthi aktiv maddə əlavə etməklə aradan qaldırmaq olar. Bu, ölçüsü 20 mm olan əhəng ovuntusunun təbii düşmə bucağını 46-dan 35°-yə endirir, ovuntunu psevdaxıcı və üfurmə üçün əlverişli edir.

**Ekspərimentlərin metodikası.** “Velko” metodu [2] ilə müqayisədə bu işdə üfurmə şəraiti təbii qazın əvəzinə, azotun daşıyıcı qaz kimi tətbiqlə və qaz/ovuntu nisbətini xeyli kiçik qiyməti ilə səciyyələyir (cədvəl 1).

Kükürdsüzləşmə məqsədilə ovuntu materialların üfürülməsi üzrə nəticələrin müqayisəsi

Üfürmə şəraitləri	Eksperimentlərin nəticələri	“Xyoş” zavodunun məlumatları
Kükürdsüzləşdirici	CaO, CaCO <sub>3</sub> , CaF <sub>2</sub> , C və səthi aktiv maddə	CaO
Çalovda çuqunun kütləsi, t	5-10	15
Daşıyıcı qazın sərfi, l/(t.dəq)	5 (azot)	28 (təbii qaz)
Üfürmənin intensivliyi, kq/(t.dəq)	0,5	0,5
Qaz/ovuntu nisbəti, l/kq	10	56
Furmanın maillik bucağı	60-70	90

Metal vannasının qarışdırılması CaCO<sub>3</sub>-ün parçalanması nəticəsində, başlıca olaraq CO qazı ilə həyata keçirilir. Əhəng qarışığında olan qrafit ovuntusu ilə reduksiyaedici mühit saxlanılır. Üfürmənin optimal şəraitlərini təmin etmək məqsədi ilə əhəng ovuntusunun dənələrinin müxtəlif ölçülərilə və qarışığa CaF<sub>2</sub>, C və CaCO<sub>3</sub> verməklə tərəfimizdən çoxsaylı eksperimentlər aparılmışdır.

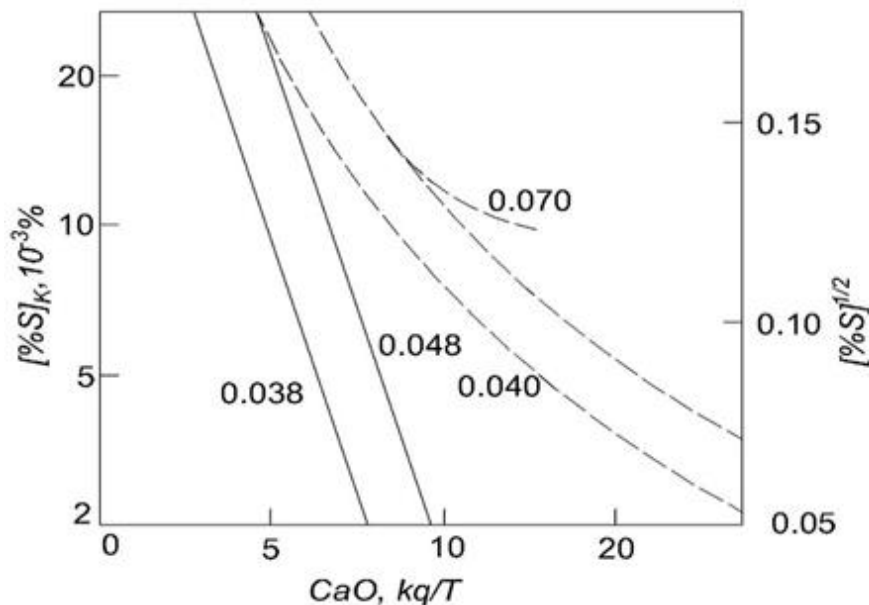
Eksperimentlər zamanı vaxtdan asılı olaraq [S] dəyişməsi, üfürmə nəticəsində temperaturun azalması, posa ilə metalın itirilməsi, habelə, çuqunun çalova nəql edilməsində baş verən rekükürdləşmə təyin edilmişdir.

Qarışdırma əməliyyatı 1:8,4 miqyasında sulu modeldə, həm də sənaye şəraitində yerinə yetirilmişdir. Çalovda qazla qarışdırma üzrə təcrübələr sulu modeldə aparılmışdır.

Modeldəki eksperimentlərdə  $t_{\text{qar}}$  təyini KCl-un indikator kimi tətbiqi ilə, elektrik keçiriciliyinin ölçülməsi ilə həyata keçirdik. Sənaye ərintilərində indikator kimi 1,6÷4,0 kq misin əlavə olunması üçün lazım olan vaxt 15-20 san olmuşdur.

Oturmadan sonra birinci 5 dəqiqə ərzində nümunələrin götürülmə intervalı 20 saniyə təşkil etmişdir. Beləliklə, maye çuqun vannasında indikatorun (burulmuş mis məftil) həllolma vaxtı 2 saniyədən az, ölçmə xətası isə  $\pm 10$  saniyə təşkil etmişdir.

**Kükürdsüzləşmə.** Əhəngin sərfindən asılı olaraq, kükürdün konsentrasiyasının kükürdsüzləşmə aparıldıqdan sonra azalması şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Əhənglə kükürdsüzləşdirmədə  $[\%S]^{1/2}$  və kükürdün minimal qiymətlərinin asılılığı. Oyrilərdə rəqəmlər kükürdün minimal miqdarıdır: — - bizim nəticələrimiz; - - - - - zavod məlumatları

Əhəngin sərfinin və onun səmərəli istifadə əmsalının  $\eta_{\text{CaO}}$  hesablanması üçün fərz edilir ki, üzüb-çıxma zamanı vannada CaCO<sub>3</sub>-ün tam parçalanması baş verir və parçalanma məhsulunun CaO

kükürdsüzləşdirici potensialı təzə hazırlanmışa ekvivalentdir. Kükürdsüzləşdirmədən sonra  $[\%S]^{1/2}$  qiyməti əhəngin sərfinə mütənasib olaraq azalır ki, bu da nəzəri müddələri təsdiqləyir.

Bu işin  $[S]_0 = 0,040\%$  və "Velko" metodu ilə  $[S]_0 = 0,041\%$ -də nəticələrinin müqayisəsi, xüsusən kükürdün  $0,01\%$  civarında aşağı konsentrasiyaları sayəsində, bizim nəticələrin daha səmərəli olmasını göstərir. Bu işdə  $\eta_{CaO}$  qiyməti "Velko" metodunun  $5,6\%$  qiyməti ilə müqayisədə  $10,1\%$  təşkil etmişdir. Burada  $\eta_{CaO}$ -CaO-nun istifadə səmərəliliyidir.

Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, əhəngin  $7-9$  kq/t sərfində maye çuqunda kükürdün ifrat aşağı konsentrasiyası ( $0,002\%$ ) əldə olunur.

Qarışıqda C və  $CaF_2$  miqdarını dəyişməklə üfurmə üzrə eksperimentlərin aparılmasında müəyyən olunmuşdur ki, onlardan hər biri  $1\%$  əlavə edildikdə,  $\eta_{CaO}$  qiymətini artırır.

Bizim və "Velko" metodunun  $\eta_{CaO}$  qiymətləri arasındakı  $4,5\%$  fərqdən  $2\%$ -i qarışıqda C və  $CaF_2$ -nin oturdulması hesabına, qalan  $2,5\%$ -i isə əhəng ovuntusunun dənələrinin və üfurmə metodunun müxtəlifliyinə aid etmək olar.

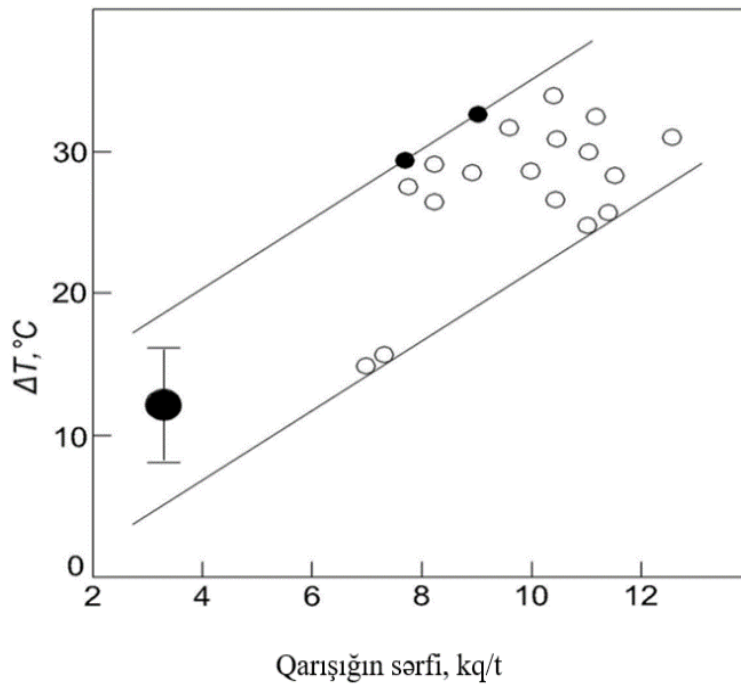
Həm də müəyyən olunmuşdur ki, əhəng qarışıqları ilə emal zamanı çuqunun temperaturunun düşməsi karbid qarışıqlarının tətbiqilə müqayisədə təxminən iki dəfə artmışdır (şəkil 2).

Kükürdün miqdarının intensiv azalmasını əldə etmək üçün əhəngli qarışıqların sərfinin artırılması karbid qarışıqlarının istifadəsində olduğu kimidir. Son posada metal toplantılarının aşağı miqdarda olması nəticə çıxarmağa imkan vermişdir ki, posa ilə metalın itirilməsi artmır.

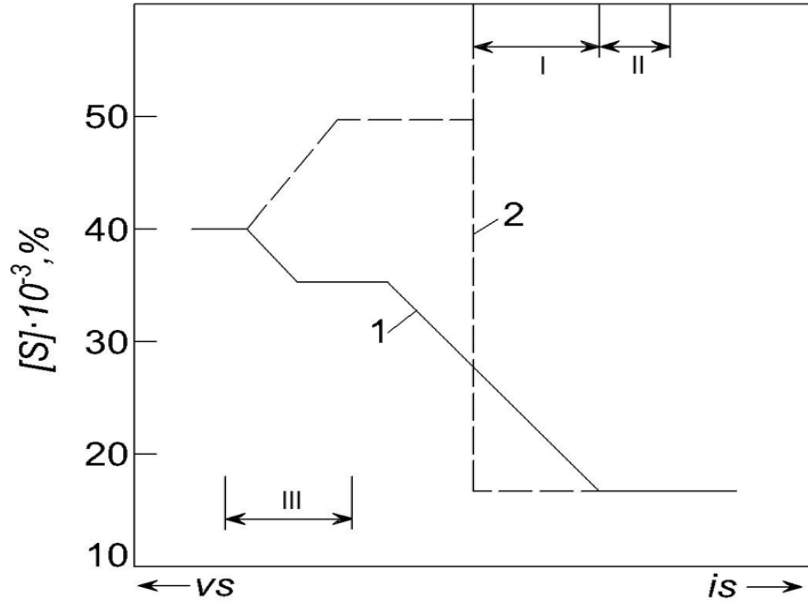
Şəkil 3-dən görünür ki, vaqranka çuqununun tərkibində kükürdün miqdarı  $0,04\%$  olduqda, induksiya sobasında təkrar əridildikdə və kalsium-karbid və əhəng qarışığı ilə emal edildikdə  $S=0,015\%$  təşkil edir.

$0,1\%$  rekükürdləşmədə karbidlə emalda  $0,003\%$  kükürdsüzləşməyə əhənglə emalda çuqunu sobadan mikser çalovuna buraxdıqda, əhəng əsasında qarışıqların emalının müsbət cəhətlərindən biridir. Bundan başqa, çuqunun  $0,002\%$ -ə qədər kükürdsüzləşməsi karbidlə emal olunmuş metalda və onun mikser çalovundan boşaltma çalovuna təkrar tökülməsində müşahidə olunur.

Qazın çalova üfürülmə intensivliyinin qarışdırma intensivliyinə təsirini sulu modeldə  $95\%$ -li qarışdırma üçün lazım olan vaxta  $t_{ök}$  görə öyrəndik (şəkil 4).



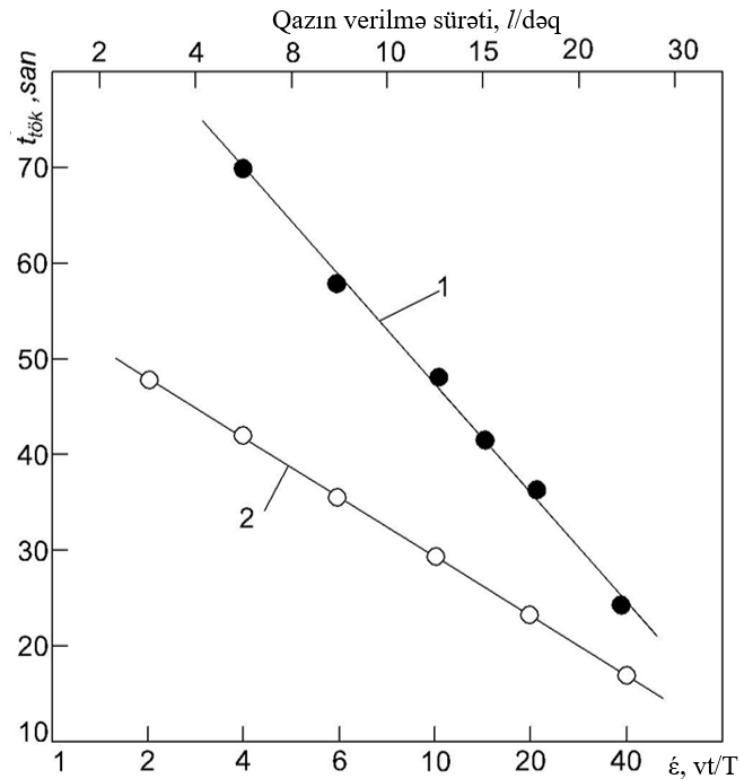
Şəkil 2. Ovuntuyabənzər əhəng (o) və karbidlə (●) üfurmə zamanı çuqunun temperaturunun düşməsi



Şəkil 3. Çuqunun mikser və adi çalova tökülməsi zamanı karbidlə emalda baş verən kükürdsüzləşmə (VS – vaqranka sobası; İS – induksiya sobası): I – kükürdsüzləşmə; II – tökmə çalovuna boşaltma; III – mikser çalovuna buraxma; 1 – əhəng; 2 – karbid

Bu təcrübələrdə posanı diametri 10 mm və sıxlığı  $0,91 \text{ q/sm}^3$  olan polietilen kürəciklərin ikiqat qatı ilə modelləşdirdik. Qarışdırmanın xüsusi enerjisini ( $\dot{\epsilon}$ ) isə aşağıdakı düsturla hesabladıq:

$$\dot{\epsilon} = 854QT \log P/w. \quad (1)$$



Şəkil 4. Qarışdırmaya sərf olunan enerjinin vannanın tam qarışdırılmasına lazım olan vaxtdan asılılığı ( $t_{\text{tök}}$ ):

$$1 - t_{\text{tök}} = 58 \dot{\epsilon}^{-0,42}; 2 - t_{\text{tök}} = 100 \dot{\epsilon}^{-0,31}$$

● – posa ilə ○ – posasız

(1) tənliyindən alınan kəmiyyət bu düsturla hesablanmış kəmiyyətin yarısını təşkil edir [3]. Bu, həmin işdə qazın genişlənmə enerjisinin nəzərə alınmaması ucbatından baş vermişdir. Lakin, belə fərqlilik xüsusi enerjinin  $\epsilon$  dərəcə göstəricisi  $n$ -nin təyininə təsir etmir.

Şəkil 4-dən görünür ki, posasız eksperimentlərlə təyin etdiyimiz  $n = -0,31$  kəmiyyəti, qəbul olunmuş nəzəri ( $n = -0,33$ ) qiyməti ilə yaxşı uzlaşır [4]. Qeyd etmək lazımdır ki, Laxner də posanı nəzərə almamışdır. Posanı modelləşdirdikdə alınan  $n = -0,42$  kəmiyyəti  $n = -0,40$  qiymətilə qismən uyğundur. Bu qiymət posanın iştirakı ilə təcrübi sənaye ərintilərində alınan qiymətlərə yaxındır.

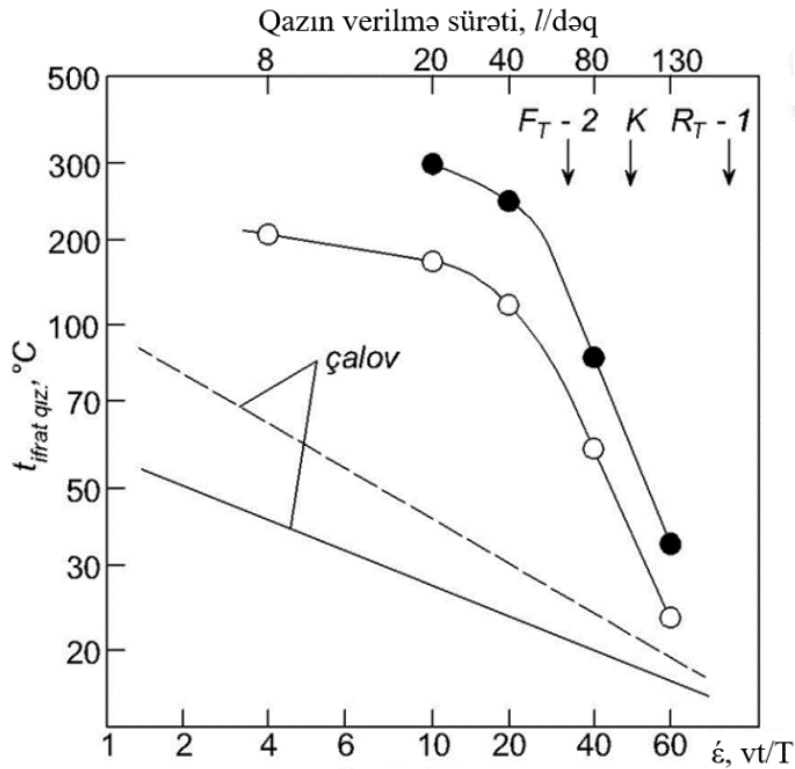
Posanın modelləşdirilməsi, həm də onsuz mikser tipli çalovda sulu model üçün  $t_{\text{ök}}$  və  $\epsilon$  arasındakı nisbətərlər şəkil 5-də çalovda qazla qarışdırmaqla metal üçün analoji məlumatlarla tutuşdurmaqla verilmişdir.

Polimer indikatorun cirələrinin daxil edilməsində sulu şırnağın davranışının müşahidəsi, mikser çalovunun hər iki sonlarında dayanmış sahələrinin mövcudluğu nəticəsində  $\epsilon$  kiçik qiymətləri sahəsində kifayət qədər zəif qarışdırma göstərmişdir. O halda ki, furmadan axan əsas su şırnağı, qazın sürətinin böyüməsi hesabına bu dayanmış sahələrin zonasına çatır. Onda  $\epsilon$ -un artması ilə  $t_{\text{ök}}$  kifayət qədər tez azalmağa başlayır.

Şəkil 6-da göstərilirdi kimi,  $t_{\text{ök}}$ -nin kəskin azalması səth şırnağının sürətinin artması ilə yaxşı uyğunlaşır. Bu, posa ilə örtülməmiş metal güzgüsündə üfüqi ox üzrə çıxan qabarcıqlar zonasının uzunluğu  $L$  kimi təyin olunur.

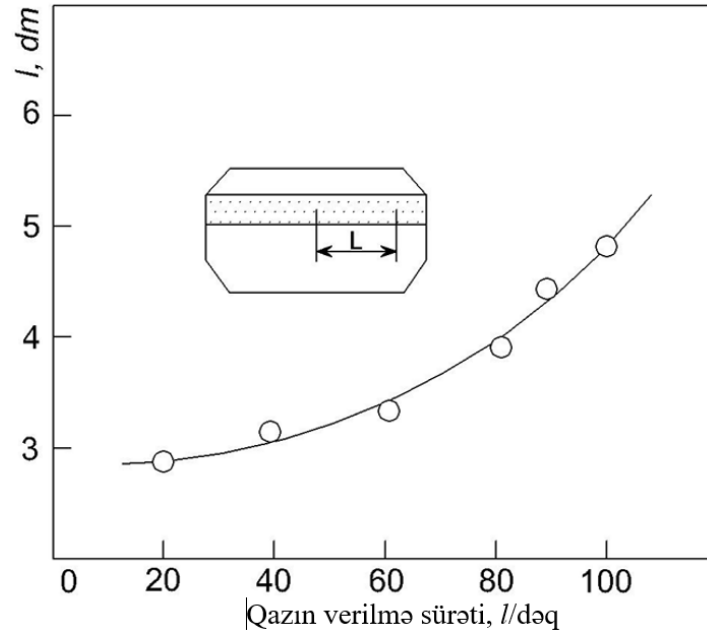
Eksperimentlərin nəticələri göstərir ki,  $t_{\text{qar}}$  kəmiyyətinin təyində əsas rolu mikser çalovda əritmənin əsas kütləsinin sirkulyasiyası oynayır. Aydın ki, hesabatda yalnız vannanın sirkulyasiyasına səbəb olan ağırlıq qüvvəsi daxil olunur. Mikser çalovunda  $\epsilon \geq 40 \text{ vt/T}$  sahəsində  $t_{\text{qar}}$  kəmiyyəti adi çalova nisbətən böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu ona dəlalət edir ki, hətta, vannanın sirkulyasiyası halında da mikser çalovunda yavaşdılmış qarışdırma yaxşılaşır.

Fərz etdiyimiz kimi, sənaye mikser çalovunun modelləşdirmə şəraitləri bir-birindən fərqlənir. Bu, şəkil 5-də aşağıya istiqamətlənmiş oxlarla göstərilmişdir. Aydın ki, mikser çalovunun formasının qarışdırma xarakterinə təsirinin qiymətləndirilməsi zavod təcrübələrindən sonra aparılmalıdır.



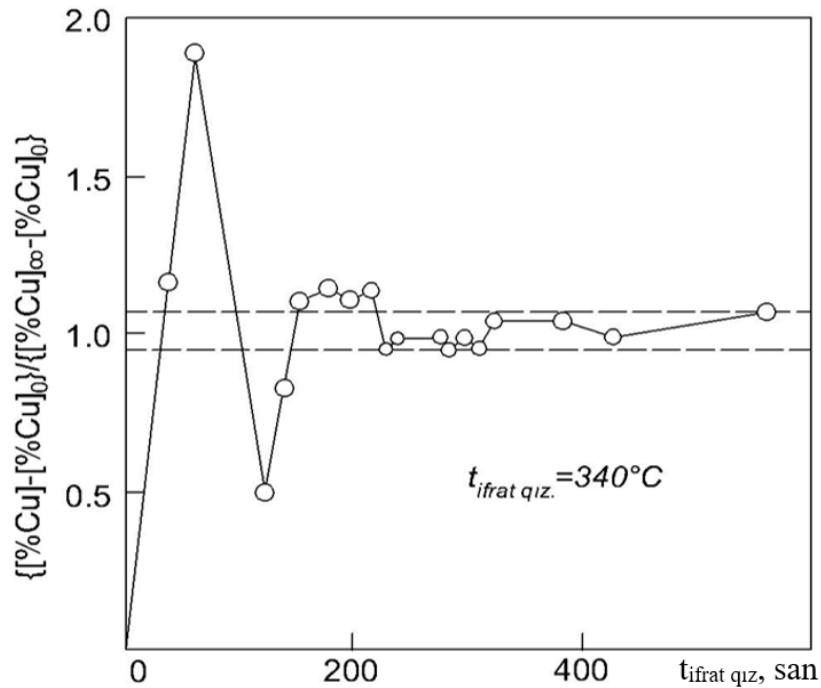
Şəkil 5. Sərf olunan enerjinin  $\epsilon$  funksiyası kimi vannanın qarışdırılma vaxtı,  $t$ :

● – posa ilə; ○ – posasız



Şəkil 6. Mikser çalovuna qazın üfürülməsində qabarcıqlarla xırdalanmış vannanın səthinin uzunluğu (L)

Şəkil 7-də mis indikator istifadə etməklə  $t_{qar}$ -ın sənaye ölçmələrinin nəticələri göstərilmişdir.



Şəkil 7. Mikser çalovunda vannanın tam qarışdırılması üçün tələb olunan vaxtın mis indikatoru vasitəsilə təyini

$t_{qar}$ -ın müşahidə etdiyimiz qiymətləri [5] işlərindən gözlədiyimiz aşağıdakı empirik tənliklə hesablanan qiymətlərdən yüksək olmuşdur:

$$t_{qar} = 800 \epsilon^{-0.4} \quad (2)$$



Qiymətlərdəki uyğunsuzluq qarışdırma üçün optimal sayılmayan mikser çalovunun forması ilə izah olunur.

Regressiya analizi  $n$  göstəricisinin qiymətini kalsium-karbid əsaslı qarışıq üçün 0,38-ə, əhəng qarışığı üçün isə 0,75-ə bərabər verir.  $t_{\text{qar}}$  və  $n$ -nin daha yüksək qiymətlərinin əhəng əsasında qarışıq üçün mümkün izahı onun böyük sərfi ola bilər.

Beləliklə, tədqiqatlar göstərir ki, mikser çalovunun əlverişsiz forması dayanıqlı zonalarda qarışdırma nəticələrinə hiss olunacaq təsir etmir. Mikser çalovuna karbid və əhəng qarışıqlarının üfürülməsi adi çalovla müqayisədə  $t_{\text{qar}}$  2-3 dəfə artırır.

**Nəticə.** Təyin olunmuşdur ki, səmərəli fosforsuzlaşdırma aparmaq üçün maye çuqunda silisiumun miqdarı minimum olmalıdır. Tərkibində 30%-dən çox CaO olan maye posaya SiO<sub>2</sub>-nin oturdulması posanın özlülüyünü bir az da aşağı salır, azacıq Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ün oturdulması da analoji təsir göstərir. CaO-nun aşağı konsentrasiyasında posada oksidləşdiricinin miqdarını azaltdıqda, refosforsuzlaşma müşahidə olunur.

Çuqunun induksiya sobasından buraxılması anında posanın maye metaldan tam ayrılmasını, kükürdsüzləşmə və fosforsuzlaşma proseslərinin intensivliyini təmin edən yeni CaO – CaCl<sub>2</sub> posa sistemi təklif olunmuşdur. Lakin soba posasının miqdarını azaltmaq üçün çuqunda silisium və fosforun konsentrasiyalarını azaltmaq lazımdır. Çuqunun saflaşdırılması üçün əhəng ovuntusu əsasında yüksək axıcılığa malik kükürdsüzləşdirici qarışığın tərkibi işlənmişdir. Qarışığın tərkibində aktiv maddələr qaz/ovuntu nisbətinin hətta aşağı qiymətlərində (10 l/kq) xırdadənəli ovuntunun çalovda maye çuquna stabil üfürülməsini təmin edir. Kükürdün miqdarının 0,040-dan 0,010%-dək azaldılması üçün əhəng ovuntusunun istifadə səmərəsi 10,1% təşkil etmişdir ki, bu da “Xyoş” zavodunun metodu ilə alınan nəticədən (5,6%) xeyli yüksəkdir.

Aparılmış tədqiqatların üstünlüyü ondadır ki, çuqunda kükürdün daha aşağı miqdarını almaq mümkündür. Kükürdün ifrat aşağı miqdarı (0,002%) əhəng qarışığının sərfi 7 kq/t və çuqunda kükürdün miqdarı 0,040% olduqda alınmışdır. Əhəng ovuntusu ilə kükürdsüzləşdirmənin daha bir üstünlüyü rekükürdləşmənin olmamasıdır. Karbid və əhəng ovuntusu ilə emalda hiss olunan fərqli effekt çuqunun təkrar oksidləşməsi nəticəsində mikser çalovunda posanın əsasliyinin dəyişməsi ilə izah olunur. Müəyyən olunmuşdur ki, mikser çalovunda üfürmədə qarışdırma müddəti adi çalovda qarışdırmada empirik nisbətlərdən təyin olunmuş qiymətdən 2-3 dəfə yuxarıdır. Çünki, mikser çalovunun forması qarışdırma üçün tam əlverişli deyildir. Əlverişli qarışdırma kinetikası ovuntu-əhəng qarışığında CaCO<sub>3</sub>-in miqdarını 25-dən 35%-dək artırmağa imkan verir ki, nəticədə əhəngin istifadə səmərəliliyi 17%-dək artır.

## ƏDƏBİYYAT

1. Смирнов Н.А. Рафинирование стали вдуванием порошкообразных материалов / Н.А. Смирнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. - Т.15, №3. – С.33-42.
2. Пивцаев В.В., Дьяченко В.И., Проскурин Е.А. Десульфурация стали с использованием инжекционной установки «VELKO» // Литье и металлургия, 2008, №1, (45). С.15-22.
3. Богушевский В.С., Каленчук М.В. Оптимизация процесса десульфурации металла в конвертерном цехе с использованием различных реагентов // Литье и металлургия, 2017, №3 (88), с.5-10.
4. Корнеев С.В. Применение инжекционных технологии в металлургическом производстве // Литье и металлургия, 2011, №2 (60), с. 152-159.
5. Плохих П.А., Плохих А.П., Рассказова Ю.В. Рафинирование чугуна жидкими содосодержащими шлаками // Вісник Приазовського Державного Технічного Університету, Вып.11, 2011, с.58-65.

## ÇUQUNUN SAFLAŞDIRILMA PROSESİNİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI INCREASING PROCESS EFFICIENCY CAST IRON REFINING

R.K.Həsənli

**Xülasə.** Ovuntu qarışıqları üfürməklə maye çuqunun sobadankənar saflaşdırılma prosesinin səmərəliliyi öyrənilmişdir. Tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi üçün ən səmərəli saflaşdırıcı 59% CaC<sub>2</sub>, 26% CaCO<sub>3</sub> və 15% C-dən ibarət olan qarışıqdır. Məlum olmuşdur ki, böyük fazalararası səthi təmin etmək üçün maye metala

əhəngin incə döyülmüş ovuntusunu üfürdükdə, ovuntunun axıcılığı pisləşir. Müəyyən olunmuşdur ki, əhəng qarışıqları ilə emal zamanı çuqunun temperaturunun düşməsi karbid qarışıqlarının tətbiqilə müqayisədə təxminən iki dəfə artmışdır. Lakin bu çatışmazlıq əhəng ovuntusuna səthi aktiv maddə əlavə etməklə aradan qaldırılmışdır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, mikser-çalovun əlverişsiz forması dayanıqlı zonalarda qarışdırma nəticələrinə hiss olunacaq təsir etmir. Mikser-çalova karbid və əhəng qarışıqlarının üfürülməsi adi çalovla müqayisədə qarışdırma effektini 2-3 dəfə artırır.

**Açar sözlər:** çuqun, injeksiya metallurjiya, ovuntu, saflaşdırma, səmərəlilik.

*Accepted: 29.10.2024*

## THE IMPACTS OF THE OIL INDUSTRY DEVELOPMENT ON THE VEGETATION COVER IN THE OIL PRODUCTION AREAS IN WESTERN KORDOFAN STATE, SUDAN

Adam Abdelsamad

*Baku State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography,  
Baku, Azerbaijan: adam.abdelsamad@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-1359-7486>*

**Abstract.** The oil industry's development follows a series of steps and processes, including exploration, drilling, and oil infrastructure, which affect vegetation in different ways. This study aims to investigate the role of the oil industry's impact on vegetation in oil production areas in the state of West Kordofan, Sudan. To achieve this aim, the study used satellite images and geographic information systems (GIS and ERDAS) to analyze and calculate the area of vegetation cover in the study area compared to other land uses. In addition, the study used secondary data and the field observation method. The study found that there is a clear impact of the development of the oil industry on the area of vegetation, especially around oil fields and settlements. The area of vegetation also declined from 56% in 1999, at the beginning of oil production, to 42% in 2023 of the total other land use in the region. Therefore, the study recommended paying attention to evaluating the environmental impact and practicing reforestation to compensate for the removal of vegetation in the study area.

**Keywords:** *Satellite images, land uses, economic activities, environment.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

Vegetation is subjected to a continuous process of removal due to the need of humans to expand their economic activities to meet their daily needs. The oil industry is among the economic activities that require the removal of vegetation because it consists of a series of stages, starting with exploration, drilling, and other logistical services related to the oil industry [2], [6]. The impact of removing vegetation cover for the purpose of developing the oil industry is double in areas with fragile vegetation cover, as is the case in dry and semi-arid environments, where vegetation cover is scarce, especially large trees, and thus the ability to compensate for the loss becomes very difficult.

The oil countries in sub-Saharan Africa, such as Nigeria, Chad, and Sudan, for example, which are countries located within what is known as the African Savanna Belt, suffer from a continuous loss of vegetation because of the expansion of oil industry activities, as tens of hectares of vegetation are removed to establish a new oil field or a new pipeline to transport oil [12].

Sudan is located within the arid and semi-arid tropical region, and this has provided Sudan with a diversity of vegetation cover (*look at figure 1*), ranging from desert in the north, passing through semi-desert in the center, and ending with rich savannah in the south. The latest statistics estimate that the forest area in Sudan is estimated at about 183,600 square km, but it is constantly declining due to economic activities, including the oil industry. The latest statistics estimate that the forest area in Sudan is estimated at about 183,600 square km, but it is constantly declining due to economic activities, including the oil industry [5].

According to Harrison and Jackson (1958), the vegetation of the study area, ecologically classified as *Combretum cordovanum* (Glutinosum) - *Dalbergia* - *Albizia cericocephala* (Amara) and savanna woodland, is a subdivision of the Loo area. Woodland Savanna rainfall over the sandy area. This subdivision occurs in areas of rainfall ranging from 450 - 600 mm/year [5].

The ground cover usually consists of *Brachiaria xantholeuca*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida pallida*, *Andropogon gayanus*, *Pennsetum pedicellatum*, *Blepharis liniifolia*, *Zornia glochidiata* and *Monechma hispidum*. Currently *Cenchrus biflorus* (Huskaneit), *Aristida pallida* (Sermeima) [1].

In the study area there are two different types of plants in the two soil types. They were distinguished by Harrison and Jackson (1958) as two subdivisions of the low-rainfall savanna vegetation

belt, namely (1) low-rainfall forests in savannas on clay and (2) low-rainfall forests in savannas on sand [11].

Which should be noted here is that most of the oil fields in Sudan are located within the rich savannah with good vegetation, and this in turn creates great complications that make the oil industry have a clear impact on the reality of vegetation in oil production areas. Hence the need for such studies that are concerned with monitoring to monitor the reality of vegetation cover, modern technologies such as geographic information systems (GIS) and Remote Sensing (RS) technology are used to obtain the most accurate results.

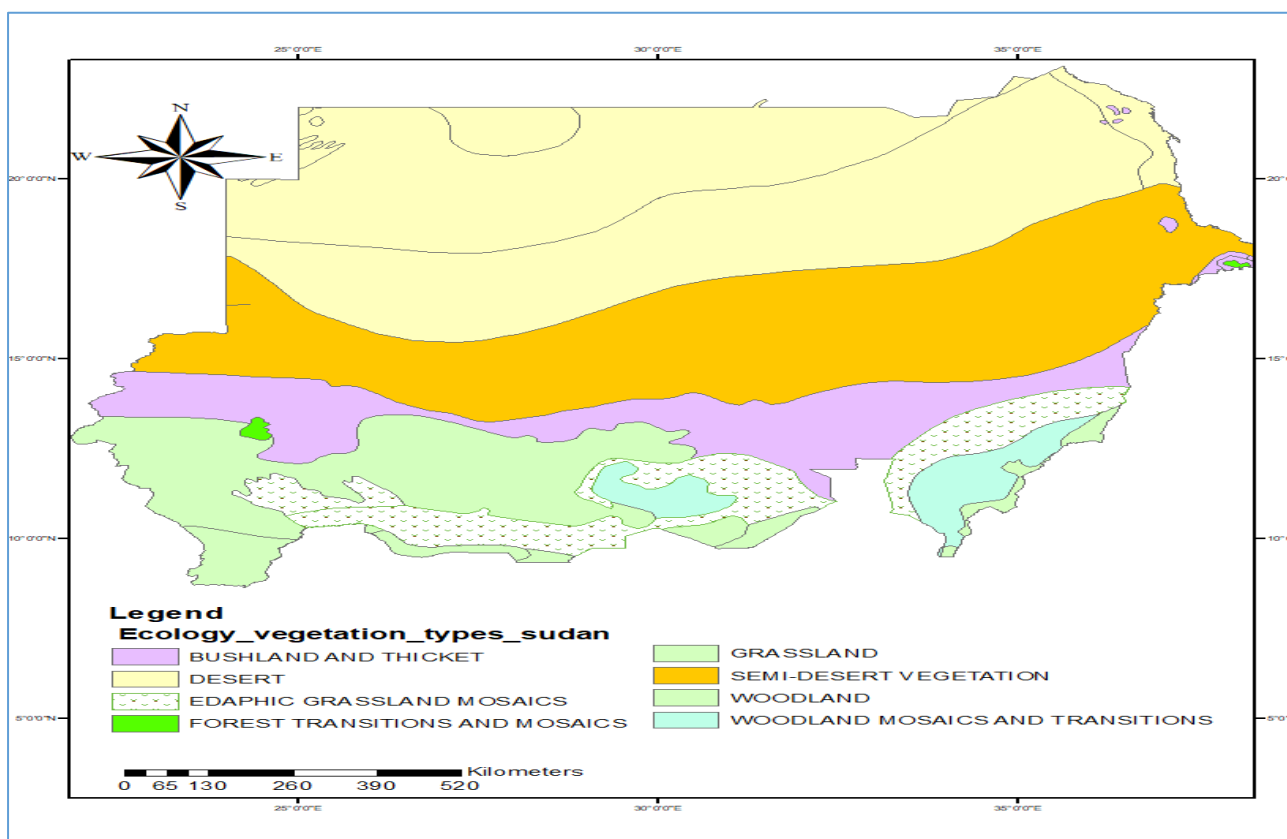


Figure 1. Ecology – Vegetation types in Sudan.  
Source: FAO, 2020.

## Martials & Methods

### 1. Study Area

The study area is located between latitudes  $11^{\circ} 20'0''$  to  $11^{\circ} 40'0''$  N and longitudes  $28^{\circ} 10'0''$  to  $28^{\circ} 40'0''$  E. The area in general has a flat topography, with elevations ranging from 502 m to 690 m and a slope of 0 to 24 degrees. The area is dissected by many surface-water courses (khors and wadis) in a dendritic pattern. The general topography of the project site is gentle hilly land. The site elevation is about 509.05 to 511.1 m above sea level. The ground surface is covered with dense primeval forests and overgrown with grass and weeds among the forests [9].

The climate in the study area lies within the Sudan-Savanna belt, with an annual rainfall of 600–700 mm. Rainfall is confined to the months of June through October. The rainy season extends from May to October, with peak values in August and September when the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) is in its extreme northern position. The period from November to April is dry [5].

This study included seven major oil fields in the oil-rich state of West Kordofan: Balila, Defra, Neem, Al-Jeck, Al-burasaya1, Al-burasaya2, and Al-Frdous. These seven fields contribute about 25,000 barrels per day, which constitutes more than 41% of Sudan's current daily oil production [9].

## 2. Data Collection and analysis

The vegetation of the study area was evaluated to determine the impact of the oil industry satellite image analysis using the GIS and ERDAS programs. In addition, the study used secondary data and the field observation method.

Changes in vegetation (land cover) were also evaluated using Landsat 10 images for the years 1999, 2015, and 2023. These images were processed and classified into different types of land cover using GIS software. The study area was selected from the Earth Explorer website, and then a file of the study area was created. Images dated 1999, 2015, and 2023 (on the same day and month) were then uploaded for future analysis and classification.

## RESULTS AND DISCUSSION

### 1. Satellite images analysis results

From Figures 2, 3 and 4, the state of the vegetation and the extent of its deterioration because of the expansion of the oil industry are clear. The degrees of risk in describing the state of the vegetation cover in the study area ranged from very high risk to medium risk and very low risk, according to satellite images. In satellite images for the year 1999, which is the period of exploration and the beginning of oil exploration in the region, we found that the level of risk in describing the situation of deterioration in vegetation is mostly low to very low risk, as the region still has not witnessed an expansion in oil production yet. The vegetation around settlements and some oil fields is good. Satellite image for the year 2015, which is the period that witnessed the expansion of the oil industry in the region. The vegetation began to be clearly affected by exploration and excavation activities, the construction of roads, and accompanying facilities, and here the risk in the state of vegetation in the area ranged from most of it being of moderate to high risk, especially around the Al-Jeck and Al-burasaya1 settlements, which include the Al-Jeck and Al-burasaya1 fields. As for the satellite image for the year 2023, it clearly showed the extent of the high and very high risk that the situation of vegetation had reached, as the deterioration included areas that were not affected, as is the case in the Al-Hejearat settlement located in the south of the study area and the Neem settlement near the Neem oil field.

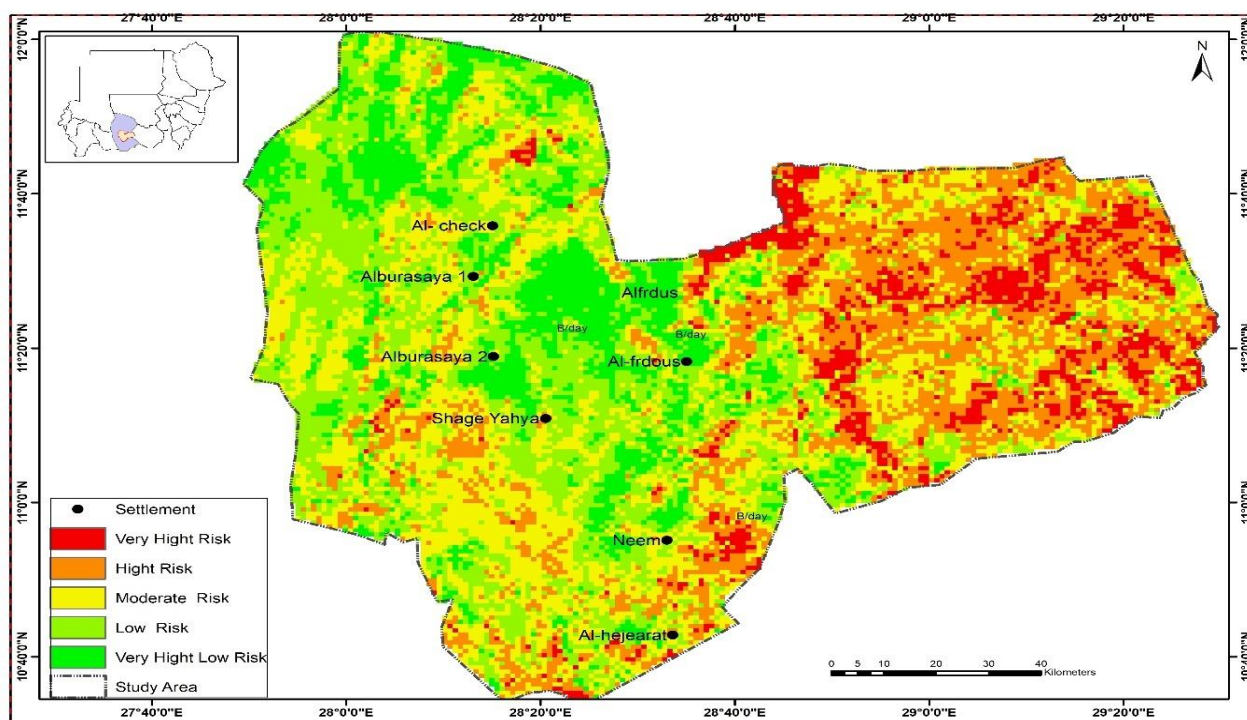


Figure 2. Vegetation cover 1999



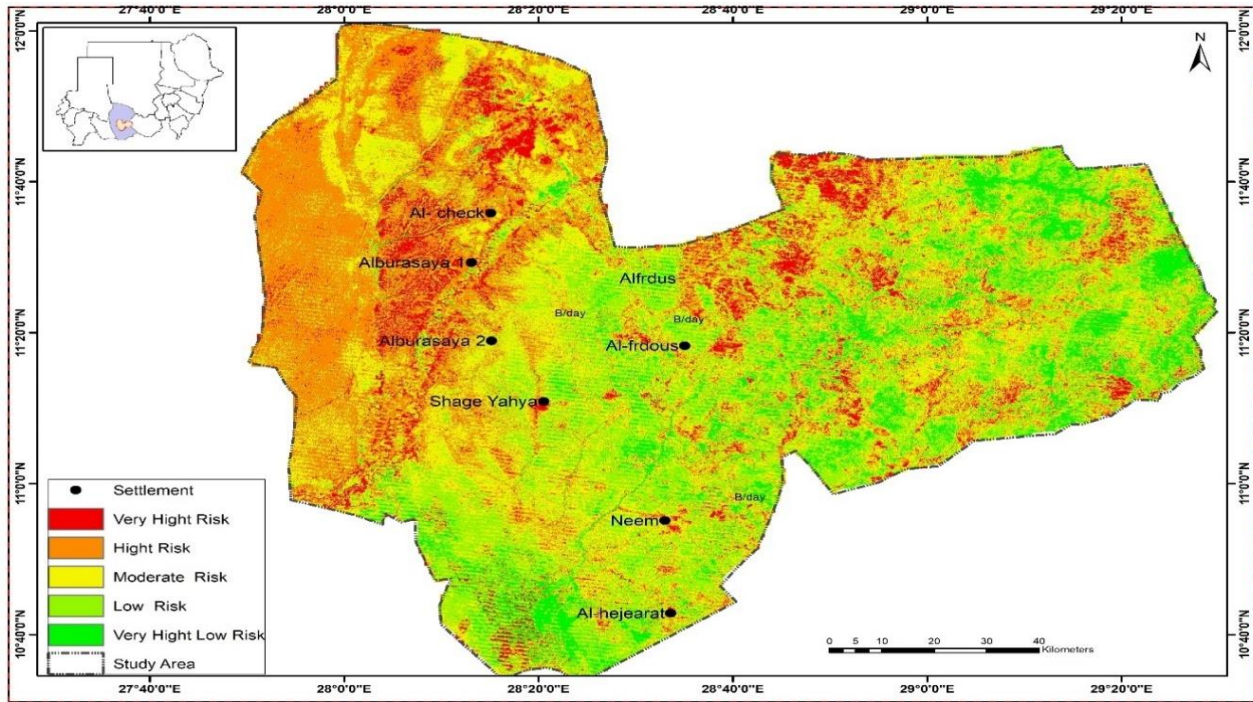


Figure 3. Vegetation cover 2015

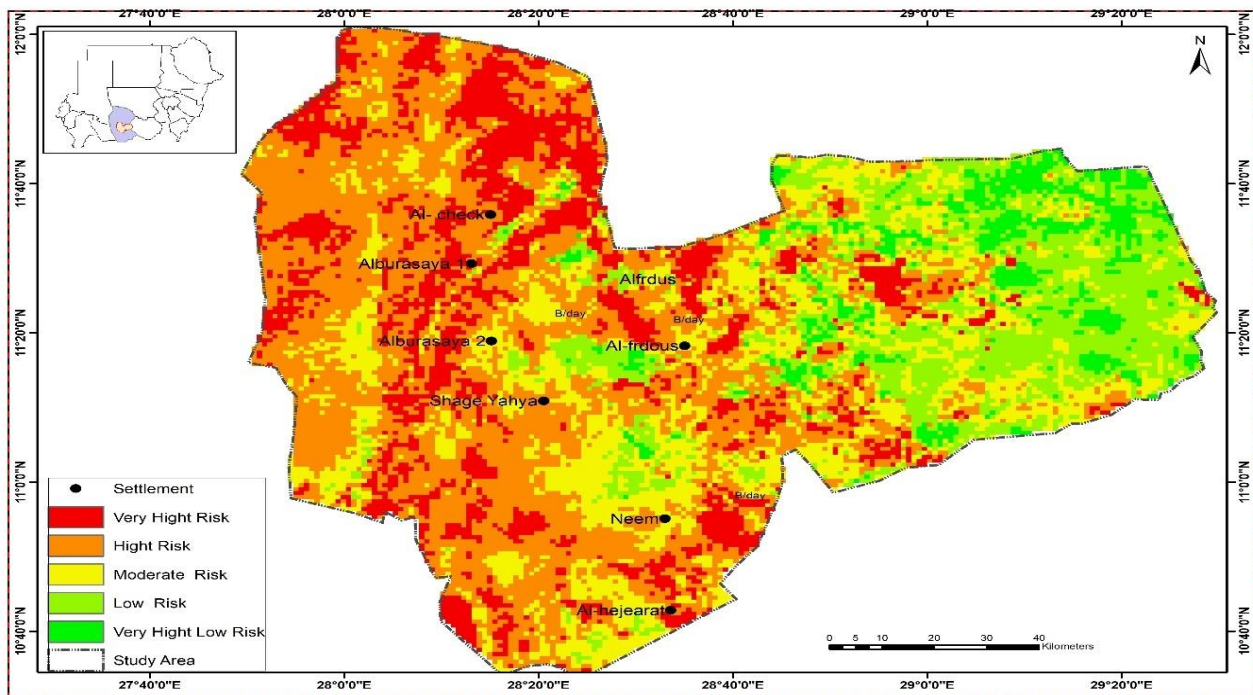


Figure 4. Vegetation cover 2023

Moreover, it increased deterioration to a very high risk in most of the affected areas, and this confirms that the recovery of vegetation in production areas is very slow or almost non-existent and may take a longer time.

The general observation is that the danger in the case of vegetation increases with the increase and expansion of oil industry activities in the study area and then reaches a critical state that cannot carry out the replacement process except with external interventions, and this was confirmed by both Gheorghe and Strat [4] and Mohamadi et al. [10].

## 2. Change in the percentage of vegetation cover compared to other land uses

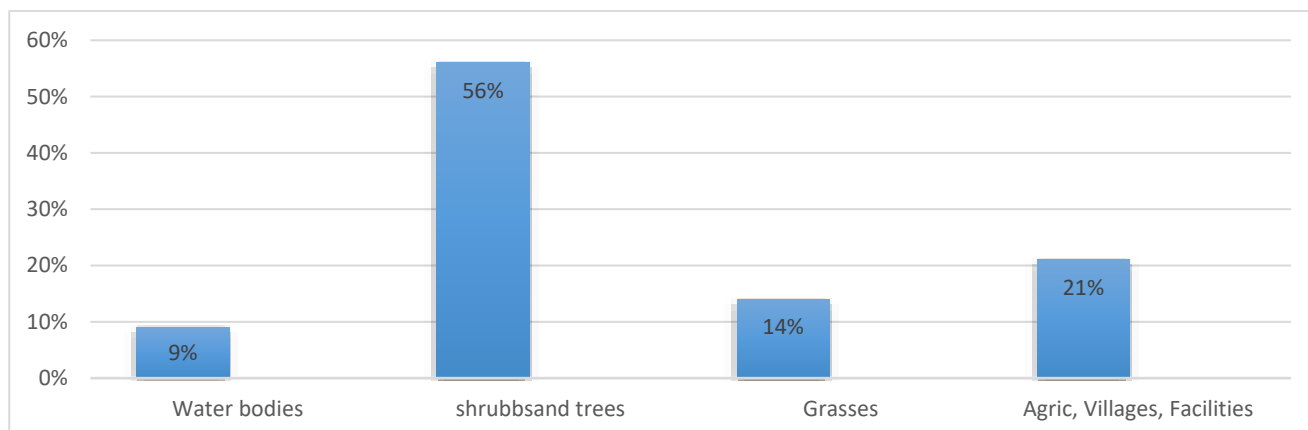


Figure 5. Vegetation percentage in 1999

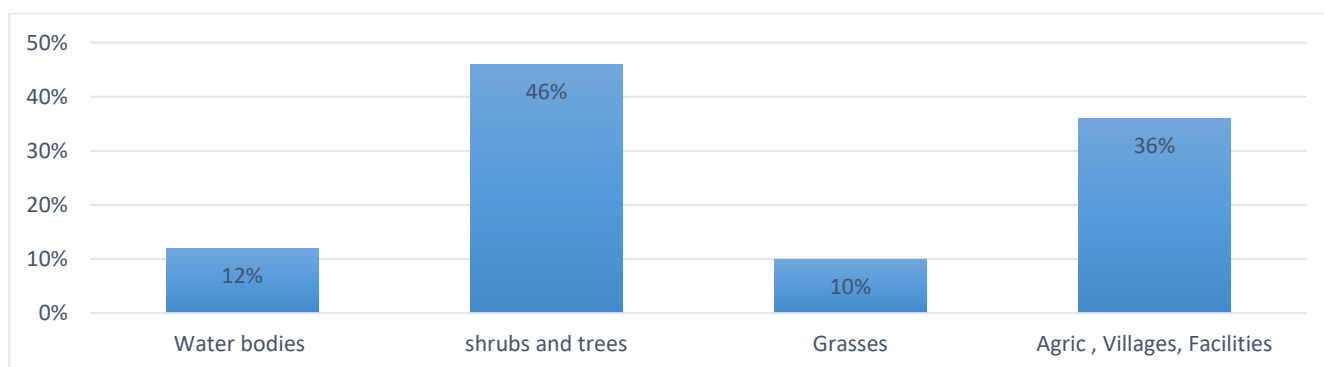


Figure 6. Vegetation percentage in 2015

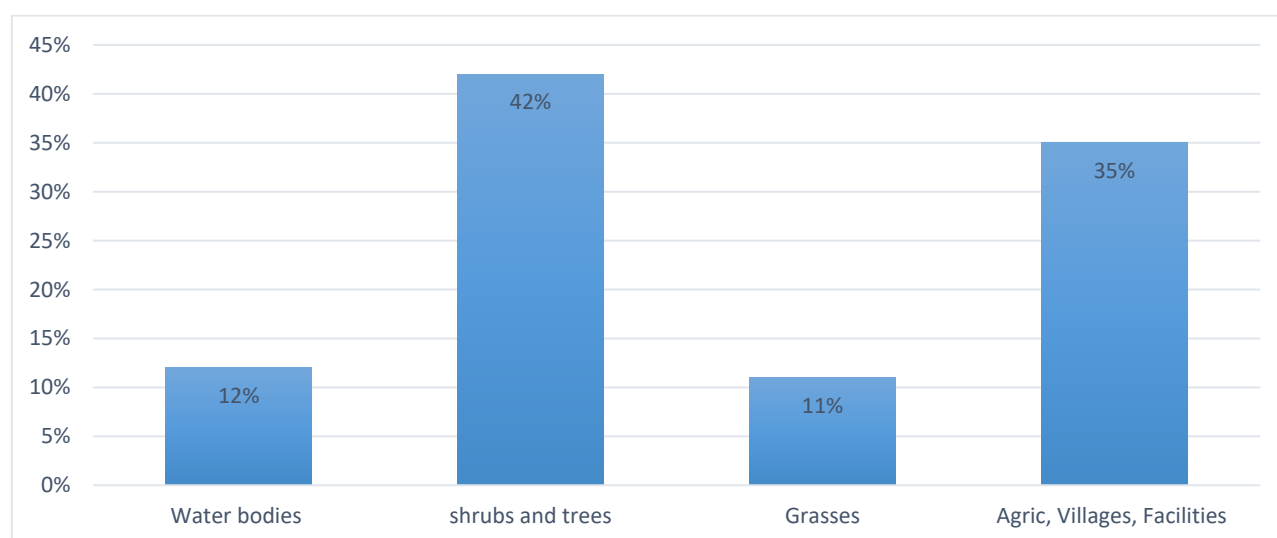


Figure 7. Vegetation percentage in 2023

From Figures 5, 6 and 7, there is a clear decrease in shrubs and tree cover in general from 56% in 1999 during the exploration period and the beginning of the oil drilling period to 45% in 2015. This period has witnessed a noticeable expansion in the various oil industry activities. This requires removing an estimated amount of vegetation cover. The vegetation cover lost 10% of its previous



area, This is which Madani et al.[7] confirmed The period following exploration operations and increasing production is when the rate of removing the loss of vegetation cover in production areas is very high. The decline in the cover area continued until it reached 42% in 2023. This may also be a continuation of the expansion in the development of the oil industry through the entry of new wells into the production cycle in addition to the establishment of a road network to reach various oil facilities and others, and all of this may directly affect the area of vegetation in oil field areas was mentioned by both Mariano and Rovere [8] A. T. Bello and Nwaeke [3]. The general conclusion from analyzing satellite images and calculating the percentage of vegetation cover compared to other land uses is that the decline in the percentage of vegetation cover in oil field areas is offset by a noticeable increase in other percentages, especially in facilities and settlements, which indicates the difficulty of recovering vegetation cover in the study area.

### Conclusion

This study examined the impact of the oil industry on vegetation in oil field areas in West Kordofan State in Sudan. The results showed that the development of the oil industry over the past years clearly contributed to the decline in vegetation, and its percentage declined from 56% in 1999 to 42% in 2023 out of total other land uses in the study area. The results of this study were consistent with the results of other studies that investigated the same direction.

The study believes that one of the ways to address the impact of the oil industry on vegetation cover is to pay attention to environmental impact assessment studies and continuous monitoring of the state of vegetation cover in the region, in addition to implementing reforestation operations to compensate for the loss of vegetation cover.

### REFERENCES

1. Abdel Magid, Talaat Dafalla, et al. "Ecological Zones of the Sudan." *ReseashGate*, no. December, 2016, pp. 0-9.
2. Bello, Adeshina Temitayo, and Treasure Nwaeke. "Impacts of Oil Exploration (Oil and Gas Conflicts; Niger Delta as a Case Study)." *Journal of Geoscience and Environment Protection*, vol. 11, no. 03, 2023, pp. 189-200, <https://doi.org/10.4236/gep.2023.113013>.
3. Bello, Temitayo, and Treasure Nwaeke. "Environmental Impacts of Oil Exploration (Oil and Conflicts: Niger Delta As a Case Study)." *SSRN Electronic Journal*, 2020, pp. 1-12, <https://doi.org/10.2139/ssrn.3720659>.
4. Gheorghe, Iuliana Florentina, and Daniela Strat. *Original Paper Effects of Oil Pollution on Vegetation , Potentially Useful Indicator Species for Rehabilitation*. no. April, 2021, <https://doi.org/10.25083/rbl/25.1/1186.1193>.
5. Jalal, Rashed, and Eltaib Saeed Ganawa. *2020 National Land Cover Map of Sudan June 2021 Prepared By* : no. June, 2021.
6. Kadafa, Adati Ayuba. "Environmental Impacts of Oil Exploration and Exploitation in the Niger Delta of Nigeria." *Global Journal of Science Frontier Research Environment & Earth Sciences*, vol. 12, no. 3, 2012.
7. Madani, Ikram, et al. "Vegetation Ecology and Taxonomy of El-Ga ' Ab Area , North- Western Sudan." *European Academic Research*, vol. 3, no. 3, 2015, p. 18.
8. Mariano, Jacqueline Barboza, and Emilio Rovere La Rovere. "Environmental Impacts of the Oil Industry." *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 2017, pp. 1-6, <https://www.eolss.net/Eolss-SampleAllChapter.aspx>.
9. Ministry of Oil and Energy. Ministry of Oil and Energy, Sudan, 2022, p. 12.
10. Mohamadi, Bahaa, et al. *Oil Spill Influence on Vegetation in Nigeria and Its Determinants*. no. 6, 2016, pp. 2533-2540, <https://doi.org/10.15244/pjoes/63666>.
11. Port, South. *Impact of Climate Change on Vegetation Cover At*. 2020.
12. Rodríguez, José León García, et al. "Oil, Poverty and Environment in Angola." *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, no. 64, 2014, pp. 427-432, <https://doi.org/10.21138/bage.1693>.

Accepted: 30.10.2024

## KƏND TƏSƏRRÜFATI LANDŞAFTININ GEOİNFÖRMASİYA XƏRİTƏLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ RELİYEF MODELƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN CİS TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ

Aytac Nəzif qızı Bədəlova<sup>1</sup>, Hikmət Nazim oğlu Məmmədov<sup>1</sup>,  
Nəsimi Seymur oğlu Valehov<sup>1</sup>, Fidan Ağarza qızı Valehova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

<sup>2</sup>Milli Aerokosmik Agentlik, Bakı, Azərbaycan

### APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR GEOINFORMATION MAPPING AND RELIEF MODELING OF AGRICULTURAL LANDSCAPE

Aytaj Nazif Badalova<sup>1</sup>, Hikmat Nazim Mammadov<sup>1</sup>,  
Nasimi Seymur Valehov<sup>1</sup>, Fidan Agarza Valehova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan: [abadalova@naa.edu.az](mailto:abadalova@naa.edu.az), [hmammadov@naa.edu.az](mailto:hmammadov@naa.edu.az),  
[nasimi.valehov@naa.edu.az](mailto:nasimi.valehov@naa.edu.az)

<https://orcid.org/0000-0003-1009-1762>, <https://orcid.org/0009-0002-5623-7018>,

<https://orcid.org/0000-0003-0465-5699>

<sup>2</sup>National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan: [fidanagarzaqizi@gmail.com](mailto:fidanagarzaqizi@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1169-7694>

**Abstract.** In the article, it is applied to one of the most relevant fields of application of agrolandscape research - the compilation of geoinformation maps, the development of maps of agricultural areas and relief models. Using the methods and data of remote sensing and GIS technologies, the results of the works on drawing large-scale geoinformation maps and modeling the relief of agricultural landscapes in the oldest agricultural region of the Karabakh economic region - Aghdam city are presented. The study was conducted at the local level on a sample of agricultural lands located within the shallow agricultural landscape with forest-steppe cultivation in the north of the region. Geoinformation mapping and relief modeling of the research area was carried out in ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.) based on the aerial photography materials of the Geoscan drone. Based on the results of the research, the electronic vector base of the main area and specialized attribute data, a digital relief model was developed in the GIS environment, and the spatial analysis and modeling of the geomorphological structure of the surface of the cultivated area was carried out. The relevance of the work is given by the significant agrogenic transformation of the relief of this area during the almost 30-year history of agriculture. Maps of the main characteristics and morphometric indicators of the relief, which are important in terms of the intensification of crop cultivation in the region through the development of agriculture, were prepared.

**Keywords:** agriculture, unmanned aerial vehicle, geographic information system, mapping, DEM.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Yer səthinin quruluşu, ilkin relyef, eləcə də onun törəmə formaları antropogen genezis ərazinin kənd təsərrüfatının inkişafına, kənd təsərrüfatı istehsalının təşkili və inkişafının xüsusiyyətlərinə mühüm təsir göstərir. Relyefin xarakteri kənd təsərrüfatı üçün vacib olan təbii mühitin komponentləri və şəraitinin bir çox parametr və xüsusiyyətlərini müəyyən edir. Xüsusilə, relyef işıqlandırmanın intensivliyinə və səthin qızmasına, istilik, külək rejimlərinə, yağıntuların paylanmasına və rütubətə, torpaq əmələ gəlməsinə, eroziya proseslərinin yaranması və inkişafı imkanlarını müəyyən edir. Bitkilərin seçilməsi, torpağın becərilməsi texnologiyaları, torpağın mühafizəsi və eroziyaya qarşı mübarizə tədbirlərinin təşkili birbaşa relyefdən asılıdır. Beləliklə, relyefin morfometrik xüsusiyyətləri təbii komplekslərin ekoloji əhəmiyyətli komponentlərinin göstəricisi kimi təqdim edilə bilər. Kənd təsərrüfatı landşaftlarının mühüm tərkib hissəsi olan relyef onların məkan quruluşunu, konfigurasiyasını və sərhədlərinin xarakterini müəyyən edir.

Ərazi obyektlərinin məkan analizi ilə yanaşı, bir çox hallarda kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların, əkin sahələrinin və onların ayrı-ayrı bölmələrinin relyefi haqqında ətraflı məlumatların kənd təsərrüfatı istehsalı üçün böyük əhəmiyyəti vardır [1]. Hazırda relyefin tədqiqi, xəritələşdirilməsi, geomorfoloji xəritələrin və digər növ kartoqrafik işlərin işlənilib hazırlanması üçün ənənəvi üsul və mənbələrlə yanaşı, məsafədən müşahidə məlumatları (MM), çoxmiqyaslı hava və peyk təsvirləri, CİS texnologiyalarından istifadə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsul və texnologiyalar tək-cə məkan məlumatlarının əldə edilməsi, emalı və təhlili, müxtəlif xəritə və modellərin layihələndirilməsi və

yaradılması üçün deyil, həm də aparılan tədqiqatın optimallaşdırılmasına və keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan verir [2].

Məqalədə CİS mühitində məsafədən müşahidə metodları və materiallarından istifadə etməklə kənd təsərrüfatı landşaftlarının geoinformasiya xəritələşdirilməsi və relyef modelləşdirilməsinin nəticələri təqdim olunur.

**Tədqiqat ərazisi.** Tədqiqat ərazisi kimi Ağdam şəhəri götürülmüşdür. Ağdam rayonu 8 avqust 1930-cu ildə yaradılmışdır. Sahəsi 1154 km<sup>2</sup> olan rayonun relyefi əsasən düzənlik, qismən dağlıqdır. Ağdam rayonu Azərbaycanın qədim, füsunkar təbiətli torpağı olan Qarabağın mərkəzində – Qarabağ dağ silsiləsinin şimal-şərq ətəklərində, Kür-Araz ovalığının qərbində yerləşir. Dəniz səviyyəsindən yüksəkliyi 410 metr, maksimum yüksəklik 1365 metrdir. İqlimi əsasən mülayim isti, quraq subtropikdir. Dağətəyi yerlərdə yüksəklik artdıqca iqlim mülayimləşir. Ən çox yağıntı dağətəyi sahələrə düşür. İllik yağıntıların miqdarı 300-550 mm-dir. Tədqiqat aparılan ərazi 39°59' şm. e. 46°55' ş. u. Koordinatlarında yerləşir. Rayonun ərazisindən Qarqar və Xaçın çayları axır.



Şəkil 1. Tədqiqat aparılan ərazinin Google Earth proqramından görünüşü

**Tədqiqatın aparılma metodikası.** Tədqiqat Ağdam şəhərinin əkinçilik ərazilərinin təbii şəraitinin öyrənilməsi, hərtərəfli səciyyələndirilməsi prinsiplərinə, o cümlədən geomorfoloji tədqiqatların məzmunu, nəticələrinə və relyef xəritələşdirilməsinə əsaslanır [3]. Kənd təsərrüfatı torpaqlarının geoinformasiya xəritələrinin, kənd təsərrüfatı landşaftlarının, CİS-dən kənd təsərrüfatı məqsədləri üçün istifadənin müxtəlif aspektlərinin təcrübə və nəticələrini təqdim edən yerli və xarici alimlərin əsərlərinin öyrənilməsinə xüsusi diqqət yetirilir. Mənbə kimi ədəbi, nəşr və fond materiallarından istifadə edilmişdir. Mühüm məlumat mənbəyi coğrafi və geomorfoloji məzmunlu kartoqrafik məlumatlar idi. Geomorfoloji məlumatlar topoqrafik, geomorfoloji və xüsusi tematik xəritələrin (hipso-metrik, relyef parçalanması, səthin mailliyi və s.) kartometrik təhlili əsasında əldə edilmişdir [3,4]. İstinad xəritələrindən alınan məlumatlar əsasında tədqiq olunan ərazinin səth quruluşunun ilkin tədqiqi aparılmışdır. Aparılan tədqiqat işində Google-Earth veb-xidmətindən, peyk görüntülərindən istifadə edilib. Tədqiqat üçün əsas mənbə materialı pilotsuz uçuş aparatından (PUA) əldə edilmiş bir sıra aerofotoşəkillərdən istifadə olunmuşdur. Relyefin təbiəti haqqında geoinformasiya məlumatları 2021-2022-ci illərdə çöl tədqiqatları zamanı əldə edilmişdir.

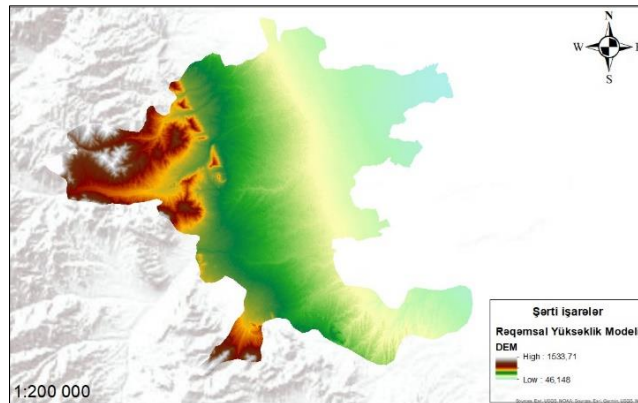
Aparılan tədqiqatda kompleks fiziki-coğrafi çöl tədqiqatı, müqayisəli coğrafiya, PUA-lardan istifadə etməklə məsafədən müşahidə, coğrafi məlumatların xəritələşdirilməsi və modelləşdirmə üsullarından geniş istifadə edilmişdir. Materialların emalı və geoinformasiya xəritəsi ArcGIS 10.8 proqram paketində (ESRI Inc.) həyata keçirilib.

Tədqiqat ərazisinin ümumi sahəsi 1154 km<sup>2</sup>-dir. Baxılan ərazi Ağdamda əkinçilik baxımından ən qədim inkişaf etmiş regiondur (kənd təsərrüfatının tarixi təxminən 60 il əvvələ gedib çıxır) və taxıl bitkilərinin üstünlük təşkil etdiyi cənub meşə-çöl əkinli dayaz kontur tipli kənd təsərrüfatı landşaftına aiddir. Aqrolandşaft relyefinin müfəssəl tədqiqi, geoinformasiya xəritəsinin çəkilməsi və modelləşdirilməsi ayrıca kənd təsərrüfatı sahəsinin – əkin sahələri üçün istifadə edilən sahənin nümunəsində aparılmışdır.

İşin birinci mərhələsində ilkin məlumatların toplanması, sistemləşdirilməsi, təhlili aparılıb, əsas sahədə çöl landşaft və coğrafi tədqiqatlar təşkil edilmişdir. Relyefin tam miqyaslı morfometrik təhlili, çöl geomorfoloji xəritələşdirilməsi və profilləşdirmə işləri də aparılmışdır. Tədqiqatın əsas məqsədi PUA-lardan əldə edilmiş aerofotoçəkiliş materiallarının CİS proqram paketində mühitində emalı idi [5]. Geoinformasiya xəritələşdirilməsinin əsas elementi tədqiqat sahəsinin tematik relyef xəritələrinin işlənilib hazırlanması və tərtibi üçün əsas kimi xidmət edən rəqəmsal yüksəklik modelinin (DEM) işlənilib hazırlanmasından ibarət idi. Aerofotoçəkiliş materialları əsasında əsas ərazinin ortomozaik xəritəsi və relyef matrisləri alınmışdır. Bu materiallar əsasında tədqiqat sahəsinin DEM-i, plastik relyef xəritəsi və 3D modeli də yaradılmışdır. DEM-in inkişafı Spatial Analyst, 3D Analyst standart alətləri və modullarından istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Geoinformasiya xəritələrinin çəkilməsi və relyef modelləşdirilməsinin yekun nəticəsi tədqiqat sahəsinin relyefinin əsas xüsusiyyətlərini və geomorfoloji strukturunun xüsusiyyətlərini əks etdirən tematik elektron xəritələrin tərtibi olmuşdur.

Tədqiqatın əsas məqsədi kənd təsərrüfatı torpaqlarının relyefinin xəritələşdirilməsi və məkan təhlili üçün müasir informasiya texnologiyalarından istifadəyə yönəlmiş ixtisaslaşmış coğrafi informasiya sisteminin yaradılmasıdır. Onun yaradılması prosesində tədqiq olunan ərazidə obyektlərin vektorlaşdırılması aparılıb, əsas ərazinin sərhədləri müəyyən edilib, elektron kartoqrafiya bazası yaradılıb, ixtisaslaşdırılmış atribut məlumatları işlənilib hazırlanmışdır.

**Verilənlər toplusu.** Rəqəmsal Yüksəklik Modeli (DEM) əsasında CİS-də ərazinin müxtəlif növ geomorfoloji və morfometrik təhlilini aparmaq, müəyyən ərazinin hipsometrik profillərini almaq, müxtəlif qiymətləndirmə və tematik xəritələri, morfometrik relyef göstəricilərinin geoinformasiya və kartoqrafik modellərini işləyib hazırlamaq mümkündür. Xəritə məlumatlarından istifadə etməklə səth yamaclarını ölçmək, hipsometrik səviyyələri, yamacların ekspozisiyasını və formasını, üfüqi və şaquli parçalanmanı, daxil olan günəş enerjisinin miqdarını və s. müəyyən etmək mümkündür [6,7].DEM-in hidroloji təhlilinin nəticəsi səth axınının modelləri, talveq şəbəkəsinin və drenaj hövzələrinin təsviri, eroziya şəbəkəsinin ümumi sxemi, drenajsız ərazilər, su axarlarının xəritələri, yaxınlaşma indeksi və s. ola bilər. Beləliklə, DEM relyefin ətraflı təhlilini aparmağa, səth strukturunun xarakterini və xüsusiyyətlərini müəyyən etməyə imkan verir. Aerofotoqrafiya materialları əsasında CİS kənd təsərrüfatı fəaliyyəti ilə bağlı proseslərin, məsələn, eroziya, bataqlıq, torpağın sıxılması və s. təzahürlərini modelləşdirməyə imkan verir [6,7]. Şəkil 2-də tədqiqat sahəsinin relyef xəritəsi göstərilir.

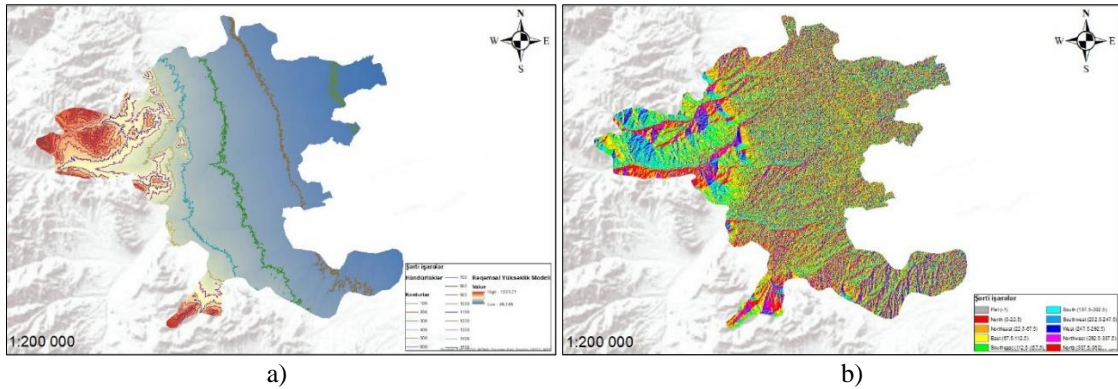


Şəkil 2. Ağdam rayonunun yüksəklik modeli (DEM).

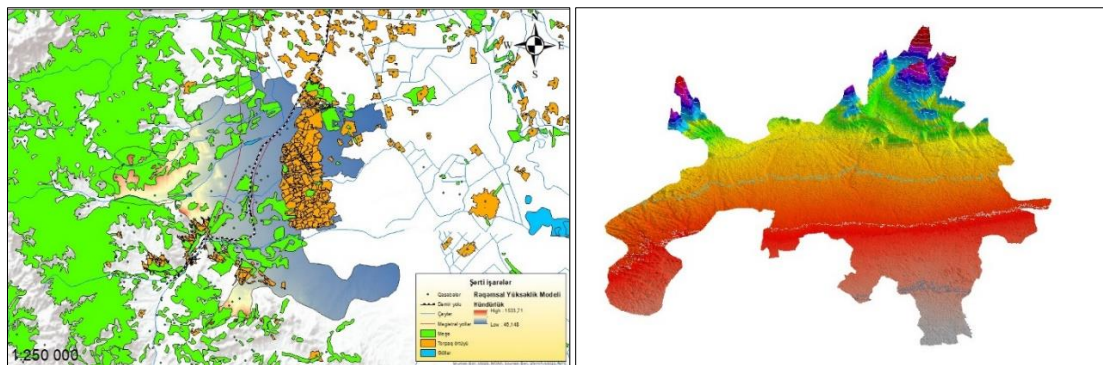


CİS-də hazırlanmış DEM əsasında səth strukturunun xüsusiyyətlərini və tədqiqat sahəsinin relyefinin əsas xarakteristikalarını əks etdirən bir sıra tematik xəritələr qurulmuşdur. Eyni hündürlükdə olan nöqtələr izoqrafik xətlərə birləşdirilmişdir. Belə xəritələr sahənin səthinin strukturunun təbiəti haqqında daha ətraflı məlumat əldə etməyə, amplitudanı, hündürlük fərqi ölçülməsini, səthin ümumi yamacını və axınının istiqamətini təyin etməyə imkan verir (Şəkil 3a). DEM və yüksəklik matrisi əsasında kənd təsərrüfatı torpaqlarının yamacın ekspozisiya xəritəsi (Şəkil 3b) hazırlanmışdır. Bu xəritədən istifadə edərək, sahə səthinin işıqlandırılması və qızdırılmasının xarakterini, işıq və istiliyin yenidən bölüşdürülməsini müəyyən edərək, daha əlverişli işıq və istilik şəraiti olan əraziləri müəyyən edə bilərsiniz [8]. İş prosesində mikrorelyef formalarının və talveqlərin konturları müəyyən edilmiş, müvəqqəti su axarlarının və səth axınının istiqamətini modelləşdirilməsi aparılmışdır (şəkil 4). Bu xəritələr kənd təsərrüfatı torpaqlarının su eroziyasına məruz qalma ehtimalını və dərəcəsini müəyyən etməyə, müəyyən etməyə imkan verir.

Tədqiqat sahəsinin morfometrik təhlili göstərdi ki, ərazinin kiçik olmasına baxmayaraq, onun səthinin strukturu heterojendir. Bu məlumatdan səth axınının öyrənilməsi, kimyəvi elementlərin miqrasiyasının xarakterini və bu tip kənd təsərrüfatı landşaftının digər geokimyəvi parametrlərini müəyyən etmək üçün istifadə oluna bilər.



Şəkil 3. Tədqiqat ərazisinin kontur və yamacın ekspozisiya xəritəsi.



Şəkil 4. Tədqiqat sahəsinin mikrorelyef formaları, 3D modeli və axın şəbəkələri

Qeyd etmək lazımdır ki, son vaxtlar kənd təsərrüfatı landşaftlarının relyefinin geoinformasiya xəritələşdirilməsinə və modelləşdirilməsinə tələbatın artması resurslara qənaət edən kənd təsərrüfatının müasir sahələrinin inkişafı və həyata keçirilməsinə ehtiyacla bağlıdır. Kənd təsərrüfatında nəzərə alınan təbii parametrlər arasında səth quruluşunun xüsusiyyətlərinə də xüsusi diqqət yetirilir. Buna görə də, əkinçilik elementlərinin tətbiqi və səmərəli istifadəsi üçün kənd təsərrüfatı landşaftlarının və xüsusilə də konkret əkin sahələrinin topoqrafiyası haqqında keyfiyyət və kəmiyyət məlumatlarının verilməsi həlledici əhəmiyyət kəsb edir [9].

**Nəticə.** Region üçün əsas ərazi nümunəsindən istifadə etməklə aparılan tədqiqatlar nəticəsində CİS mühitində kənd təsərrüfatı landşaftlarının relyefinin genişmiqyaslı geoinformasiya xəritəsinin çəkilməsi və modelləşdirilməsi metodologiyası işlənib hazırlanmışdır. Sahə tədqiqatlarından başlayaraq, tematik xəritələrin işlənib hazırlanmasına, tədqiqat sahəsinin relyefinin və səth strukturunun xarakterinin morfo-metrik təhlilinə qədər görüklən işin alqoritmi tərtib edilmişdir.

Aparılan tədqiqatlar belə qənaətə gəlmək olar ki, relyefin tədqiqi üçün ənənəvi üsul və mənbələrlə yanaşı, topoqrafik xəritələr, geoloji xəritələr, qazma məlumatları, məsafədən müşahidə materialları, çoxmiqyaslı aero və kosmik məlumatlar mühüm informasiya mənbəyi kimi istifadə olunmuşdur. Kənd təsərrüfatı torpaqlarının genişliyi sübut edir ki, hal-hazırda Yer məsafədən müşahidəsi texnologiyalarından istifadə kənd təsərrüfatı landşaftlarının xəritələşdirilməsinin inkişafı üçün prioritet məsələdir. Əldə edilmiş məlumatlar kənd təsərrüfatı torpaqlarında su eroziya proseslərinin təzahürünün öyrənilməsi və proqnozlaşdırılması üçün əsas ola bilər və eroziyaya qarşı tədbirlərin vaxtında işlənib hazırlanmasına imkan verəcəkdir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1997. 64 с.
2. Национальный атлас Республики Казахстан. Том. 1. Алматы, 2006, 125 с.
3. Тесленок С.А. Агрорландшафтогенез в районах интенсивного хозяйственного освоения: Исследование с использованием ГИС-технологий, монография, Саарбрюккен, LAP Lambert Academic Publ., 2014, 189 с.
4. Mehdiyev A.Ş., Əzizov B.M., Bədəlova A.N., Məsafədən Zondlamanın Fiziki Əsasları. Bakı: Elm, 2015, 303 s.
5. R. Bayramov, R. Cavarov, H. Məmmədov. Geodeziyanın əsasları və kartoqrafiya. Bakı: MAA, 2018, 178 s.
6. Андрееванов Д.Ю. Цифровая модель рельефа как основа для оценки пространственной неоднородности территории агрорландшафта. Геоинформационное картографирование в регионах России. Учеб. 3-го Всероссийского. науч. и Практика. конф.]. Воронеж, 2011. С. 9-11.
7. Тесленок С. А., Манухов В. Ф. Информационные технологии в изучении агрорландшафтогенеза // Педагогическая информатика. 2011. № 1. С. 88-92.
8. Мажитова Г. З., Пашков С. В., Крыцкий С. В. Совершенствование методики крупномасштабного агрорландшафтного картографирования на основе применения геоинформационных технологий и беспилотных летательных аппаратов // Региональные геосистемы. 2020. № 44 (1). С. 64-74.
9. Quantitative assessment of 2014–2015 land-cover changes in Azerbaijan using object-based classification of LANDSAT-8 timeseries January 2018. IFAC-PapersOnLine 51(30): 31-33.

## KƏND TƏSƏRRÜFATI LANDŞAFTININ GEOİNFÖRMASİYA XƏRİTƏLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ RELİYEF MODELƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN CİS TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ

A.N.Bədəlova, H.N.Məmmədov, N.S.Valehov, F.A.Valehova

**Xülasə.** Məqalədə aqrorlandşaft tədqiqatlarının ən aktual tətbiqu sahələrindən birinə- geoinformasiya xəritələrinin tərtibinə, kənd təsərrüfatı ərazilərinin xəritələrinin və relyef modellərinin işlənməsinə tətbiqu olunmuşdur. Məsafədən müşahidə və CİS texnologiyalarının metod və məlumatlarından istifadə etməklə Qarabağ iqtisadi rayonunun ən qədim əkinçilik bölgəsi – Ağdam şəhərində irimiqyaslı geoinformasiya xəritələrinin çəkilməsi və kənd təsərrüfatı landşaftlarının relyefinin modelləşdirilməsi üzrə işlərin nəticələri təqdim olunur. Tədqiqat rayonun şimalında meşə-çöl əkinli dayaz kənd təsərrüfatı landşaftı daxilində yerləşən kənd təsərrüfatı torpaqları nümunəsində yerli səviyyədə aparılmışdır. Tədqiqat sahəsinin geoinformasiya xəritələşdirilməsi və relyef modelləşdirilməsi ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.) sistemində Geoscan pilotsuz uçuş aparatının aerofotoqrafiya materialları əsasında aparılmışdır. Tədqiqatın nəticələrinə əsasən CİS mühitində əsas sahənin elektron vektor bazası və ixtisaslaşdırılmış atribut məlumatları, rəqəmsal relyef modeli hazırlanmış, əkin sahəsinin səthinin geomorfoloji strukturunun fəza analizi və modelləşdirilməsi aparılmışdır. İşin aktuallığı kənd təsərrüfatının demək olar ki, 30 illik tarixi ərzində bu ərazinin relyefinin əhəmiyyətli aqrogenik transformasiyası ilə verilir. Kənd təsərrüfatının inkişafı yolu ilə rayonda bitkiçiliyin intensivləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edən relyefin əsas xarakteristikalarının və morfo-metrik göstəricilərinin xəritələri hazırlanmışdır.

**Açar sözlər:** kənd təsərrüfatı, pilotsuz uçuş aparatı, coğrafi informasiya sistemi, xəritəçəkmə, DEM.

Accepted: 30.10.2024

## YAŞIL PEDAQOGİKANIN ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİNDƏ ROLU

Lalə İsbəndiyar qızı Qarayeva

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

## THE ROLE OF GREEN PEDAGOGY IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Lala Isbandiyar Garayeva

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: lalagarayeva123@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-2479-6993>

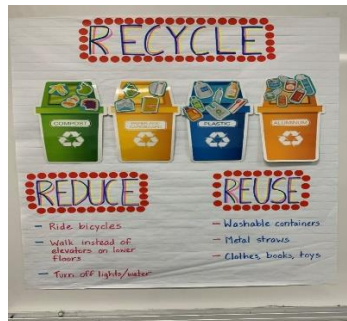
**Abstract.** Education plays a crucial role in ensuring sustainable development. Its importance in shaping the future is absolute, and implementing advanced systems and methods for fostering environmental awareness and achieving sustainability within society through education is essential. The article investigates the role of Green Pedagogy, implemented at the University College for Agricultural and Environmental Education in Vienna, to promote environmental protection and integrate ecological awareness and sustainability-focused innovations. This paper aims to elucidate how the teaching methodologies and principles of green pedagogy can enable students to cultivate new environmental habits, foster a sense of green citizenship, and facilitate the development of community-based ecological initiatives

**Keywords:** Green pedagogy, environmental protection, University College for Agricultural and Environmental Education Vienna, ecology, environment, pedagogy, domestic economy.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

## Giriş

Yaşıl pedaqogika inkişaf etməkdə olan tədris metodu kimi ətraf mühitin mühafizəsində mühüm rol oynayır. Ənənəvi tədris metodundan fərqli olaraq, yaşıl pedaqogika tələbələri ətraf mühit ilə birbaşa əlaqə saxlamağa və əyani formada ətraf mühiti anlamağa kömək edir. Təlim və tədris işlərində yeni biliklərin aşılınması ilə bərabər öyrənilən biliklərin real mühidə tətbiq edilməsi yaşıl pedaqogikanın əsas prinsipidir. Yaşıl pedaqogika integrativ yanaşmadır və ilk növbədə texniki üsullarla tələbələrin ekosavadlığı artırmaq məqsədi daşıyır. Gündəlik həyatda prioritet təşkil edən işlər ətraf mühitə bu və ya digər yollar ilə təsir edir. Kənd təsərrüfatı, ev təsərrüfatı və istehlak yönümlü mövzular ətraf mühitə şüursuz formada edilən təsirlərin idarə edilməsi tədris prosesinin əsas obyektlərindəndir. Bununla birlikdə, yaşıl pedaqogikanın mühüm məqsədi ətraf mühiti aktiv şəkildə müşahidə etmək və təlim müddəti ərzində öyrənilən nəzəriyyənin praktiki şəkildə real mühidə tətbiq edilməsidir [1]. Həmçinin, qazanılmış biliyin bu və ya digər formada cəmiyyətdə yayılması prioritet təşkil edir. İlk olaraq, tələbələr bu bilikləri gündəlik həyatlarında tətbiq edib və cəmiyyətin digər fərdləri üçün nümunə ola bilərlər həmçinin, öyrəndikləri bilikləri sosial fəaliyyətlərdə sərgilərdə və sosial media vasitəsi ilə nümayiş etdirilə bilər. Buna misal olaraq, məişət tullantılarının idarə edilməsi ilə əlaqəli tələbələr məlumat verici model, afişa hazırlayıb sərgilərdə və təşkil edilən sosial fəaliyyətlərdə cəmiyyətin digər üzvlərinə nümayiş etdirib, məişət tullantılarının idarə edilməsində insan faktoru nə qədər önəmli olduğunu göstərilə bilər. Bu sosial fəaliyyətlərdə tələbələr təlim boyunca ətraf mühit və mühafizəsi ilə əlaqəli öyrəndikləri bilikləri iştirakçılar ilə paylaşa bilər [2] (Şəkil 1).



Şəkil 1. Məişət tullantılarının emalı əlaqəli tələbələrin hazırladığı afişa

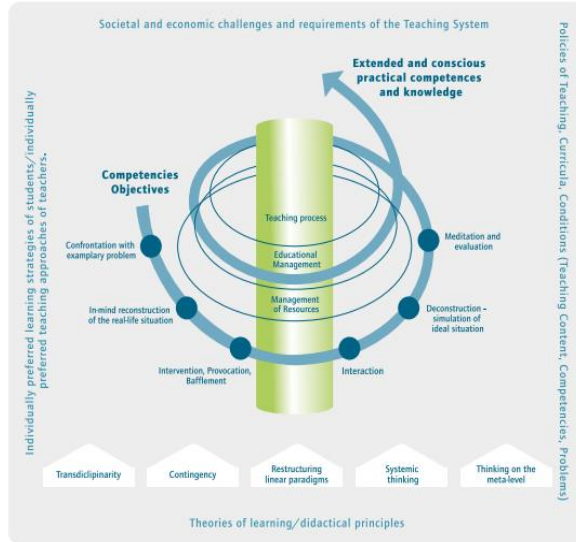


Yaşıl pedaqogika konsepsiyasının başa düşmək üçün aşağıdakı müddəalar və metodlar icra edilməsi tədris prinsiplərinə diqqət yetirək:

- Transdissiplinarlıq (fənnlərarası keçid)
- Ehtimallıq
- Xətti paradıqmaların yenidən qurulması
- Sistemli düşüncə
- Meta-düşüncə

Transdissiplinarlıq, fənnlərarası keçid anlayışı vurğulayır, məsələn, iqtisadiyyat və ingilis dili fənnləri arasında ingilis dilində davamlı resurslardan istifadə etmək əlaqəsini misal göstərmək olar. Tələbələr ətraf mühit ilə əlaqəli iqtisadi ilə bilikləri ingilis dilində, dünya təcrübəsində necə tətbiq edildiyi öyrənmiş olurlar. Ehtimallıq prinsipi hər bir vəziyyətin özünəməxsus olduğunu və buna görə də vahid optimal həll yolu olmadığını, təhlil edilən konkret vəziyyətin daxili və xarici aspektlərini nəzərə alan bir həll yolunun olduğunu qəbul edir. Bu, tələbələri müxtəlif kontekstə uyğun yanaşmalar hazırlamağa və ideya təklif etməyə təşviq edir. Xətti paradıqmalar öyrənilən biliyin yenidən qurulması və sistemli düşüncə isə davamlı fəaliyyət üçün vacib olan sistemli düşüncə, problemləri daha geniş sistem kontekstində təhlil etməyə və həll yollarına çatmaq üçün müvafiq aspektləri öyrənməyə təşviq edir. Nəhayət, meta-düşüncə, yəni "ideya haqqında düşünmək", davamlı düşüncə tərzini formalaşdırır, yeni həllərin inkişafını dəstəkləyir və getdikcə mürəkkəbləşən dünyada öz təfəkkür vərdişinin yaranmasını təşviq edir.

Yaşıl pedaqogika tədris sistemində tövsiyə olunan dərslər planlama strukturunu və ardıcılığını təmsil edən spiral modelində altı nöqtə ilə öyrənmə fəaliyyətinin planlanması üçün şablon Şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Yaşıl pedaqogika üzrə öyrənmə fəaliyyətinin planı

Bu pedaqoji yanaşma mövzu dərinliyi və tədqiqat genişliyini nəzərə alaraq, müzakirə və tənqidi təfəkkür üçün kifayət qədər zaman ayıran altı mərhələli prosesi özündə birləşdirən bir sıra dərslər üzrə tətbiq edilir. Belə dərin öyrənmə təcrübəsini 45 dəqiqə və ya 90 dəqiqəlik dərslər müddətində cəmləşdirməyə çalışmaq, tələbələrin ətraf mühit ilə əlaqəli mürəkkəb mövzuları tam dərk etməsi və kritik həllər hazırlaması üçün kifayət etməyəcək. Geniş mövzunu dərindən öyrənmək üçün ayrılan geniş vaxt çərçivəsində məsələ yaxşı dərk edilib və daha effektiv problem həll etmə bacarıqlarını tətbiq edilməsinə zəmin yaradır [3]. Bunun üçün, yaşıl pedaqogikanın prinsiplərinə uyğun olaraq dərslər 4 saat və kiçik istirahət aralıqları vasitəsi ilə icra edilir. Təməl prinsiplər bir-biri ilə əlaqəli olaraq, sistemli düşüncənin müəllimlər tərəfindən tələbələrə aşılamaqla ətraf mühitdə baş verən hadisələri analitik analizi və emosional aspektdən dərk etməsinə zəmin yaradır [3, s.16-17], [4, 5].

### Yaşıl pedaqogika tədrisi üzrə Vyana Kənd təsərrüfatı və Ətraf Mühit Pedaqogikası Universitet Kolleci təcrübəsi

Vyana Kənd təsərrüfatı və Ətraf Mühit Pedaqogikası Universitet Kollecinə tədris planı ekoloji davamlılıq və yaşıl pedaqogika prinsiplərini özündə əks etdirən dərslərin tədris edilməsi üzrə tərtib edilib. Tədris edilən fənnlər tələbələrin fərdi təcrübələrini ekoloji və iqtisadi anlayışlarla birləşdirərək gündəlik həyat fəaliyyətinin ətraf mühitə təsirinin öyrənilməsinə təşviq edir. Burada tələbələrə ekoloji anlayış aşılamaq üçün, müvafiq öyrənmə mühitləri vasitəsilə öz fəaliyyətlərinin subyektivi olmağa imkan verir, yəni tələbələr öz öyrənmə təcrübələrinə əsaslanaraq tapşırıqları aktiv şəkildə həll yolları axtarırlar və öz öyrənmə bacarıqlarını inkişaf etdirirlər. Yaşıl pedaqogikanın konsepsiya və metodları kənd və ev təsərrüfatı, biznes idarəçiliyi, eləcə də istehlak və regional inkişaf mövzularında dərslərin tədris edilməsi sözügedən təhsil ocağında icra edilir [3, s. 2-5]. Kollecdə tədris dili olaraq ingilis və alman dili istifadə edilir. İngilis dilində tədrisin təşkili ətraf mühit haqqında nəşrlər, universal tədqiqat, həmçinin terminologiyaları mənimsəmək üçün tətbiq edilir və bunun üçün ayrıca olaraq ingilis dili təlimləri təşkil edilir [4] (Şəkil 3).

Tədris metodologiyası yaşıl pedaqogika konseptinə əsaslanaraq altı hissədən ibarət olan ümumilikdə dörd saatlıq zaman aralığı tətbiq edilir. Dərs müddəti ərzində tələbələr ətraf mühit ilə əlaqəli müəyyən mövzular haqqında tapşırıqlar təqdim edir, kiçik qruplar şəkilində təqdim edilmiş mövzuların müzakirəsi edilir, müəyyən zaman daxilində müzakirə edilən mövzuların nəticəsi izah edilir və intellektual oyunlar ilə birlikdə tədris başa çatır.



Şəkil 3. İngilis dili tədrisi

Universitet ərazisinə yerləşən bağça mühiti tələbələrin çöl tədqiqatlarını icra etmək üçün müvafiq araşdırma obyektini kimi istifadə edilir. Təşkil edilən dərs və kurslarda tələbələr verilən tapşırıqlara əsasən bağçanın bioloji örtüyünə nəzər salıb çevrədə nə baş verdiyini başa düşməyə çalışırlar. Göründüyü kimi bir qrup tələbə rəhbər müəllim ilə birlikdə bağçada olan bitkilərin termal cihazın istifadəsi ilə temperaturu ölçməklə bitkilər arasında temperatur fərqi müəyyən edib verilən tapşırığı həll edirlər (Şəkil 4).



Şəkil 4. Termal cihazın istifadəsini öyrədilməsi

Tələbələrə verilən tapşırıqlar universitet daxili ekoloji mühiti anlamaqla yanaşı universitet xarici yəni şəhər mühitində baş verən prosesləri anlamaq üçün, universitetdən kənar təşkil edilən çöl tədqiqatları ilə həm çevrəni kəşf etmək həm də çevrə ilə əlaqəli problemləri dərk edib ideya paylaşmağa təşviq edən kurslar təşkil edilir. Şəkil 5-də görüldüyü kimi bir qrup tələbə Vyana çayı ətrafında kursda iştirak edirlər. Bu kursda əsas məqsəd Vyana şəhərində hər il baş verən çay daşqınlarını morfoloqiyasını yəni, daşqın ərazisində suyun səviyyəsi hansı həddə qədər qalxdığını və daşqın sonrası çevrədə hansı dəyişikliklər olduğunu başa düşməkdən ibarətdir. Burada çay daşqını baş vermiş ərazinin ekologiyası, biomüxtəlifliyi öyrənməklə olan bu və ya digər təbii fəlakətlər ilə bağlı ərazinin ekologiyasını əyani olaraq başa düşərək, baş verəcək fəlakətin fəsadları hansı səviyyədə izlər qoyduğu, və həmin ərazidə fəlakət sonrası icra edilmiş yenidənqurma işləri ilə yaxından tanış olub, kurs üzrə verilən tapşırığı tədqiqat obyektindən qeydlər almaqla aktiv şəkildə həll etmiş olurlar.



Şəkil 5. a) Vyana çayında su ötürücü kanallar; b) Çay ətrafı ərazinin ekologiyası üzrə tədqiqat

Beləliklə, ətraf mühitin qavranılması, eləcə də təhsil alanlarda ekosistemdə müşahidə olunan hadisələrin səbəb-nəticə prinsipinin formalaşdırılması yaşıl pedaqogikanın əsas göstəriciləri hesab oluna bilər. Tələbələr onları əhatə edən mühitdə olan yaşamı və dəyişiklikləri başa düşüb ətraf mühitə qarşı diqqətləri daha da artmış olur və həmçinin öz yaxın çevrəsi ilə qazandıqları yeni vərdişləri və məlumatları bölüşürlər. Bununla da, təlim və tədris sistemində ətraf mühitin mühafizəsini şüurlu idarə edilməsi əldə edilmiş olunur.

### **Azərbaycan təhsil sistemində Yaşıl pedaqogikanın tətbiq edilməsi**

Hazırda ölkəmizdə davamlı və insan potensialına əsaslanan inkişaf istiqamətində yeni tendensiyalar və yeni çağırışlar əmələ gəlmişdir. Davamlı inkişafın ətraf mühitin mühafizəsi ilə əlaqəli konsepsiyasında ətraf mühitin mühafizəsi ilə əlaqəli işlərin görüldüyü bellidir. Ancaq digər inkişaf etməkdə olan dövlətlər kimi, ölkəmizdə hələ də ətraf mühitin mühafizəsi ilə əlaqəli aktual məsələlər mövcuddur [5, s.144-145].

Azərbaycan təhsil sistemi kontekstində yaşıl pedaqogikaya təliminə əsaslanan fənnlərin tədrisi və həmin fənnlər ilə əlaqəli tapşırıqların aktiv şəkildə həll edilməsi tələbələr arasında ekoloji mühafizəkarlıq hissini inkişaf etdirməyə kömək edə bilər, onlara ətraf mühit ilə əlaqəli davamlılığı təmin etmək üçün emosional öhdəliyi və təbii dünyanı qorumaq istəyini aşılaya bilər. Tələbələr bilavasitə yerli mühitlə birləşdirən interaktiv, praktiki öyrənmə təcrübələri vasitəsilə yaşıl pedaqogika onları cəmiyyətdə ətraf mühitin mühafizəsi səylərində fəal iştirakçı olmağa ruhlandırma bilər. Məsələn, ev iqtisadiyyatı fənnin tədrisi ilə Bakı şəhəri üzrə önəmli ekoloji məsələlərdən biri olan məişət tullantılarının idarə edilməsi üzrə tələbələrə tapşırıq verilməsi nümunəsinə baxsaq tapşırıq həlli üçün

əyani olaraq tədqiqat obyektin araşdırılması, həmin ərazidən nümunə görüntülər əldə edilib və müəllimin öncədən hazırladığı tapşırıq vərəqində qeydlər edilərək məlumatların analiz nəticəsində təqdimat hazırlanmalıdır. Tapşırıq digər qrup əməkdaşları ilə birlikdə təhlil edilib mövcud problem ilə əlaqəli ideya və həllər əldə edilmiş olunar.

Ölkəmizdə ətraf mühit ilə əlaqəli problemlərin həlli üçün təhsil ocaqlarında yaşıl pedaqogikanın tətbiq edilməsi ilə ətraf mühit ilə əlaqəli nəzəri biliklərini real dünyadakı ekoloji çağırışlara tətbiqi və ətraf mühitin mühafizəsinin vacibliyini dərinlən dərk edərək tələbələrin çevrə ilə əlaqəli məsələlərlə əlaqəli müsbət dəyişikliklərə töhfə vermək üçün şəxsi məsuliyyət hissi inkişaf edəcəkdir.

### Nəticə

Müxtəlif perspektivləri özündə əks etdirən fənlərarası, sistemli elmi yanaşma, Yaşıl Pedaqogika şagirdlərə müvafiq öyrənmə mühitləri vasitəsilə öz fəaliyyətlərinin subyektivi olmağa imkan verir. Yaşıl pedaqogika əsas prinsipi tələbədə ətraf mühiti əyani olaraq kəşf edərək öz öyrənmə bacarığını inkişaf etdirməklə, ətraf mühiti dərinlən dərk etməsinə kömək edir. Vyana Kənd təsərrüfatı və Ətraf Mühit Pedaqogikası Universitet Kollecinə tədris planı yaşıl pedaqogikanın tətbiq edilməsində özünü doğruldur və yeri təhsil ocaqlarında sözügedən tədris planının tətbiq edilməsi ətraf mühitin dərk edilməsində və mövcud məsələlərə həll yolları tapmaqda stimül verəcəkdir.

### ƏDƏBİYYAT

1. Kantun S., Sedyati R.N. Improving Students' environmental care behavior through the Implementation of the green and clean school program in SMP Negeri 1 Jember. *Earth and Environmental Science*, 2019, Volume 243, 170 p.
2. Fox A., Wogowitsch C. *Green Pedagogy: Using Confrontation and Provocation to Promote Sustainability Skills*, Teacher Education in the 21st Century-Emerging Skills for a Changing World, IntechOpen, London. 2021, pp. 215-228.
3. Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik. *Green Pedagogy*. Vizerektorat für Umweltpädagogik, Weiterbildung und Forschung, Vienna. 2018, 42 p.
4. Kurniawati S., Rahayu A., Disman D., Supriatna N. How Does Student's Engagement Build Consumer Green Behavior?. 1st International Conference on Economics, Business, Entrepreneurship, and Finance (ICEBEF 2018), 2019, Volume 65, Bandung, Atlantis Press, pp. 290-292.
5. Jafarov S. Pedaqoji Elmlər Sistemində "Müqayisəli Pedaqogika" Anlayışı. The XIV International Scientific Symposium "A Person in History", 2021, pp. 143-147.

### YAŞIL PEDAQOGIKANIN ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİNDƏ ROLU

#### L.İ.Qarayeva

**Xülasə.** Davamlı inkişafın təmin edilməsində təhsilin rolu böyükdür. Gələcəyin formalaşmasında təhsilin əhəmiyyəti mütləqdir və cəmiyyətdə təhsil yolu ilə ekoloji şüurun yaranmasını təmin etmək üçün təkml sistem və metodların tətbiqi zəruriyyət təşkil edir. Vyana Kənd təsərrüfatı və Ətraf Mühit Pedaqogikası Universitet kollecində ətraf mühitin mühafizəsini təşviq etmək üçün ekoloji şüurun artırılması və davamlı inkişafa yönəlik yeniliklərin inteqrasiyası üçün tətbiq edilən yaşıl pedaqogikanın rolu əyani olaraq araşdırılmış və yerli təhsil ocaqlarında yaşıl pedaqogikanın tətbiq edilməsi təklif edilmişdir. Burada məqsəd yaşıl pedaqogikanın tədris metodologiya və prinsipləri ilə birlikdə tələbələrin ətraf mühitə dair davranışları ilə bağlı yeni vərdişlər formalaşdırmaq, yaşıl vətəndaşlıq hissini inkişaf etdirmək və icma əsaslı ekoloji təşəbbüslərin inkişafını təmin etmək yolları izah edilmişdir.

**Açar sözlər:** Yaşıl pedaqogika, ətraf mühitin mühafizəsi, Vyana Kənd təsərrüfatı və Ətraf Mühit Pedaqogikası Universitet Kolleci, ekologiya, ətraf mühit, pedaqogika, ev iqtisadiyyatı.

Accepted: 13.12.2024

## AZƏRBAYCANIN DÖVLƏT MALİYYƏSİNİN GÜCLƏNMƏSİNDƏ EFFEKTİV ENERJİ İSTEHSALININ ROLU: YAŞIL İQTİSADİYYATA KEÇİD STRATEGİYALARI

Röya Məmmədəli qızı Əmirova

Azərbaycan Respublikası Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası  
Bakı, Azərbaycan

### THE ROLE OF EFFECTIVE ENERGY PRODUCTION IN STRENGTHENING PUBLIC FINANCE OF AZERBAIJAN: STRATEGIES IN THE TRANSITION TO A GREEN ECONOMY

Roya Mammadali Amirova

Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan  
Baku, Azerbaijan: roya.amirova@fhn.gov.az  
<https://orcid.org/0009-0002-7690-5482>

**Abstract.** In Azerbaijan's transition to a green economy, dependence on quality fuels presents both challenges and opportunities. This paper examines the potential to strengthen public finances by improving production efficiency in the country's energy sector. In addition to reducing operating costs and improving energy efficiency, energy efficiency is also important for long-term fiscal stability and budget sustainability.

The introduction of efficiency technologies in Azerbaijan's oil and gas sector is important. Upgrading infrastructure, especially in sectors such as refining and construction, can reduce domestic energy consumption and reduce the country's dependence on volatility in global energy markets. In addition, the development of renewable resources such as solar and wind energy offers new sources of financing and energy security.

The paper also discusses the financial implications of energy efficiency measures and the importance of policy reforms and public-private partnerships to support this transition. It is emphasized that energy-efficient production plays a crucial role in the transition of Azerbaijan's economy to a green economy and in strengthening public finances.

**Keywords:** energy efficiency, Green economy, sustainable development, economic diversification, Azerbaijan Energy Policy.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Azərbaycanın iqtisadiyyatı uzun müddətdir ki, əsasən neft və qaz sektorlarının gəlirləri ilə formalaşmışdır. Bu sahələr ölkənin dövlət büdcəsinin əhəmiyyətli hissəsini təşkil edir və iqtisadi inkişafın təməl sütunlarından biri kimi çıxış edir. Lakin qlobal miqyasda baş verən yaşıl iqtisadiyyata keçid, xüsusilə ekoloji davamlılıq və bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsi sahəsində artan tələblər, ölkənin qalıtımlardan asılılığı problemini ortaya çıxarır. Neftin qiymətindəki dalğalanmalar və beynəlxalq ekoloji standartlar Azərbaycan üçün enerji istehsalında səmərəliliyi artırmaq və daha dayanıqlı bir iqtisadi sistem yaratmaq zərurətini ortaya qoyur. Hazırkı vəziyyətdə qalıtımlara əsaslanan enerji istehsalı ətraf mühit və dövlət maliyyəsi üçün çətinliklər yaratmağa davam edir.

Enerji səmərəliliyi daha geniş yaşıl iqtisadiyyata keçidin bir hissəsi kimi enerji xərclərini azaltmaqla, istehsal proseslərinin səmərəliliyini artırmaqla və yeni iqtisadi sektorlar yaratmaqla Azərbaycanın dövlət maliyyəsinin gücləndirmək imkanı yaradır. Burada enerjiyə qənaət edən istehsalın, xüsusilə yaşıl iqtisadiyyata keçid kontekstində Azərbaycanın iqtisadi sabitliyinə necə töhfə verə biləcəyini araşdırılır.

**Tədqiqatın məqsədi.** Bu tədqiqatın əsas məqsədi Azərbaycanın dövlət maliyyəsinin gücləndirilməsi üçün enerjinin effektiv istehsalının vacibliyini vurğulamaq və yaşıl iqtisadiyyata keçid strategiyalarını araşdırmaqdır. Xüsusi olaraq, enerji səmərəliliyinin artırılmasının, ölkənin fiskal dayanıqlığının təmin edilməsi və gəlir mənbələrinin şaxələndirilməsi baxımından necə təsirli olacağı incənlənir. Məqalədə həmçinin bərpa olunan enerji mənbələrinin, o cümlədən günəş və külək enerjisinin, ölkənin enerji təhlükəsizliyinə və iqtisadi inkişafına necə töhfə verə biləcəyi araşdırılır.

**Məsələnin həll üsulları və aprobeasiyası.** Məsələnin həlli üçün əsas yanaşmalardan biri neft və qaz sektorlarında infrastrukturun modernləşdirilməsi, enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiq edilməsi və bərpa olunan enerji mənbələrinə yönəlmiş investisiyaların artırılmasıdır. Enerji



səmərəliliyini artırmaq məqsədilə qabaqcıl texnologiyaların mənimsənilməsi və bu texnologiyaların sənaye və tikinti sahələrində tətbiqi vacibdir. Beynəlxalq təcrübələr göstərir ki, enerji səmərəliliyi ilə bağlı həyata keçirilən islahatlar və dövlət-özəl tərəfdaşlıqlar bu keçidin sürətlənməsinə təkan verə bilər. Bundan başqa, enerji səmərəliliyi sahəsində beynəlxalq əməkdaşlıq və sərmayələrin cəlb edilməsi də bu keçidin uğurlu olmasında mühüm rol oynayır.

### **Effektiv Enerji İstehsalında Qlobal Trendlər**

Qlobal miqyasda, ölkələr istixana qazı emissiyalarını azaltmaq və iqtisadi rəqabət qabiliyyətini artırmaq məqsədi daşdığından enerjiyə qənaət edən istehsal sürət qazanıb. Almaniya, Yaponiya və Danimarka kimi dövlətlər enerji səmərəliliyini sənaye siyasətlərinin təməli kimi qəbul etmişlər. Bu ölkələr istehsal, enerji istehsalı və nəqliyyat kimi sənaye sahələrində qabaqcıl texnologiyalar tətbiq edərək, onların karbon izlərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldıb və əməliyyat xərclərini aşağı salıblar. Tədqiqatlar göstərir ki, enerji səmərəliliyi birbaşa olaraq daha yüksək məhsuldarlığa və aşağı enerji xərclərinə töhfə verir, onu davamlı iqtisadi artım üçün əsas halına gətirir.

Azərbaycanın enerji sektorunda əhəmiyyətli olaraq qalıq yanacaq üstünlük təşkil edir. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin (IEA) məlumatına görə, 2023-cü ilə kimi, təbii qaz və neft məhsulları ölkədə ümumi son enerji istehlakının (TFC) təxminən 82%-ni, təkcə təbii qazın 43%-ni və neft məhsulları 39%-ni təşkil edir. TFC-nin 15%-ni təşkil edən elektrik enerjisi əsasən qalıq yanacaqlardan əldə edilir, bərpa olunan enerji mənbələri, o cümlədən hidroenergetika ümumi elektrik enerjisi təchizatının yalnız 6%-ni təşkil edir.

Ölkənin ümumi istixana qazları (İQ) emissiyaları, ilk növbədə, enerji istehsalı üçün qalıq yanacaqlardan asılı olduğuna görə əhəmiyyətlidir. Azərbaycan iqlim dəyişikliyi üzrə Paris sazişi çərçivəsində götürdüyü öhdəliklərin bir hissəsi olaraq 2030-cu ilə qədər 1990-cı il səviyyəsindən 35%, 2050-ci ilə qədər isə 40% İXQ emissiyalarını azaltmağı öhdəsinə götürmüşdür. Bu məqsəd bərpa olunan enerjiyə və təkmilləşdirilmiş enerji səmərəliliyinə əsaslı keçidi tələb edir.

2022-ci ildə Azərbaycanda elektrik enerjisi istehsalı 90%-dən çoxu təbii qazdan olmaqla 29 teravatt-saata (TWh) çatıb. Ölkənin yeganə neft emalı zavodu həmin il yerli xam neft və təbii qaz mayelərindən təxminən 6,5 milyon ton neft məhsulları istehsal etmişdir. Azərbaycan həm də 2022-ci ildə 26,6 milyon ton xam neft və 22,6 milyard kubmetr təbii qaz ixrac etməklə əsas xam neft və təbii qaz ixracatçısıdır (IEA, 2022) [1].

### **Resurslarla Zəngin İqtisadiyyatlarda Enerji Səmərəliliyi**

Səudiyyə Ərəbistanı, Norveç və Qətər də daxil olmaqla resurslarla zəngin iqtisadiyyatlar qalıq yanacaq ixracından asılılığı azaltmaq və ətraf mühitlə bağlı öhdəlikləri yerinə yetirmək üçün enerji səmərəliliyini getdikcə daha çox inkişaf strategiyalarına daxil edirlər. Məsələn, Səudiyyə Ərəbistanının Vizyon 2030 təşəbbüsü neft hasilatı, istehsal və tikinti daxil olmaqla müxtəlif sektorlarda enerji səmərəliliyini vurğulayır. Böyük neft ixracatçısı olan Norveç öz təbii ehtiyatlarından istifadə etməklə, həm də ətraf mühitə təsirini azaltmaqla enerji baxımından səmərəli istehsal və bərpa olunan enerjiyə böyük sərmayə qoyub (Dünya Bankı, 2021) [2].

### **Azərbaycanın Enerji Mənzərəsi**

Azərbaycan əhəmiyyətli olaraq həm daxili enerji ehtiyacları, həm də ixracat üçün qalıq yanacaqlara, xüsusilə neft və təbii qaza arxalanır. Enerji hasilatı, xüsusilə neft və təbii qaz, tarixən Azərbaycan iqtisadiyyatının təməli daşı olmuşdur. Bu, ölkənin ÜDM-nin, ixracının və dövlət gəlirinin əhəmiyyətli hissəsini təşkil edir. Ölkənin neft hasilatı və emalı, eləcə də ağır sənaye kimi yüksək enerji istehlakı sektorları enerji səmərəliliyinin artırılması üçün əhəmiyyətli imkanlar təqdim edir. Azərbaycan bərpa olunan enerji sahəsində müəyyən irəliləyişlər əldə etsə də, enerjiyə qənaət edən texnologiyaların mənimsənilməsi məhdud olaraq qalır. Enerji səmərəli infrastrukturun inkişafı Azərbaycanın yaşıl iqtisadiyyata keçidində mühüm dayaq rolunu oynaya bilər (Azərbaycanın Energetika Nazirliyi, 2022) [3].

### Azərbaycanda Cari Enerji İstehlakı və İstehsalı

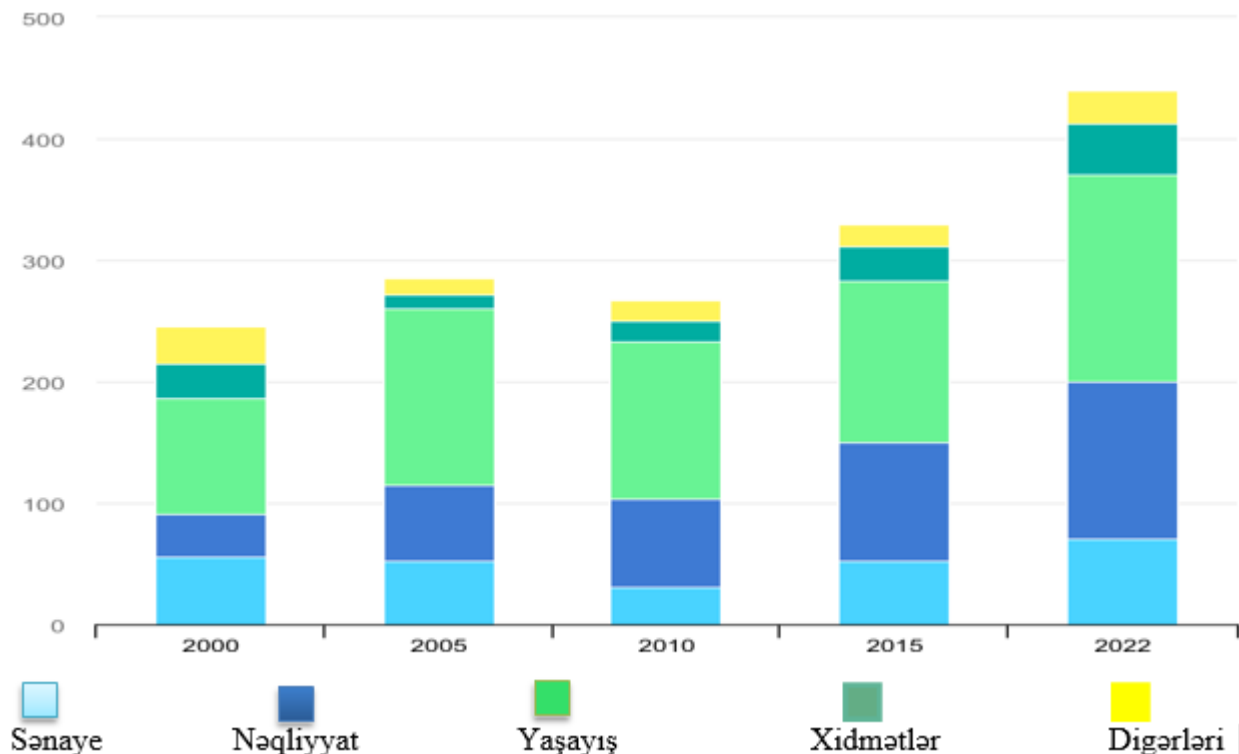
Azərbaycanın enerji sektorunda qalıq yanacaq istehlakı üstünlük təşkil edir. Əhəmiyyətli neft və qaz istehsalçısı olmasına baxmayaraq, ölkə xüsusilə neft emalı, kimya istehsalı və ağır sənaye kimi sənaye sahələrində enerjiden istifadədə səmərəsizliklə üzləşir. Enerji səmərəli istehsala keçid bu sektorların enerji sıxlığını azalda bilər, həm dövlət, həm də özəl müəssisələr üçün resursları azad edə və xərcləri azalda bilər.

Azərbaycanın enerji intensivliyi orta dünya səviyyəsindən və Şərqi Tərəfdaşlığı (ŞT) regionunda ən aşağı səviyyədə olsa da, neft və qaz ixracının ÜDM-də yüksək payı ölkə üçün səmərəlilik göstəricisi kimi enerji intensivliyinin faydalılığını zəiflədir. Əhali və ÜDM artımını əks etdirən ümumi yekun enerji istehlakı (TFEC) 2000-ci ildən bəri davamlı olaraq artmışdır, xüsusən də yaşayış binalarında və nəqliyyatda, bu sektorlarda güclü enerji tələbatının artımını əks etdirir.

Ümumi yekun enerji istehlakı (TFEC-i) yanacaq baxımından təhlil etsək, təbii qaz bütün sektorlarda ən çox istifadə olunur və onun payı 2000-ci ildə ümumi illik istehlakın 52%-dən 2022-ci ildə 47%-ə enmişdir. Bununla belə, bu müddət ərzində illik qaz istifadəsi 61% artmışdır. Motor benzininin istifadəsi isə həm nisbi, həm də mütləq mənada ən çox artıb: onun payı 2000-ci ildəki TFEC-in 6%-dən 2022-ci ildə 16%-ə qədər, demək olar ki, üç dəfə artıb, avtomobil parkı dörd dəfə genişləndiyi üçün illik istehlak 2000-2022-ci illər arasında təxminən beş dəfə artıb. İllik istehlak 40% artsa da, elektrik enerjisinin payı dövr ərzində 17-21% səviyyəsində nisbətən sabit qalmışdır (IEA, 2023) [4].

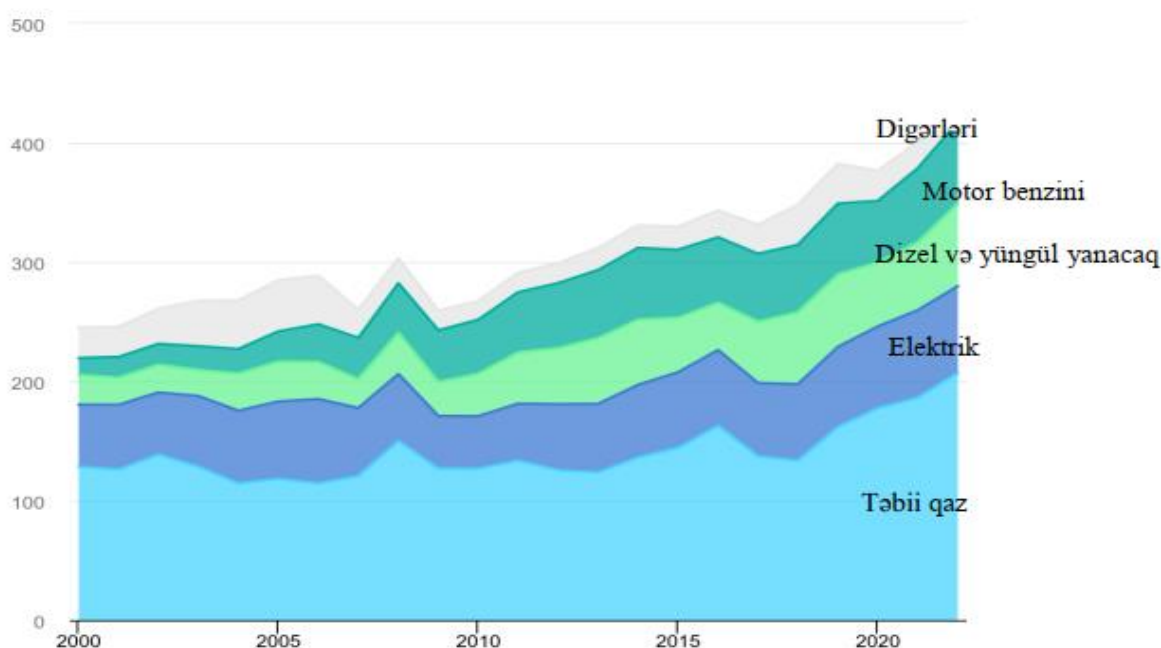
### Əsas Sektorlarda Enerji Səmərəliliyi İmkanları

Azərbaycanın sənaye sektoru enerji səmərəliliyinin artırılması üçün mühüm imkanlar təqdim edir. Ağıllı şəbəkələr, enerji idarəetmə sistemləri və proseslərin optimallaşdırılması kimi texnologiyalar neft emalı, metallurjiya və kimya sənayesində enerji istehlakını azaltmağa kömək edə bilər. Bundan əlavə, daha çox enerjiyə qənaət edən binaların tikintisi və günəş və külək kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin qəbulu ümumi enerji tələbatının azalmasına töhfə verə bilər.



Azərbaycanda sektorlar üzrə ümumi yekun enerji istehlakı, 2000-2022





Azərbaycanda enerji mənbəyi üzrə ümumi yekun enerji istehlakı, 2000-2022

Neft-qaz sektorunda enerji səmərəliliyinə hasilat və emal texnologiyalarının modernləşdirilməsi yolu ilə nail olmaq olar. Məsələn, neft emalı zavodlarında enerjiyə qənaət edən kompressorların, istilik dəyişdiricilərinin və nasosların istifadəsi enerji istehlakını 15-20% azalda bilər (BP, 2022) [5]. Eynilə, təbii qazın hasilatı və emalı zamanı enerjidən istifadənin optimallaşdırılması emissiyaları azaltmaqla yanaşı, əməliyyat xərclərini də azalda bilər.

### Yaşıl İqtisadiyyata Keçidin Maliyyə Nəticələri

Enerji səmərəli istehsalın Azərbaycanın dövlət gəlirlərinə birbaşa maliyyə təsiri var. Enerji istehlakını azaltmaqla əsas sənaye sahələrində istehsal xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salmaq, Azərbaycanın ixracatının rəqabət qabiliyyətini artırmaq olar. Bundan əlavə, enerji səmərəliliyinin mənimsənilməsi daxili istehlakı azaltmaqla enerji ixracının artmasına gətirib çıxara bilər ki, bu da enerji istehsalının daha böyük hissəsinin beynəlxalq səviyyədə satılmasına imkan yaradır (Azərbaycan Dövlət Neft Fondu, 2022) [6].

Enerji səmərəliliyi Azərbaycan iqtisadiyyatının şaxələndirilməsini dəstəkləyir ki, bu da onun dəyişkən neft qiymətlərindən asılılığını azaltmaq üçün vacibdir. Enerji səmərəli istehsal texnologiyalarına investisiya enerjiyə qənaət edən avadanlıqların istehsalı və ya bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı kimi yeni sənaye sahələri yarada bilər, əlavə gəlir axını və məşğulluq imkanları yarada bilər (Dünya Bankı, 2021) [7].

Uzunmüddətli perspektivdə enerjiyə qənaət edən istehsal əməliyyat xərclərini azaltmaqla və global enerji qiymətlərindəki dalğalanmalarla bağlı riskləri azaltmaqla fiskal davamlılığa töhfə verir. Bundan əlavə, enerji səmərəliliyi karbon vergiləri və ya beynəlxalq ekoloji müqavilələrə əməl edilməməsinə görə cərimələr kimi enerji istehsalı ilə bağlı ekoloji xərcləri azaldır.

### İnfrastruktur və Texnoloji Məhdudiyyətlər

Azərbaycanın enerjiyə qənaət edən istehsal infrastrukturunu xüsusilə ağır sənaye sahələrində zəif inkişaf etmişdir. İstehsal sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və enerjiyə qənaət edən texnologiyaların quraşdırılması ilə bağlı ilkin məsrəflər xüsusilə kiçik və orta müəssisələr (KOB) üçün böyük ola bilər (Azərbaycan Ticarət və Sənaye Palatası, 2023) [8]. Bununla belə, beynəlxalq maliyyə yardımı və investisiya bu boşluğu aradan qaldırmağa kömək edə bilər.

Azərbaycanda mövcud siyasət və qaydalar enerji səmərəliliyi üçün məhdud stimullarla qalıq yanacaq istehsalına üstünlük verir. Əhəmiyyətli siyasət islahatları, o cümlədən enerji səmərəliliyi standartlarının və vergi güzəştlərinin tətbiqi olmadan enerjiyə qənaət edən istehsala keçid yavaş ola bilər. Enerji səmərəliliyinə özəl sektor investisiyalarını təşviq etmək və beynəlxalq davamlılıq məqsədlərinə uyğunlaşdırmaq üçün aydın tənzimləyici çərçivə lazımdır (OECD, 2023) [9].

Enerji səmərəli istehsala keçidi dəstəkləmək üçün Azərbaycan hökuməti enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiqini stimullaşdıran siyasət həyata keçirməlidir. Buraya enerjiyə qənaət edən infrastrukturaya sərmayə qoyan şirkətlər üçün vergi güzəştləri, bərpa olunan enerji layihələri üçün subsidiyalar və sənaye sektorları üçün daha sərt enerji səmərəliliyi standartları daxil ola bilər.

### **Bərpa Olunan Enerji və Yaşıl Texnologiyalara İnvestisiya**

Azərbaycan daha geniş enerji səmərəliliyi strategiyasının bir hissəsi kimi bərpa olunan enerjiyə investisiyalara üstünlük verməlidir. Külək və günəş enerjisi ölkənin qalıq yanacaqlardan asılılığını azaltmaq üçün əhəmiyyətli potensial təklif edir. Bundan əlavə, enerjiyə qənaət edən texnologiyalar üçün tədqiqat və təkmilləşdirməyə (R&D) sərmayə qoymaq uzunmüddətli davamlılığa nail olmaq üçün çox vacib olacaqdır.

Bir neçə layihə vasitəsilə BP və Nobel Energy Azərbaycanın bərpa olunan enerji sənayesinə böyük sərmayələr qoyublar. 2 milyon ABŞ dolları məbləğində maliyyə vəsaiti ilə BP və Azərbaycan Təhsil Nazirliyi yaxınlıqdakı müəssisədə bərpa olunan enerji üzrə yeni magistr proqramı açmaq üçün əməkdaşlıq ediblər [10]. Nobel Energy 25 il ərzində 1.170.000 ton karbon emissiyasını azaltmaq üçün Cəbrayılada 100 MVt gücündə günəş elektrik stansiyası ilə irəliləyir. Şirkət həmçinin Naxçıvanda 400 MVt gücündə günəş elektrik stansiyalarının yaradılması üçün Energetika Nazirliyi ilə müqavilə imzalayıb.

### **Beynəlxalq Əməkdaşlıq və Dövlət-Özəl Tərəfdaşlıq**

Azərbaycanın enerji səmərəliliyi təşəbbüslərinin maliyyələşdirilməsi üçün beynəlxalq tərəfdaşlıq mühüm əhəmiyyət kəsb edəcək. Dövlət-özəl tərəfdaşlıq (PPP) həm də irimiqyaslı enerjiyə qənaət edən layihələr üçün lazım olan resursların səfərbər edilməsində mühüm rol oynaya bilər. Dünya Bankı və Beynəlxalq Enerji Agentliyi (IEA) kimi beynəlxalq təşkilatlarla əməkdaşlıq Azərbaycana enerji səmərəli istehsal sistemlərinin tətbiqi üçün lazım olan texniki təcrübə və maliyyə dəstəyi verə bilər [11].

**Alınan nəticələrin tətbiqi.** Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, enerji səmərəliliyinin artırılması Azərbaycanın əsas sənaye sahələrində xərcləri azaltmağa, daxili enerji istehlakını minimuma endirməyə və ölkənin enerji ixrac potensialını artırmağa imkan verir. Enerji istehlakının azalması ölkənin global enerji bazarlarında rəqabət qabiliyyətini artırır və iqtisadi dayanıqlığı təmin edir. Enerji səmərəliliyinin artırılması ilə iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi və yeni sənaye sahələrinin inkişafı üçün əlavə imkanlar yaranır. Bu, həm də dövlət büdcəsinə uzunmüddətli sabitlik gətirə bilər.

### **Nəticə**

Enerji səmərəliliyinin artırılması və yaşıl iqtisadiyyata keçid Azərbaycanın dövlət maliyyəsinin gücləndirilməsində mühüm rol oynayır. Qalıq yanacaqlardan asılılığın azaldılması və bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid ölkənin iqtisadi sabitliyini və dayanıqlığını təmin etmək üçün strateji bir fürsətdir. Enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiqi, siyasət islahatları və beynəlxalq əməkdaşlıq bu məqsədlərə çatmaq üçün vacib addımlardır. Bu istiqamətdə atılan hər bir addım Azərbaycanın global davamlılıq hədəflərinə uyğun inkişafını təmin edəcək və ölkənin fiskal sabitliyinə əhəmiyyətli töhfə verəcəkdir.

### **ƏDƏBİYYAT**

1. Energy efficiency policy in Azerbaijan: A Roadmap. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-in-azerbaijan-a-roadmap>
2. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/12/08/azerbaijan-can-accelerate-its-green-economic-transformation-a-world-bank-report-shows-how>
3. Azerbaijan Ministry of Energy. (2022). Energy Strategy for 2030: Towards a Sustainable Future.

4. Advancing energy efficiency in Azerbaijan <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-policy-in-azerbaijan-a-roadmap/advancing-energy-efficiency-in-azerbaijan>
5. BP, 2022. [https://www.bp.com/en\\_az/azerbaijan/home/who-we-are/bp-in-azerbaijan.html](https://www.bp.com/en_az/azerbaijan/home/who-we-are/bp-in-azerbaijan.html)
6. Azərbaycan Dövlət Neft Fondu, 2022. <https://www.oilfund.az/>
7. World Bank. (2021). Transition to a Green Economy: Policies and Strategies for Developing Countries.
8. Azərbaycan Ticarət və Sənaye Palatası, 2023 <https://www.chamber.az/>
9. OECD, 2023. <https://www.oecd.org/en.html>
10. Global Energy Solutions starts its next project for BP Azerbaijan, Nobel Energy, January 23, 2018 <https://nobelenergy.com/media/news/global-energy-solutions-starts-its-next-project-for-bp-azerbaijan-48>
11. Azerbaijan's Public-Private Partnerships for Sustainable Development, 14 august 2024 <https://sdg.iisd.org/commentary/generation-2030/azerbaijans-public-private-partnerships-for-sustainable-development/#:~:text=Azerbaijan%20is%20making%20significant%20strides,at%20improving%20energy%20efficiency%20in>

## AZƏRBAYCANIN DÖVLƏT MALİYYƏSİNİN GÜCLƏNMƏSİNDƏ EFFEKTİV ENERJİ İSTEHSALININ ROLU: YAŞIL İQTİSADİYYATA KEÇİD STRATEGİYALARI

R.M.Əmirova

**Xülasə.** Azərbaycanın yaşıl iqtisadiyyata keçid dövründə qalıq yanacaqlardan asılılığı həm çətinliklər, həm də yeni imkanlar yaradır. Bu məqalə ölkənin enerji sektorunda səmərəli istehsalın artırılması ilə dövlət maliyyəsinin gücləndirilməsi potensialını araşdırır. Enerji səmərəliliyi əməliyyat xərclərini azaltmaq və enerji məhsuldarlığını yüksəltməklə yanaşı, uzunmüddətli fiskal sabitlik və iqtisadi dayanıqlıq üçün vacibdir.

Azərbaycanın neft və qaz sektorunda səmərəlilik texnologiyalarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə neft emalı və tikinti kimi sahələrdə infrastrukturun yenilənməsi daxili enerji istehlakını azaltmaq və ölkənin global enerji bazarlarındakı qeyri-sabitlikdən asılılığını aşağı salmaq potensialına malikdir. Bundan əlavə, günəş və külək enerjisi kimi bərpa olunan mənbələrin inkişafı yeni maliyyə mənbələri və enerji təhlükəsizliyi təklif edir.

Məqalədə həmçinin enerji səmərəliliyi tədbirlərinin maliyyə nəticələri və bu keçidi dəstəkləyən siyasət islahatları, dövlət-özəl tərəfdaşlıqların əhəmiyyəti müzakirə olunur. Azərbaycanın iqtisadiyyatının yaşıl iqtisadiyyata keçidində və dövlət maliyyəsinin gücləndirilməsində enerjiyə qənaət edən istehsalın həlledici rol oynadığı vurğulanır.

**Açar sözlər:** enerji səmərəliliyi, Yaşıl iqtisadiyyat, Davamlı inkişaf, iqtisadi diversifikasiya, Azərbaycanın Enerji Siyasəti.

*Accepted: 14.11.2024*

## İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN TƏBİİ VƏ TEXNOLOJİ RİSKLƏRİNİN MİNİMUMLAŞDIRILMASI

Naridə Qaçay qızı Zülfüqarova

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

### MINIMIZING NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS OF CLIMATE CHANGE

Narida Gachay Zulfugarova

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: naridezulfugarova@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-1550-854X>

**Abstract.** The article explores the impact of climate change on transportation systems, emphasizing that these effects stem from both natural and technological risks. The study discusses the importance of electric transportation and its role in addressing ecological issues. Innovative solutions based on the principles of sustainability in logistics, supply chains, and transportation infrastructure are presented. Raising ecological awareness in residential areas and promoting electric vehicles are highlighted as key areas of focus. The article indicates that effective risk management, the application of alternative energy sources, and the expansion of green initiatives are crucial factors in combating climate change.

**Keywords:** Climate change, transportation systems, natural risks, technological risks, electric vehicles, ecological awareness, green initiatives, sustainable energy sources, risk management.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Giriş

İqlim dəyişikliklərinin nəqliyyat sistemlərinə təsiri müasir dövrdə aktual məsələlərdən biridir. Bu təsirlər yalnız ekoloji deyil, həm də iqtisadi və sosial aspektlərdə mühüm rol oynayır. İnsan faktoru, təbii hadisələr və texnoloji çatışmazlıqlardan qaynaqlanan risklər nəqliyyatın hər bir növündə mövcuddur. Təbii risklər hava şəraitindən asılı olaraq avtomobil yollarının buz bağlaması və duman səbəbindən törənən qəzalar, dəniz nəqliyyatında fırtına və yüksək dalğaların təhlükəsi, iqlim dəyişikliyinə nəqliyyat infrastrukturalarına təsiri, daşqınlar nəticəsində yolların və körpülərin zədələnməsidir. Texnoloji risklər avtomatlaşdırılmış nəqliyyat vasitələrinin texniki nasazlıqları, əsaslı təmir edilməmiş yolların qəzalara səbəb olması, təmir yolu nəqliyyatında siqnalizasiya sistemlərindəki nasazlıqlardır. İnsan faktoru sürücü yorğunluğu, sürət həddinin aşılması, təhlükəsizlik qaydalarına əməl etməmək, yük nəqliyyatında düzgün olmayan yük paylanması səbəbindən qəza risklərinə səbəb olur.

Bu tədqiqatın məqsədi yaşayış məntəqələrində yaşıl dünyanın təşviqi kontekstində ekoloji şüurun artırılmasında elektrik nəqliyyatının və eko nəqliyyat təşəbbüslərinin rolunu araşdırmaqdır. Məqsəd, iqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə elektrik nəqliyyat vasitələrinin əhəmiyyətini vurğulamaq, onların tətbiqinin ekoloji problemlərin həllinə töhfə vermək potensialını dəyərləndirmək və COP 29-un məqsədlərinə uyğun olaraq bu təşəbbüslərin genişləndirilməsini təşviq etməkdir [4]. Araşdırma nəticələrinə görə, iqlim dəyişikliyi və ətraf mühitin çirklənməsi ilə mübarizədə təhsil müəssisələrinin rolu böyükdür. Ekoloji şüurun artırılması və elektrik nəqliyyatının təşviqi mühüm addımlardandır. Araşdırmalara görə Azərbaycanda 1,5 milyondan çox minik avtomobili var, onlardan 80%-i 10 ildən çoxdur ki, istismar edilir, belə nəqliyyat vasitələri atmosfərə yüksək karbon emissiyası verir. Köhnə avtomobillərin tədricən dayandırılması və ya azaldılması, elektrik nəqliyyatı ilə əvəz edilməsi ekoloji problemləri nisbətən azalda bilər [10].

İqlim dəyişikliyi həm qlobal, həm də regional səviyyədə ətraf mühitə və cəmiyyətlərə əhəmiyyətli təsirlər göstərir. Aşağıda qlobal və Azərbaycan üzrə iqlim dəyişikliyi ilə bağlı əsas statistik göstəricilər təqdim olunur:

Qlobal Səviyyədə:

- Orta Temperatur Artımı: XX əsrin ortalarından etibarən Yer kürəsinin orta temperaturu təxminən 1,1°C artmışdır. Bu artımın əsas səbəbi insan fəaliyyəti nəticəsində atmosfərə buraxılan istixana qazlarının konsentrasiyasının yüksəlməsidir.

- Dəniz Səviyyəsinin Yüksəlməsi: 1901-2018-ci illər arasında qlobal dəniz səviyyəsi orta hesabla 20 sm yüksəlmişdir. Bu, buzlaqların əriməsi və okean sularının istiləşməsi nəticəsində baş vermişdir.
- Ekstremal Hava Hadisələri: Son onilliklərdə quraqlıq, daşqın, istilik dalğaları və tropik siklonlar kimi ekstremal hava hadisələrinin tezliyi və şiddəti artmışdır. Bu hadisələr insan həyatı, kənd təsərrüfatı və infrastruktur üçün ciddi təhlükələr yaradır.

Azərbaycan Respublikası BMT-nin İqlim Dəyişmələri üzrə Çərçivə Konvensiyasına qoşulmuş və Paris Sazişini ratifikasiya etmişdir. Ölkə 1990-cı il baza ili ilə müqayisədə 2030-cu ilə qədər istixana effekti yaradan qaz emissiyalarını 35% azaltmağı hədəfləmişdir.

### Logistika və Təchizat zənciri riskləri

Logistika və təchizat zənciri, iqlim dəyişikliklərinin yaratdığı çətinliklərdən ciddi təsirlənir. İqlim dəyişiklikləri logistika sahəsinə təsirini və nəqliyyat proseslərinə əhəmiyyətli potensial problemlə risklər yaradır, təchizat zəncirinin fasilələr verməsi və hətta qırılması ilə nəticələnir. Təchizat zəncirinin davamlılığını qorumaq üçün risklərin düzgün qiymətləndirilməsi və innovativ texnologiyaların tətbiqi vacibdir [5].

2000-2022-ci illər arasında logistika və təchizat zənciri riskləri ilə bağlı statistik məlumatları ümumiləşdirilmiş şəkildə aşağıdakı kimi təsvir etmək olar [13]:

*Cədvəl 1*

2000-2022-ci illər arasında logistika və təchizat zənciri riskləri

İl	Əsas Risklər	Təsirlər	Misallar
2000	Təchizat zəncirlərinin qloballaşması	Gecikmələr, yüksək logistika xərcləri	Çin istehsalının artması ilə logistik problemlər
2008	Qlobal maliyyə böhranı	Təchizat axınlarının dayanması, xərclərin artması	Beynəlxalq şirkətlərin iflası
2010	Təbii fəlakətlər	Təchizat pozulmaları, istehsalın dayanması	Haiti zəlzələsi
2011	Fukusima nüvə fəlakəti	Yaponiyada avtomobil istehsalının dayanması	Toyota və Honda istehsal fasilələri
2020	COVID-19 pandemiyası	Təchizat zəncirlərində kəsilmələr	Çindən malların daşınmasında çətinliklər
2021	Suez Kanalı hadisəsi	Beynəlxalq logistikanın dayanması	Ever Given gəmisinin bloklaması
2022	Geosiyasi gərginliklər (Rusiya-Ukrayna münaqişəsi)	Yanacaq qiymətlərinin artması, gecikmələr	Avropaya enerji təchizatında problemlər

2000-2022-ci illər arasında logistika və təchizat zənciri risklərinin sektorlara təsiri cədvəl 2-də olduğu kimi ümumiləşdirilə bilər.

Cədvəldən aydın olur ki:

- Yüksək riskli sektorlar: Elektronika, avtomobil sənayesi və enerji sektoru təchizat zənciri pozuntularına qarşı daha həssasdır [11].
- Orta riskli sektorlar: Tikinti və ərzaq sektorları müxtəlif risklərlə mübarizə aparmalı olur.
- Daha az riskli sektorlar: Xidmət sahəsi kimi sektorlar qlobal logistika problemlərindən nisbətən az təsirlənir [12].

İqlim dəyişikliklərinin təsirini azaltmaq və təbii, texnoloji risklərin idarə edilməsi üçün effektiv bir metodologiya aşağıdakı mərhələlər üzrə təqdim olunur:

1. Problemin Təyini və Məqsədin Məlumatlandırılması
2. Risklərin İdentifikasiyası
3. Risklərin Qiymətləndirilməsi
4. Prioritetlərin Müəyyənəndirilməsi
5. İnnovativ Həllər və Strategiyalar

- a. Yaşıl Texnologiyalar: Günəş panelləri və külək turbinləri kimi alternativ enerji mənbələrinin genişləndirilməsi.
  - b. Erkən Xəbərdarlıq Sistemləri: Sel və istilik dalğalarını izləmək üçün rəqəmsal monitorinq sistemlərinin tətbiqi.
  - c. Səmərəli Suvarma Sistemləri: Su ehtiyatlarının daha yaxşı idarə edilməsi.
6. İdarəetmə Çərçivəsinin
  7. Monitorinq və Dəyərləndirmə
  8. Təcrübə Mübadiləsi [17].

Cədvəl 2

Logistika və təchizat zənciri risklərinin sektorlara təsiri

Sektor	Risk Təsiri	Misallar
<b>Avtomobil Sənayesi</b>	- Təbii fəlakətlər və pandemiyalar avtomobil hissələrinin təchizatında gecikmələrə səbəb olmuşdur.	Fukusima nüvə fəlakəti (2011) nəticəsində Toyota və Honda istehsal fasilələri.
<b>Ərzaq və Kənd Təsərrüfatı</b>	- Qlobal iqlim dəyişiklikləri və logistika pozuntuları ərzaq məhsullarının çatdırılmasında çətinliklər yaratmışdır.	COVID-19 pandemiyası zamanı kənd təsərrüfatı məhsullarının təchizatında qıtlıq.
<b>Enerji Sənayesi</b>	- Geosiyasi gərginliklər enerji təchizatında fasilələrə və qiymət artımlarına səbəb olmuşdur.	Rusiya-Ukrayna münaqişəsi (2022) nəticəsində Avropada qaz tədarükündə çətinliklər.
<b>Elektronika Sənayesi</b>	- Çip çatışmazlığı elektronika istehsalını əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmişdir.	COVID-19 pandemiyası dövründə global çip çatışmazlığı səbəbindən istehsalın dayanması.
<b>Tikinti və İnfrastruktur</b>	- Materialların təchizatında gecikmələr tikinti layihələrinin ləngiməsinə səbəb olmuşdur.	Pandemiya dövründə tikinti materiallarının qiymətində əhəmiyyətli artım.
<b>Sağlamlıq və Dərman Sənayesi</b>	- Pandemiya zamanı dərman və tibbi avadanlıqların təchizatında problemlər müşahidə olunmuşdur.	COVID-19 dövründə vaksin istehsalı və paylanması gecikmələri.
<b>Pərakəndə Ticarət</b>	- Təchizat zəncirində gecikmələr pərakəndə sektorunda məhsul çatışmazlığına səbəb olmuşdur.	Suez Kanalı hadisəsi (2021) pərakəndə satış şirkətlərinin məhsul gecikmələri ilə üzləşməsinə səbəb oldu.

Risklərin idarə edilməsi sahəsində beynəlxalq əməkdaşlıq genişləndirilməli, təcrübə mübadiləsi üçün regional və global forumlarda iştirak təmin edilməlidir. Təlim proqramlarının təşkili də iqlim dəyişikliklərinə adaptasiya bacarıqlarını artırmağa kömək edəcəkdir [18]. Bildiyimiz kimi, Avtomobillərin zərərli maddələrinin 80%-i yaşayış məntəqələrinə atılır. Bir minik avtomobili ildə təqribən 15 min km yol qət edərsə 4 tona qədər oksigen qəbul edir və atmosfərə 3 ton CO<sub>2</sub>, 500 kq CO, 200 kq-a yaxın karbohidratlar, 40 kq azot oksidi və 10 kq rezin tozu xaric edir. Dünya miqyasında avtomobillər il ərzində 2,1 mlrd ton yanacaq istifadə edərək 700 mln ton zərərli maddələr ifraz edir. Beynəlxalq təşkilatlar avtonəqliyyat vasitələrinə qoyulan ekoloji tələbləri sərtləşdirir, bu da zərərli emissiyaların azaldılmasına yönəlmiş tədbirləri əhatə edir [3].

Yaşıl rəng, ekoloji təmizliyi, təbiətə dost yanaşmanı ifadə edir. İqlim dəyişikliyi ilə mübarizənin əhəmiyyətini və ekoloji şüurun artırılmasının müsbət təsirlərini vurğulamaq vacibdir. Bu baxımdan, yaşayış məntəqələrində yaşıllıqların artması, elektrik nəqliyyat vasitələrinin populyarlığının artması və yaşıl enerji mənbələrinin istifadəsi genişlənməlidir. Yaşıl rəngli təşəbbüslərin əhəmiyyəti artırılmalıdır, çünki yaşıl rəng ekoloji şüurun artmasına və insanların ətraf mühitə daha çox diqqət yetirməsinə səbəb olur. Eko nəqliyyatın tətbiqi də yaşıl rəngin təşviqi üçün vacibdir [7].

**Elektrik nəqliyyatının effektivliyi.** Elektrik nəqliyyat vasitələri, ekoloji üstünlükləri ilə diqqət çəkir. Bunlar arasında, heç bir zərərli qazın atılmaması, təmiz enerji ilə işləmə, aşağı səslilik və yüksək səmərəlilik kimi xüsusiyyətlər mövcuddur. Eko nəqliyyat vasitələrinin istifadə müddətini artırmaq üçün enerji effektivliyi önəmlidir. Elektrik nəqliyyat vasitələrinin tətbiqi ilə bağlı bəzi statistik məlumatlar: ABŞ-da 2019-cu ildən bəri elektrik nəqliyyat vasitələrinin sayı 300 min artmışdır;

Çin isə elektrik avtobuslarının istifadəsində daha çox öndə gedir. Elektrik nəqliyyatının geniş miqyasda tətbiqi ekoloji şüuru artırmaq üçün vacibdir. Elektrik avtobusları, skuterlər və velosipedlərin istifadəsi təşviq edilərək ekoloji məsuliyyət artırılmalıdır. Bu təşəbbüslərin tətbiqi insanların yaşıl dünyaya töhfələrini artırır, müəssisələrdə həyata keçirdiyi təşəbbüsləri və layihələri təqdim edərək yaranan riskləri azaldır.

**Təbii və Texnoloji risklər.** İqlim dəyişiklikləri nəqliyyat sektorunun dayanıqlığına birbaşa təsir göstərir. Bu sahədə dayanıqlı inkişafın təmin olunması üçün ekoloji risklərin idarə olunması əsas hədəflərdən biridir. Dayanıqlı nəqliyyat sistemlərinin inkişafı, iqlim dəyişikliklərinin yaratdığı çətinliklərə qarşı mübarizənin əsas komponentidir. Doğrudanda iqlim dəyişikliklərinin təsirlərini və karbon emissiyasının faizini azaltmaq üçün hazırda dayanıqlı nəqliyyata üstün yer vermək vacibdir [3, 6].

Ekoloji davamlılıq və iqtisadi məqsədlər arasında balansı qorumaq üçün yeniliklərin və alternativ enerji mənbələrinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Yenilənə bilən davamlı enerji mənbələrinin nəqliyyat sektorunda tətbiqi, karbon emissiyalarının azaldılmasına gətirir. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, dayanıqlı nəqliyyat üçün alternativ enerji mənbələrinin əhəmiyyəti vacib və prioritetdir [3, 6].

### **Risklərin qiymətləndirilməsi, innovativ yanaşma və metodologiyalar**

Təbii və texnoloji risklərin azaldılması məqsədilə istifadə olunan innovativ yanaşmalar və metodologiyalar geniş şəkildə araşdırılır. Bu bölmədə, müxtəlif ölkələrdə tətbiq olunan innovativ həllər, texnoloji yeniliklər və onların effektivliyi haqqında məlumat verilir [1]. İqlim dəyişikliklərinin təsirlərini azaltmaq üçün risk idarəçiliyi sahəsində müasir yanaşmalar tətbiq edilməlidir. Risklərin düzgün qiymətləndirilməsi, iqlim dəyişikliklərinin təsirlərini proqnozlaşdırmaq və idarə etmək üçün əsas metodologiyadır. Yəni risklərin qiymətləndirilməsinin əhəmiyyətini, analiz üsullarını və müxtəlif yanaşmaları nəqliyyat sektoru sahəsində tətbiqini göstərir [3].

İnfrastruktur dizaynında innovativ həllərin tətbiqi həm riskləri azaldır, həm də uzunmüddətli dayanıqlıq yaradır. Doğrudanda iqlimə uyğunlaşdırılmış infrastrukturun yaradılması üçün innovasiyaların əhəmiyyəti danılmazdır. Təbii fəlakətlərin və iqlim dəyişikliklərinin təsirlərini azaltmaq, onları minimuma endirmək üçün, nəqliyyat sistemlərinin optimallaşdırılması prosesləri risklərin idarə olunmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir [4].

İnnovativ yanaşmaların real həyatda necə tətbiq olunduğu, əldə edilən nəticələr və problemlərlə mübarizə strategiyaları haqqında təcrübə nümunələri təqdim edilir. Bu bölmədə konkret layihələr, proqramlar və təcrübələr müzakirə edilir.

### **Nəticə**

İqlim dəyişikliyi təbii və texnoloji risklərini minimuma endirmək üçün innovativ yanaşmaların tətbiqi əhəmiyyətlidir. Elektrik nəqliyyat vasitələrinin tətbiqi, yaşıl təşəbbüslərin dəstəklənməsi, və iqlim dəyişikliyi təsirlərini azaltmaq üçün vacibdir. Məqalədə təqdim edilən metodologiyalar və təcrübələr bu istiqamətdəki müsbət dəyişiklikləri göstərir və gələcəkdə daha geniş tətbiqlər üçün əsas yaradır.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, nəqliyyat sistemlərində dayanıqlılığın təmin olunması üçün alternativ enerji mənbələrindən istifadə edilməsi, risklərin düzgün idarə edilməsi və ekoloji maarifləndirmə əsas strateji istiqamətlər olmalıdır.

Təklif edilən metodologiyalar, nəqliyyat sektorunun ekoloji və texnoloji çağırışlara uyğunlaşmasına kömək edə bilər. Təhsil müəssisələrində ekoloji şüurun artırılması, gənclər arasında yaşıl təşəbbüslərin dəstəklənməsi, vətəndaşların ekoloji məsuliyyətlərinin artırılması üçün vacibdir. Bu yanaşma yalnız mövcud problemlərin həllinə deyil, həm də gələcək nəsillər üçün sağlam və dayanıqlı mühitin təmin edilməsinə töhfə verir.

Beləliklə, iqlim dəyişikliklərinin təsirlərini minimuma endirmək üçün davamlı nəqliyyat həllərinin tətbiqi və yaşıl innovasiyaların təşviqi vacib addımlardır. Bu yanaşmalar həm sosial, həm də iqtisadi baxımdan dayanıqlı inkişafın təmin edilməsinə zəmin yaradır.



## ƏDƏBİYYAT

1. Abkowitz, M., Jones, A., Dundon, L., Camp, J., 2017. Performing a regional transportation asset extreme weather vulnerability assessment. *Transp. Res. Procedia* 25, pp. 4422-4437.
2. Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M.Q., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Takahashi, K., 2007. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: *Climate change. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, pp. 717-743.
3. Arnell, N.W., 2010. Adapting to climate change: an evolving research programme. *Climate Chang* 100, pp. 107-111.
4. Bache, I., Reardon, L., Bartle, I., Marsden, G., Flinders, M., 2015. Symbolic meta-policy: (not) tackling climate change in the transport sector. *Polit. Stud.* 63 (4), pp. 830-851.
5. Bergström, J., van Winsen, R., Henriqson, E., 2015. On the rationale of resilience in the domain of safety: a literature review. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 141, pp. 131-141.
6. Boarnet, M.G., 2010. Planning, climate change, and transportation: thoughts on policy analysis. *Transp. Res. Part A: Policy Pract.* 44 (8), pp. 587-595.
7. Chinowsky, P.S., Price, J.C., Neumann, J.E., 2013. Assessment of climate change adaptation costs for the US road network. *Global Environ. Change* 23 (4), pp. 764-773.
8. Doust, K., 2010. Responding to climate change in cities: techniques for minimising risk through transport system and urban form planning and asset management. *HKIE Civil Conference*.
9. Eisenack, K., Tekken, V., Kropp, J., 2007. Stakeholder perceptions of climate change in the Baltic sea region. *Coastline Rep.* 8, pp. 245-255.
10. Eisenack, K., Stecker, R., Reckien, D., Hoffmann, E., 2012. Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* 17 (5), pp. 451-469.
11. Geels, F.W., 2012. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *J. Transp. Geogr.* 24, pp. 471-482.
12. Hearn, G., 2015. Managing road transport in a world of changing climate and land use. *Proc. Inst. Civil Eng.-Municipal Eng.* 169 (3), pp. 146-159.
13. Hooper, E.J., 2013. Future resilient transport networks: current and future impacts of precipitation on a UK motorway corridor. Doctoral dissertation. University of Birmingham.
14. Hrelja, R., Hjerpe, M., Storbjörk, S., 2015. Creating transformative force? The role of spatial planning in climate change transitions towards sustainable transportation. *J. Environ. Plann. Policy Manage.* 17 (5), pp. 617-635.
15. Huijbregtse, E., Morales Napoles, O., Hellebrandt, L., De Wit, S., Paprotny, D., 2016. Climate change in asset management of infrastructure: a risk-based methodology applied to disruption of traffic on road networks due to the flooding of tunnels. *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res. (EJTIR)* 16 (1), pp. 98-113.
16. Leviäkangas, P., Michaelides, S., 2014. Transport system management under extreme weather risks: views to project appraisal, asset value protection and risk-aware system management. *Nat. Hazards* 72 (1), pp. 263-286.
17. Love, G., Soares, A., Püempel, H., 2010. Climate change, climate variability and transportation. *Procedia Environ. Sci.* 1, pp. 130-145.
18. Stamos, I., Mitsakis, E., Grau, J.M., 2015. Roadmaps for adaptation measures of transportation to climate change. *Transp. Res. Rec.* 2532, pp. 1-12.

## İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN TƏBİİ VƏ TEXNOLOJİ RİSKLƏRİNİN MINİMUMLAŞDIRILMASI

N.Q.Zülfüqarova

**Xülasə.** Məqalədə iqlim dəyişikliklərinin nəqliyyat sistemlərinə təsiri araşdırılır və bu təsirlərin təbii və texnoloji risklərdən qaynaqlandığı vurğulanır. Tədqiqatda elektrik nəqliyyatının əhəmiyyəti və ekoloji problemlərin həllində rolu müzakirə olunur. Logistika, təchizat zənciri və nəqliyyat infrastrukturunda davamlılıq prinsiplərinə əsaslanan innovativ həllər təqdim edilir. Yaşayış məntəqələrində ekoloji şüurun artırılması və elektrik nəqliyyat vasitələrinin təşviqi xüsusi diqqət mərkəzindədir. Məqalədə göstərilir ki, risklərin düzgün idarə olunması, alternativ enerji mənbələrinin tətbiqi və yaşıl təşəbbüslərin genişləndirilməsi iqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə vacib amillərdir.

**Açar sözlər:** *İqlim dəyişiklikləri, nəqliyyat sistemləri, təbii risklər, texnoloji risklər, elektrik nəqliyyatı, ekoloji şüur, yaşıl təşəbbüslər, davamlı enerji mənbələri, risk idarəçiliyi.*

Accepted: 10.12.2024

## MÜXTƏLİF İNDEKSLƏRİN TƏTBİQİ İLƏ ƏRAZİLƏRİN BİTKİ ÖRTÜYÜNÜN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Xəyalə Məmmədəğa qızı Qədirova

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi  
Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

### ASSESSMENT OF VEGETATION COVER OF TERRITORIES USING VARIOUS INDICES

Khayala Mammadaga Gadirova

Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Institute of Mathematics and Mechanics,  
Baku, Azerbaijan: memmedagaqizi@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-0377-8198>

**Abstract.** This article develops an algorithm for classifying soil and vegetation cover using various indices. The study of the physiological stages of plant development is carried out by analyzing the distribution functions of spectral brightness values in the area covered by the image. The development of the soil-vegetation classification algorithm was performed by applying different indices. Usually, during scientific research, the problem of which index to use is more efficient arises. In order to overcome this problem, a comparative analysis of the results obtained with the application of the mentioned indices was carried out. To verify the accuracy of the used plant-soil classification algorithm, whole plant and whole soil parts were taken, this algorithm was tested and the results were recorded. The stages of the processing process are described here and the results of the corresponding calculations are presented.

**Keywords:** pixel, brightness, spectral image, vegetation index, classification.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

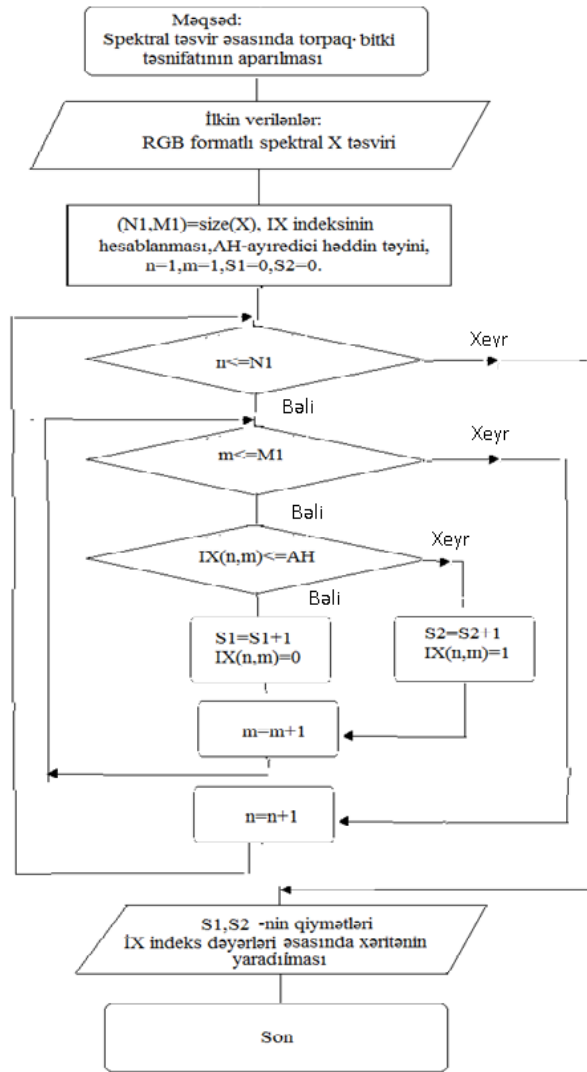
### Giriş

Spektral informasiyanın emalı zamanı "indeksli" təsvirlər kimi tanınan məlumatlara müraciət olunur [1,2]. Tədqiq olunan obyektin informativliyini göstərən müəyyən kanallardakı parlaqlığın qiymətlərinin kombinasiyaları və bu qiymətlərə görə obyektiv "spektral indekslər" hesablanır, təsvirlər qurulur. Adətən ərazilərin qiymətləndirilməsində bitki örtüyü indekslərindən istifadə olunur. Bitki örtüyü indeksi – məsafədən zondlama məlumatlarının müxtəlif spektral diapazonları ilə əməliyyatlar nəticəsində hesablanan və verilmiş təsvirdə bitki örtüyünün parametrləri ilə əlaqəli göstəricidir. Bitki örtüyünün göstəricilərinin effektivliyi əks etdirmə xüsusiyyətləri ilə müəyyən edilir [4, s. 99-128]. Ən çox istifadə olunan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – normallaşdırılmış nisbi bitki örtüyü indeksidir. İndeks göstəriciləri görünən qırmızı diapazonda elektromaqnit dalğalarını udan və onları yaxın infraqırmızıda əks etdirən yaşıl kütlənin spektral təsvirləri vasitəsilə formalaşır. Spektrin qırmızı zonası (0,62 - 0,75 mikron) günəş radiasiyasının xlorofil tərəfindən maksimum udulmasını, yaxın infraqırmızı zona (0,75 - 1,3 mikron) isə yarpağın hüceyrə quruluşu ilə enerjinin maksimum əks olunmasını təşkil edir. Yəni, yüksək fotosintetik fəaliyyət spektrin qırmızı zonasında daha aşağı əksətmə dəyərlərinə və yaxın infraqırmızıda daha yüksək dəyərlərə səbəb olur. Bu göstəricilərin bir-birinə nisbəti bitki örtüyünü digər təbii obyektlərdən aydın şəkildə ayırmağa imkan verir.

Qeyd olunmalıdır ki, bir çox hallarda NİR (Near Infra Red) kanalında olan informasiyanın əlçatan olmaması yalnız RED, GREEN və BLUE spektral kanallarından alınan informasiyanın istifadəsinin mümkünliyini zəruri edirdi. Aşağıda göstərilən indekslərin riyazi düsturlarında ancaq RED, GREEN və BLUE spektral kanallarındakı qiymətlərin münasibəti həlledici rol oynayır. Bu isə bitkinin fizioloji inkişaf dövrlərində bu spektral kanallardan alınan məlumatların istifadəsi ilə də qənaətbəxş təhlillərin aparılmasının mümkünliyini əsaslandırır.

### Metodik əsas və hesablama metodikası

Torpaq-bitki örtüyünün klassifikasiyası alqoritminin işlənməsi müxtəlif indekslərin tətbiqi ilə yerinə yetirilmişdir.



Şəkil 1. Torpaq-bitki örtüyünün klassifikasiyası alqoritminin blok-sxemi

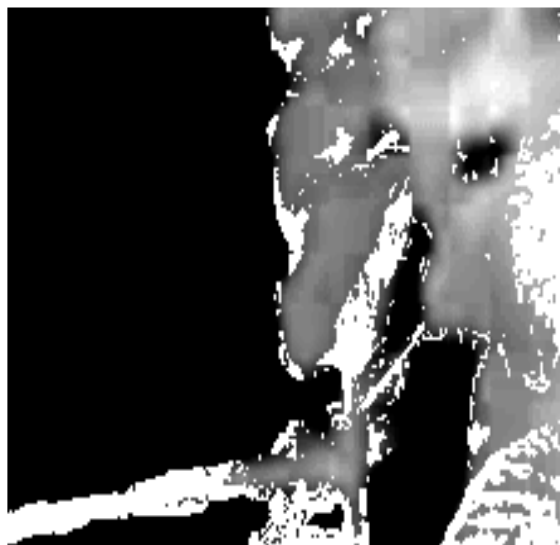
Adətən elmi-tədqiqat zamanı hansı indeksdən istifadənin daha səmərəli olması problemi yaranır. Hazırkı işdə bu problemin aradan qaldırılması üçün qeyd olunan indekslərin tətbiqi ilə alınan nəticələrin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Nümunə üçün Sabirabad rayonunda kartof bitkisi ərazisini əks etdirən təsvir fraqmenti üzərində qeyd olunan indekslərin tətbiqi ilə klassifikasiya aparılmışdır. Şəkil 2-də götürülmüş təsvir fraqmenti və şəkil (3-7)-də qeyd olunan indekslərin tətbiqi [2] ilə alınan nəticələr göstərilmişdir:



Şəkil 2. Sabirabad rayonu, kartof bitkisi ərazisindən təsvir fraqmenti

**VARI** (Visual Atmospheric Resistance Index):

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue};$$



Şəkil 3. Seçilmiş təsvir fraqmentinə VARI indeksinin tətbiqi

**VI green** (Vegetation Index Green):

$$VIgreen = \frac{Green - Red}{Green + Red};$$



Şəkil 4. Seçilmiş təsvir fraqmentinə VIgreen indeksinin tətbiqi

**SAVI** (Soil Adjusted Vegetation Index):

$$SAVI = \frac{1.5 \cdot (Green - Red)}{Green + Red + 0.5};$$



Şəkil 5. Seçilmiş təsvir fraqmentinə SAVI indeksinin tətbiqi

**GLI (Green Leaf Index):**

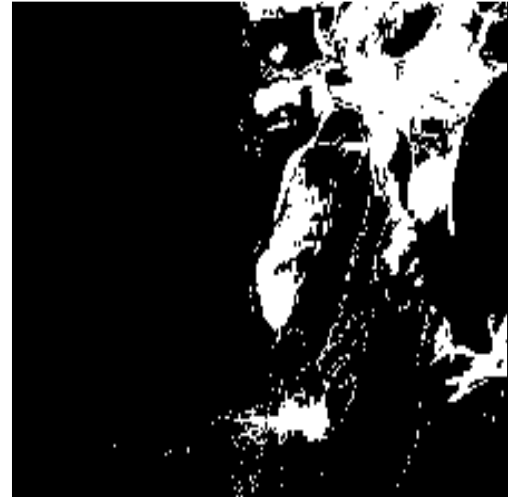
$$GLI = \frac{2 \cdot Green - Red - Blue}{2 \cdot Green + Red + Blue}$$



Şəkil 6. Seçilmiş təsvir fraqmentinə GLİ indeksinin tətbiqi

**vNDVI (Visible NDVI):**

$$vNDVI = 0.5268 \cdot (r^{-0.1294} \cdot g^{0.3389} \cdot b^{-0.3118})$$



Şəkil 7. Seçilmiş təsvir fraqmentinə vNDVI indeksinin tətbiqi

burada

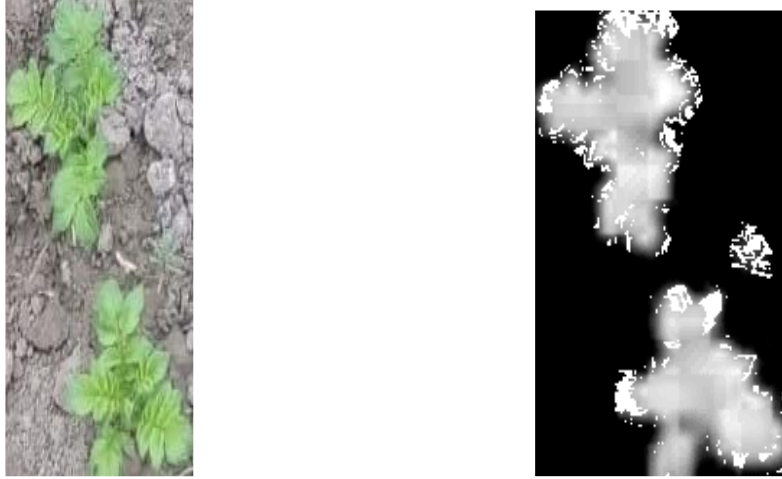
$$r = \frac{Rn}{Rn + Gn + Bn}$$

$$g = \frac{Gn}{Rn + Gn + Bn}$$

$$b = \frac{Bn}{Rn + Gn + Bn}$$

Bu düsturlarda istifadə olunan  $Rn$ ,  $Gn$  və  $Bn$  uyğun spektral kanallardakı normallaşdırılmış qiymətlərdir.

Bu indekslərin tətbiqi ilə alınan nəticələrin müqayisəli təhlili nəticəsində VARİ indeksinin tətbiqinin bitki-torpaq klassifikasiya məsələlərində daha effektiv nəticə verdiyi görünür. Aşağıda vizual olaraq hiss olunması çətin olan bitki hissəsinin VARİ indeksi ilə aşkarlanmasına aid nümunə verilmişdir. Alqoritm təxminən 20-dən çox seçilmiş təsvir və onun fraqmentləri üzərində aparılmışdır.



Şəkil 8. Vizual olaraq hiss olunmayan bitki hissəsinin VARI indeksi ilə aşkarlanması

Qeyd olunmalıdır ki, layihə çərçivəsində NİR kanalında olan informasiyanın əlçatan olmaması yalnız RED, GREEN və BLUE spektral kanallarından alınan informasiyanın istifadəsini mümkün edirdi. Yuxarıda göstərilən indekslərin riyazi düsturlarında ancaq RED, GREEN və BLUE spektral kanallarındakı qiymətlərin münasibəti həlledici rol oynayır. Bu isə bitkinin fizioloji inkişaf dövrlərində bu spektral kanallardan alınan məlumatların istifadəsi ilə də qənaətbəxş təhlillərin aparılmasının mümkünlüyünü əsaslandırır.

Şəkil 8-də göstərilən nümunə üçün aparılmış torpaq-bitki klassifikasiyasının nəticəsi aşağıdakı kimidir:

Seçilmiş təsvirdə olan ümumi piksel sayı: 28210

Seçilmiş təsvirdə olan torpağa uyğun piksel sayı: 18998

Seçilmiş təsvirdə olan bitkiyə uyğun piksel sayı: 9212

Torpaq-bitki təsnifatının aparılmasında önəmli problemlərdən biri istifadə olunan indeks üçün ayırdedici hədd dəyərinin seçilməsidir. Qeyd olunmalıdır ki, təsnifat məsələlərində ayırdedici hədd dəyərinin seçilməsi mühüm məqamlardan biridir. Ayırdedici hədd dəyərlərinin seçilməsi üçün müxtəlif alqoritm və yanaşmalar mövcuddur [3]. Məsələn, bu tip alqoritmə nümunə olaraq "Otsu alqoritm"ni göstərmək olar. İstifadə etdiyimiz alqoritmə VARI indeksi üçün bu hədd 17-yə bərabər götürülmüşdür. Ayırdedici həddin seçilməsi həmin indeks dəyərlərinin histoqramlarının qurulması və analizi ilə təyin olunmuşdur.

İstifadə olunan bitki-torpaq klassifikasiyası alqoritmının doğruluğunu yoxlamaq üçün tam bitki və tam torpaq hissələri götürülmüş (Şəkil 9), bu alqoritm test olunmuş və nəticələr Cədvəl 1-də qeyd olunmuşdur:



Şəkil 9. Tam bitki və tam torpaq hissələri



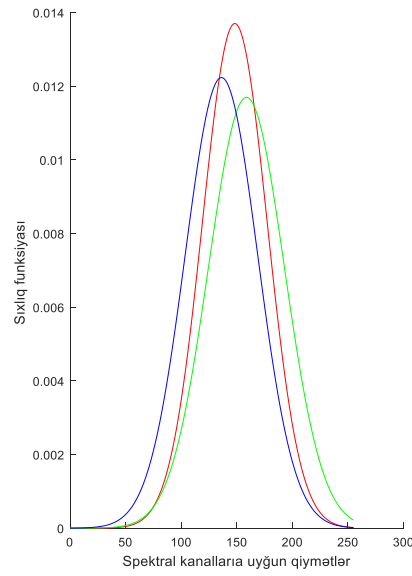
	Tam torpaqdan ibarət ərazi hissəsi	Tam bitkidən ibarət ərazi hissəsi
Ümumi piksel sayı	608	156
Torpağa uyğun piksel sayı	608	0
Bitkiyə uyğun piksel sayı	0	156

Seçilmiş spektral təsvir nümunələrinin parlaqlıq dəyərlərinin histqramlarının qurulması təsvirin əhatə etdiyi ərazidə baş verən dəyişkənliyin (bitkinin fizioloji inkişaf mərhələlərinin, torpaqdakı su rejiminin, bitkinin aqrotexniki qulluq vəziyyətinin) identifikasiya olunmasına imkan verir.

Aşağıdakı şəkildə seçilmiş təsvir nümunəsi üçün spektral kanallar üzrə normal paylanmaya uyğun sıxlıq funksiyaları verilmişdir:



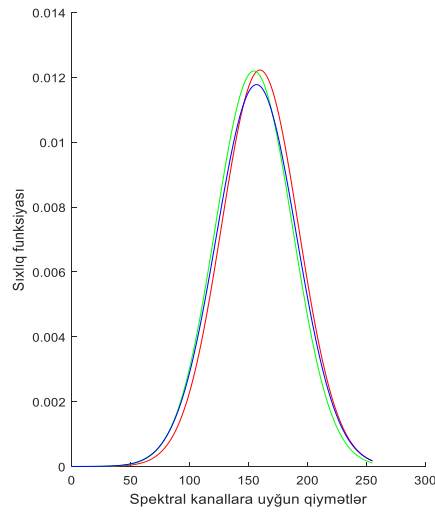
Seçilmiş təsvir nümunəsi



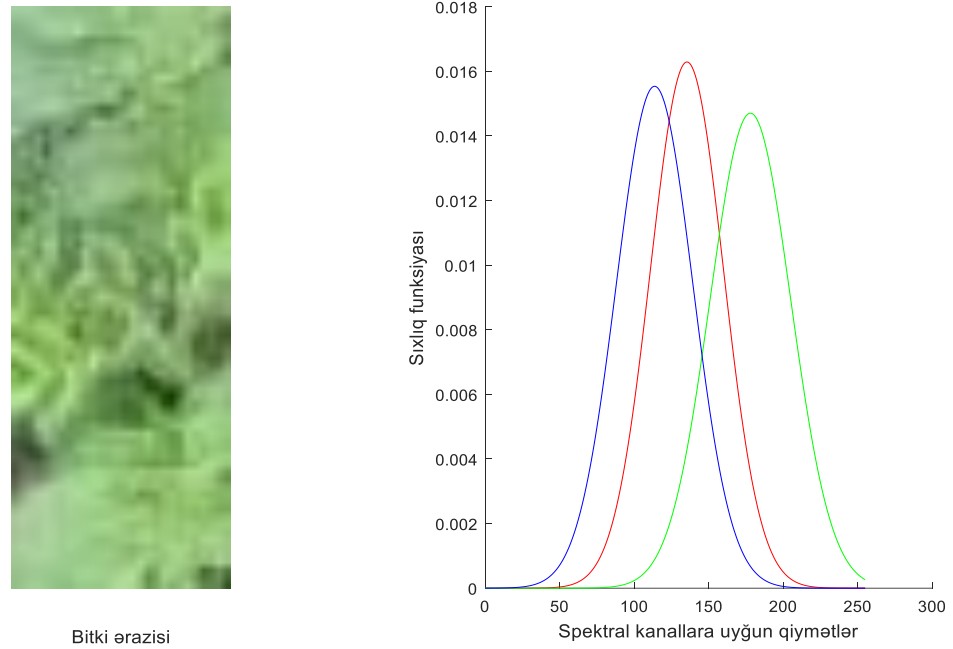
Şəkil 10. Spektral kanallar üzrə sıxlıq funksiyaları (torpaq və bitkidən ibarət ərazi)



Ərazidən seçilmiş qeyri-bitki hissəsi



Şəkil 11. Spektral kanallar üzrə sıxlıq funksiyaları (yalnız torpaqdan ibarət ərazi)



Şəkil 12. Spektral kanallar üzrə sıxlıq funksiyaları (yalnız bitkidən ibarət ərazi)

Şəkil 11-dən görünür ki, bitki olmayan ərazilərdə Red, Green, Blue spektral kanallarındakı dəyərlərin orta qiymətləri və orta kvadratik meyilləri bir-birinə çox yaxın olur. Lakin Şəkil 12-dən isə görünür ki, bitki olan ərazilərdə Red, Green, Blue spektral kanallarındakı dəyərlərin orta qiymətləri bir-birindən kəskin fərqlənir. Bu isə ərazidə torpaq-bitki təsnifatının spektral təsvirlər əsasında aparılmasına əsas yaradır. Aparılan təhlil göstərir ki, bitkinin fizioloji inkişaf mərhələlərinin öyrənilməsi, ərazidə bitki-torpaq sahələrinin nisbətinin araşdırılması normal paylanma sıxlıq funksiyalarının analizi ilə həyata keçirilə bilər.

### Yekun

Torpaq-bitki örtüyünün klassifikasiyası alqoritminin işlənməsi müxtəlif indekslərin tətbiqi ilə yerinə yetirilmişdir. Alınan nəticələrin müqayisəli təhlili nəticəsində VARI indeksinin tətbiqinin bitki-torpaq klassifikasiya məsələlərində daha effektiv nəticə verdiyi görünür. Bitki olmayan ərazilərdə Red, Green, Blue spektral kanallarındakı dəyərlərin orta qiymətləri və orta kvadratik meyillərinin bir-birinə çox yaxın olması göstərilmiş, lakin bitki olan ərazilərdə Red, Green, Blue spektral kanallarındakı dəyərlərin orta qiymətlərinin bir-birindən kəskin fərqlənməsi müşahidə olunmuşdur. Bitkinin fizioloji inkişaf mərhələlərinin öyrənilməsi və ərazidə bitki-torpaq sahələrinin nisbətinin araşdırılması təsvirin əhatə etdiyi ərazidə spektral parlaqlıq dəyərlərinin paylanma funksiyalarının analizi ilə həyata keçirilə bilər.

**Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № AEF-MQM-QA-1-2021-4(41)-8/02/1-M-02**

### ƏDƏBİYYAT

1. Süleymanova Y.C., Müseyibli N.M., Talıbova X.S. Kosmik məlumatlar əsasında kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının proqnozlaşdırılması məsələlərində təkmilləşdirilmiş vegetasiya indeksləri. Azərbaycan Milli Aero-kosmik Agentliyinin Xəbərləri, Bakı, 2023, №4, s. 4-12.
2. H.A. Gil, A.M. Pacheco. RGB Spectral Indices for the Analysis of Soil Protection by Vegetation Cover against Erosive Processes. Chapter 1 in book "Soil Erosion - Current Challenges and Future Perspectives in a Changing World", pp. 3-14 ([https://www.researchgate.net/publication/347920025\\_RGB\\_Spectral\\_Indices\\_for\\_the\\_Analysis\\_of\\_Soil\\_Protection\\_by\\_Vegetation\\_Cover\\_against\\_Erosive\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/347920025_RGB_Spectral_Indices_for_the_Analysis_of_Soil_Protection_by_Vegetation_Cover_against_Erosive_Processes)).

3. Zabidov Z.C., Qədirova X.M. Sinifləndirmə məsələlərində ayırıcı hədd dəyərinin histqramla qiymətləndirilməsi. Sumqayıt Dövlət Universiteti, "Elmi xəbərlər"-Təbiət və texniki elmlər bölməsi, cild 23, №2, 2023, s. 73-77.
4. Mehdiyev A.Ş., Əzizov B.M., Bədəlova A.N., Məsafədən zondlamanın fiziki əsasları, Milli Aviasiya Akademiyasının Poliqrafiya Mərkəzi, Bakı -2014 , 306 s.

## MÜXTƏLİF İNDEKSLƏRİN TƏTBİQİ İLƏ ƏRAZİLƏRİN BİTKİ ÖRTÜYÜNÜN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

**X.M.Qədirova**

**Xülasə.** Hazırkı işdə torpaq-bitki örtüyünün klassifikasiyası alqoritminin işlənməsi müxtəlif indekslərin tətbiqi ilə yerinə yetirilmişdir. Bitkinin fizioloji inkişaf mərhələlərinin öyrənilməsi, ərazidə bitki-torpaq sahələrinin nisbətinin araşdırılması təsvirin əhatə etdiyi ərazidə spektral parlaqlıq dəyərlərinin paylanma funksiyalarının analizi ilə həyata keçirilmişdir. Adətən elmi - tədqiqat zamanı hansı indeksdən istifadənin daha səmərəli olması problemi yaranır. Bu problemin aradan qaldırılması üçün qeyd olunan indekslərin tətbiqi ilə alınan nəticələrin müqayisəli təhlili aparılmışdır. İstifadə olunan bitki-torpaq klassifikasiyası alqoritminin doğruluğunu yoxlamaq üçün tam bitki və tam torpaq hissələri götürülmüş, daha sonra bu alqoritm test olunmuş və alınmış nəticələr qeyd olunmuşdur. Burada emal prosesinə aid mərhələlərin təsvirləri verilmiş və uyğun hesablamaların nəticələri göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** piksel, parlaqlıq, spektral təsvir, veqetasiya indeksi, təsnifat.

*Accepted: 16.11.2024*

## THE IMPACT OF AI TECHNOLOGIES ON AGRICULTURE: A REVIEW

**Ali Kanan Hasanov**

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: contact@ali-hasanov.com*

*<https://orcid.org/0009-0005-9815-9275>*

**Abstract.** Artificial intelligence (AI) has revolutionised the agriculture, making it more productive and efficient in addition to far less environmentally harmful. The review provides a holistic perspective on the role of AI technologies in different sectors such as precision farming, crop management, smart irrigation and logistics for agriculture. Challenges it can tackle with AI, we finally have all that is required to optimize resources and address the greatest problems humanity faces today including Climate Change, Food Security, Sustainability. It also discusses the current limitations, future directions and AI role for a sustainable agriculture. Our results highlight the significant transformative potential of AI in agriculture, yet more research and policy support is necessary to capitalize on this opportunity.

**Keywords:** *Artificial Intelligence, Agriculture, Irrigation, Crop, Sustainable.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### 1. Introduction

The growing population, the changing climate, and resource scarcity make it challenging for agriculture; one of the most important sectors globally. By the year 2050, it is estimated that agricultural production must increase between now and then by about 70% to fulfill global food needs [1]. Key environmental effects must be dealt with in farming at the same time as improving sustainability [2]. Introduction Artificial intelligence (AI) has recently emerged as a solution to the aforementioned challenges, providing data-driven insights for better decision-making and predictive analytics that can predict events in advance [3, 4]. This review will synthesize current applications of AI technologies dealing with benefits, limitations or disadvantages depending on implementations among others.

### 2. Methodology

These data were obtained from a review of peer-reviewed articles, industry reports, case studies published between 2000 and the early months of 2023. Information was gathered from several academic databases and trade publications. The major AI applications in agriculture, i.e. precision farming (including crop monitoring), irrigation management and logistics were identified for analysis. We also conducted a bibliometric study to understand the effect of AI on agricultural sustainability, resource efficacy and climate stability [5].

### 3. Artificial intelligence in agriculture Technologies and origins

#### 3.1 Precision Farming

One of the most important applications that AI serves in agriculture is precision farming AI can make use of machine learning (ML) algorithms for processing huge datasets obtained from satellite imagery, drones and sensors in the optimal management of crops [1, 2]. Artificial intelligence-driven tools enable farmers to keep a round-the-clock surveillance of soil fertility, forecast weather conditions and manage crop growth live. An example of that is AI systems can give personalized recommendations to apply fertilizers and pesticides which in turn increases the yields [3, 6].

#### 3.2 Smart irrigation and water management

AI is key in making agriculture water efficient. Irrigation schedules can be automatically adjusted based on soil moisture levels, weather conditions and crop water requirements with smart AI-based irrigation systems [2, 6]. It will preserve both, the water wastage and provide enough hydration for crops especially in dry areas. AI enabled irrigation systems has shown its promise as an approach to behave more sustainably, using less water [4].

### **3.3 Control of Crop Disease and Pests**

The use of AI technologies in detecting crop diseases and pest control has also increased over the past few decades. Highly sophisticated AI-powered computer vision and imaging systems are brought to bear on these sets of images, capable of recognizing the very beginnings of a disease or pest infestation just as it is taking root in its host [1]. These systems, often paired with drones or robots, analyze crops and then selectively use pesticides — cutting down on chemical usage in a way that's easy on the environment [3, 6].

### **3.4 Agricultural Robotics & Automation**

A key area in which AI has disrupted traditional agricultural automation types is by deploying robots to help with tasks such as planting, harvesting and weeding. Utilizing AI, these robots navigate fields making different decisions in real time and also perform tasks independently when deployed [7]. AI-powered robotic systems have led to a reduction in labor costs and improved operational efficiencies, especially when it comes to large farming operations [3, 8].

### **3.5 AI/Supply Chain & Logistics**

The use of AI in farming goes further: supply chain and logistics optimization. It is a system which improves the whole thing with AI based logistical routing systems improved transport and delivery of agricultural products has minimized spoilage damage to improve efficiency [6]. AI-driven IoT and blockchain have facilitated greater transparency in food supply chains, which has allayed fears relating to the safety of food & secured more market access for farmers [9].

## **4. Benefits of AI in Agriculture**

### **4.1. Improved Productivity & Efficiency Increased**

Farmers can utilize AI to determine optimal ways to both increase crop yields and resource use efficiency. As these are on-farm examples would also reduce inputs, in water, fertilizers and pesticides but provides overall higher productivity for the same. Automated systems enable farmers to take care of bigger territories with much less sources, conserving effort and time [3, 6, 7]

### **4.2 Sustainability and Environmental footprint**

Artificial Intelligence is a significant factor that contributes to the sustainability of farming by reducing pollution. Conserve valuable water with smart irrigation systems and use AI to eliminate the need for dangerous chemicals when doing pest management [4]. Its also helps in monitoring the carbon footprint of agricultural activities so contribution to climate resilient and help to mitigate it [8].

### **4.3 Enhanced Decision-Making**

AI provides farmers with improve productivity based on input parameters, hence making the decision informed in all steps of crop production. Before planting, AI systems help farmers with precise adjustments from the time of sowing to harvesting and things such as deciding when to harvest your crop in according with maturity, market demand [2, 6].

## **5. Challenges and Limitations**

### **5.1 Data Availability and Reliability**

The dearth of high caliber data is one of several hurdles facing the operationalization AI in agriculture. AI systems need tons of data on things like soil health, weather conditions and how crops have performed to work. The use of data in AI tools means that these small-scale farmers, especially those based in developing countries do not have the same services available to them [1, 8].

## 5.2 High Transaction Costs, and Access Barriers

It is expensive to launch AI technologies in agriculture, making it difficult for smallholder farmers. AI-based tools, sensors and robotics investment are capex-heavy [4, 8]. In addition to those three challenges, a digital divide exists between the developed large-scale commercial farming environments and undeveloped small scale operations where there is an infrastructure barrier [3].

## 5.3 Ethical and Social Concerns

Another worry that arises from AI is its negative effect on employment in the agricultural sector. The automation of tasks dating back to human labor could lead to job displacement in the future, especially in areas where agriculture accounts for a significant pool [2]. However, questions of ownership and data privacy are starting to arise as AI systems amass great stores of farm level information [6, 9].

## 6. Future Prospects

### 6.1 Artificial Intelligence in Climate-Smart Agriculture

With climate change becoming a rising threat for agriculture, the need of the hour is adopting AI in devising smart farming practices best suited to combat economic and environmental challenges. Models driven by AI can predict climate trends, determine which varieties are best to grow in changes and help farmers plan for extreme weather events [1, 5].

### 6.2 AI and Circular Agriculture

The transition towards circular agriculture, with the aim to minimize waste and make best use of resources, with AI support. References by combining AI with circular economy strategies, farmers can save energy wastage in inputs and utilize their resources efficiently to supplement a sustainable agricultural ecosystem [9].

### 6.3 Policy Support and Investment

Policy support and investments in infrastructure, education, and research are required not only to unleash the full potential of AI for agriculture but also strong partnerships among governments and stakeholders, if that potential is ever going to be achieved [4]. Training programs that teach farmers how to use AI tools and paying them for embracing sustainable technologies will be the driving force behind expansion of this solution [8].

## 7. Conclusion

Artificial intelligence (AI) is driving a technological revolution that reaches into many facets of agriculture, with the potential to make operations more efficient and productive while limiting negative environmental impacts. AI is revolutionizing everything from precision farming to smart irrigation and logistics, changing the way food grows as well as handled & distributed. Yet obstacles surrounding data access, expense and ethical considerations remain. Renewed efforts are needed to overcome these barriers and expand AI applications in climate resilience & circular agriculture. When done right, AI has the potential to drive a more sustainable & future-proofed global food system.

## Acknowledgments

We would like to thank **Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik** and **Erasmus+** and **UniClaD** project for their support.

## REFERENCES

1. R. Ben Ayed and M. Hanana. Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector. *Journal of Food Quality*, vol. 2021, pp. 1–7, Apr. 2021, doi: 10.1155/2021/5584754.
2. Pascariu A.R., Gordan M.I., Iosim I., Adamov T.C., & Iancu T. Artificial Intelligence and Communication in Agriculture. *Lucrări Științifice, Seria I, Vol. XXV(1)*, pp. 109-114, Apr. 2021.



3. Benita M. The AI Era: The Future of Farming., XIBA Business Review, vol. 6, no. 1, pp. 28-30, Jan. 2023.
4. Ali Z.A., Zain M., Pathan M.S. and Mooney P. Contributions of artificial intelligence for circular economy transition leading toward sustainability: an explorative study in agriculture and food industries of Pakistan. Environ Dev Sustain, vol. 26, no. 8, pp. 19131–19175, Jun. 2023, doi: 10.1007/s10668-023-03458-9.
5. Bhagat P.R., Naz F. and Magda R. Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. PLoS ONE, vol. 17, no. 6, p. e0268989, Jun. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0268989.
6. Ramirez-Asis E. et al. Smart Logistic System for Enhancing the Farmer-Customer Corridor in Smart Agriculture Sector Using Artificial Intelligence. Journal of Food Quality, vol. 2022, pp. 1–8, Jun. 2022, doi: 10.1155/2022/7486974.
7. Ramirez-Asis E., Bhanot A., Jagota V., Chandra B., Hossain M.S., Pant K. & Almashaqbeh H.A. Smart Logistic System for Enhancing the Farmer-Customer Corridor in Smart Agriculture Sector Using Artificial Intelligence. Journal of Food Quality, vol. 2022, pp. 1-8, June 2022.
8. Mor S., Madan S. and Prasad K.D. Artificial intelligence and carbon footprints: Roadmap for Indian agriculture. Strategic Change, vol. 30, no. 3, pp. 269–280, May 2021, doi: 10.1002/jsc.2409.
9. Sfiligoj E. For Agriculture, the Artificial Intelligence (AI) Test Has Arrived. CropLife, vol. May 2024, pp. 8-10, May 2024.

*Accepted: 09.12.2024*

# HYBRID APPROACHES TO MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE: SYNERGY OF METHODS TO INCREASE EFFICIENCY

Javad Vaqif Najafli

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [cavad.necefli@aztu.edu.az](mailto:cavad.necefli@aztu.edu.az)

<https://orcid.org/0009-0008-3396-5657>

**Abstract.** This study investigates the performance of hybrid Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms for photovoltaic systems using neural networks (NN), genetic algorithms (GA), and particle swarm optimization (PSO). Three hybrid models—NN-GA, PSO-GA, and NN-PSO—were evaluated based on response time, maximum power, and robustness to noise. Results revealed distinct trade-offs among the models. The NN-GA model exhibited the shortest response time of 0.0036 s/prediction, but its accuracy significantly degraded with increasing noise levels. The PSO-GA model demonstrated the highest maximum power output of 100.24 W and superior robustness to noise, with a mean absolute error (MAE) of 0.2062 at 30% noise. The NN-PSO model provided balanced performance, achieving a maximum power of 45.90 W and demonstrating the lowest MAE of 0.1537 at 20% noise. These findings highlight the transformative potential of hybrid MPPT methods in enhancing both the adaptability and performance of solar energy systems across diverse and challenging operational conditions.

**Keywords:** *Maximum Power Point Tracking, neural networks, genetic algorithms, particle swarm optimization, hybrid models.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

## Introduction

Solar energy plays an important role in the development of renewable energy sources due to its environmental friendliness, availability, and cost-effectiveness. However, the low conversion efficiency of photovoltaic (PV) systems, ranging from 9 to 17%, requires the use of power optimization technologies to improve their efficiency. Maximum Power Point Tracking technology provides an opportunity to maximize the output power of solar panels by adapting them to changing climatic conditions [1, 2, 3].

Traditional methods such as perturbation and observation (P&O) and incremental conductivity (INC) algorithms are widely used due to their simplicity and low implementation cost. However, these methods have limitations such as steady-state oscillations and efficiency degradation under rapidly changing solar radiation [4, 5]. In recent years, much attention has been paid to the implementation of intelligent methods, including neural networks, logic controllers, and particle optimization algorithms. These approaches demonstrate improved tracking performance, robustness to data noise, and adaptation to complex operating conditions [6, 3].

Several studies have been conducted to compare MPPT methods to identify their strengths and weaknesses. For example, Sarvi and Azadian's study classifies algorithms into traditional, smart, and hybrid, noting that hybrid approaches have an advantage in non-uniform shading conditions [3]. Eltawil and Zhao's work provides a detailed discussion of the advantages and disadvantages of smart methods over traditional ones, highlighting their potential to improve the efficiency of solar systems [2].

This study aims to investigate and evaluate state-of-the-art MPPT algorithms applied to photovoltaic systems, focusing on comparing their performance characteristics such as response time, robustness to data noise, and overall energy extraction efficiency, thereby identifying promising areas for further development.

## Materials and Methods

Maximum Power Point Tracking technology is designed to maximize the energy extracted from solar panels despite changes in environmental conditions (e.g. sunlight intensity, temperature, shading). Each solar panel has a Maximum Power Point (MPP) — the combination of voltage and current

at which the greatest power is produced. However, due to the nonlinear characteristics of solar cells and changing conditions, this point changes throughout the day.

MPPT algorithms measure the panel voltage (U) and current (I) to calculate the output power  $P = U \cdot I$ . MPPT analyzes the current power and compares it to previous measurements. If the power increases, the load settings change in the same direction. If it decreases, the direction is adjusted. MPPT controllers continuously adjust the panel voltage and current to achieve the optimal power point, even as weather conditions change. The implementation of MPPT provides maximum energy efficiency of solar systems, increasing the output power by 10-30% compared to systems without MPPT [7].

This study aims to evaluate the capabilities of artificial intelligence (AI) to improve the efficiency of MPPT. It includes several stages: first, the classical Perturb and Observe (P&O) algorithm is simulated, which is the basis for performance analysis. The simulator generates random voltage and current values in the range of 0-60, calculates the power and records the results. Performance is assessed by average, maximum and minimum power. The indicators of such AI models as neural networks, decision trees, genetic algorithms, particle swarm optimization (PSO) are compared.

The following criteria are selected for comparing the models:

- Response Speed: The time it takes to adapt to changing conditions.
- Power Extraction Efficiency: The maximum power that a model can achieve.
- Robustness to Data Noise: The ability to maintain performance in the presence of variations or errors in the input data.

**Neural Network.** A neural network is a composite mathematical model that transforms input data into output through a system of interconnected nodes (neurons) organized into layers [8]. For MPPT problems, neural networks are trained on data including voltage, current, and power to predict optimal voltage and current values. The general formula for a single neuron is: The output  $y_i$  of a neuron in layer  $l$  is defined as:

$$y_i^{(l)} = f(\sum_{j=1}^n w_{ij}^{(l)} x_j^{(l-1)} + b_i^{(l)}), \quad (1)$$

where  $x_j^{(l-1)}$  is the output of the  $j$ -th neuron from the previous layer,  $w_{ij}^{(l)}$  is the weight of the connection between neurons,  $b_i^l$  is the bias of the current neuron,  $f(\cdot)$  is the activation function (in our case, it is ReLU),  $n$  is the number of inputs for the current neuron. The network optimizes the parameters (weights  $w_{ij}$  and biases  $b_i$ ) based on the loss function  $L$ , which measures the discrepancy between the predicted output  $\tilde{y}$  and the true value  $y$ . An example of a loss function:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (2)$$

where  $N$  is the number of training examples.

Gradient descent is used to minimize the loss function:

$$w_{ij}^{(l)} \leftarrow w_{ij}^{(l)} - \eta \frac{\delta L}{\delta w_{ij}^{(l)}}, \quad (3)$$

$$b_{ij}^{(l)} \leftarrow b_{ij}^{(l)} - \eta \frac{\delta L}{\delta b_{ij}^{(l)}}, \quad (4)$$

where  $\eta$  is the learning rate. For the voltage and current prediction task, a linear activation function is used in the output layer to ensure continuous output. The network is tuned based on synthetic data representing the voltage, current, and power of solar panels under different conditions.

**Genetic algorithms.** These are heuristic optimization methods that imitate the processes of natural selection described by the theory of evolution. These algorithms are suitable for finding optimal

or approximately optimal solutions to complex problems. The genetic algorithm is based on the use of a population of possible solutions to the problem, represented as chromosomes that encode the solution parameters [9]. The quality of each solution is assessed using the fitness function, which determines the efficiency of the corresponding solution. During the operation of the algorithm, selection is carried out, in which chromosomes with the highest values of the fitness function are chosen to participate in reproduction. The creation of a new generation includes a combination of parent chromosomes using the crossover operation, as well as the use of mutation, which introduces random changes to maintain the genetic diversity of the population. After this, the new generation replaces the previous one. The algorithm begins with initialization, during which an initial population of random solutions is created. At each iteration step, the fitness function is assessed, parents are selected, and crossover and mutation are performed to generate a new generation. The process continues until a specified number of iterations is achieved or the target optimization criterion is met.

A chromosome is a string of parameters  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , where  $x_i$  is the parameter value. For MPPT, these are voltage and current. The fitness function evaluates the quality of each solution. In MPPT, the fitness function is defined as:  $f(x) = P(x)$ , where  $P$  is the output power of the solar panel, depending on the parameters  $x$ . Then selection occurs – the probability of choosing the  $i$ -th chromosome  $p_i$  is proportional to its fitness:

$$p_i = \frac{f(x_i)}{\sum_{j=1}^N f(x_j)},$$

where  $N$  is the population size. The crossover generates offspring  $o_1, o_2$  by combining parent chromosomes  $p_1, p_2$ . An example of a single-point crossover:

$$o_1 = (p_1[1:k], p_2[k+1:n]), \tag{5}$$

$$o_2 = (p_2[1:k], p_1[k+1:n]), \tag{6}$$

where  $k$  is the split point.

Mutation introduces a random change in chromosome  $x$ :  $x'_i = x_i + \delta$ , where  $\delta$  is a random value from a given range. A new population is formed from the offspring, or combined with a part of the old population to preserve elite solutions. The algorithm terminates if the specified number of iterations is reached or the fitness function value stops improving.

### **Particle Swarm Optimization (PSO).**

It is an optimization method inspired by the social behavior of flocks of birds or schools of fish. The algorithm uses particles that move through a solution space to find the optimal value of an objective function [10]. Each particle represents a potential solution to the problem and moves through the solution space based on its past experience and social interactions. To operate, the PSO algorithm first defines an initial population of particles, each with a position  $x_i$  and a velocity  $v_i$  chosen at random. Each particle is evaluated using an objective function  $f(x)$  to determine its "quality". The velocity and position are updated according to the formula:  $v_i = \omega v_i + c_1 r_1 (p_i - x_i) + c_2 r_2 (g - x_i)$ , where  $\omega$  is the inertia coefficient controlling the influence of the previous velocity,  $c_1, c_2$  are the learning coefficients for the personal and social components,  $r_1, r_2$  are random numbers in the range [0,1] providing stochasticity,  $p_i$  is the best position of the particle,  $g$  is the best position among all particles in the population. The position of the particles is updated according to the formula  $x_i = x_i + v_i$ . The algorithm repeats the process of updating the velocity and position until the stopping criterion is reached.

In the context of MPPT, PSO is used to find the optimal combination of voltage and current that provide the maximum power of the solar panel. Each particle represents a possible combination of  $(V, I)$ , and the objective function is the output power:  $f(V, I) = P = V \cdot I$

## Experiments

In the course of the study, three hybrid MPPT models were developed and tested: NN-GA, PSO-GA and NN-PSO. Their performance was evaluated by key indicators: maximum power, response time and noise immunity, the results of which are presented in Table 1 and the corresponding figures. First of all, synthetic data for solar panels with different noise levels (10%, 20%, 30%) were created, successfully generated and saved in a csv file (Figure 1). This includes voltage, current and power data, which will be used to test the models.

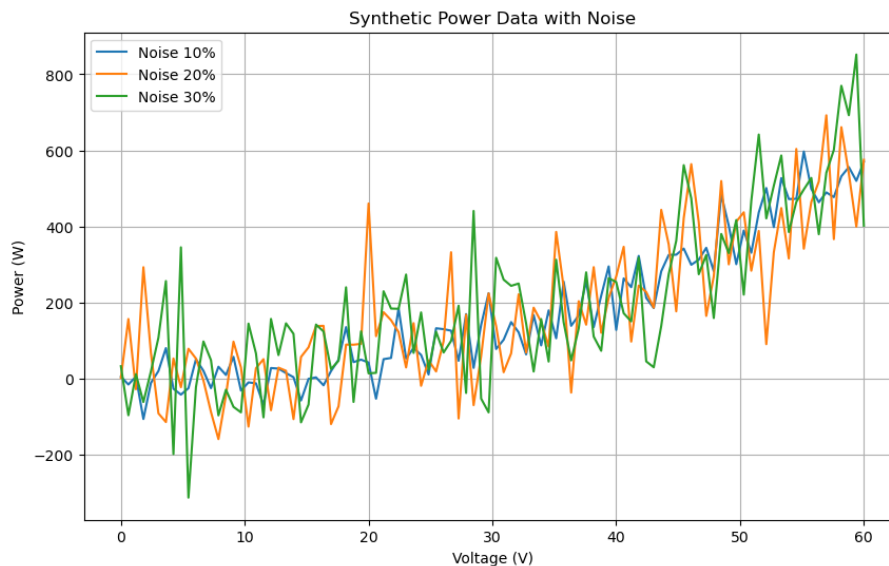


Figure 1. Power Data with Noise

**NN-GA.** Next, a hybrid NN-GA model was implemented using this data. The neural network architecture included an input layer with 2 neurons corresponding to the input variables, 2 hidden layers with 10 neurons each and the ReLU activation function, and an output layer with 1 neuron and a linear activation function. This configuration was chosen to efficiently model nonlinear dependencies between input and output data. A genetic algorithm was used to optimize the network parameters. An individual in the algorithm was a one-dimensional array containing all the weights and biases of the network. The population size was 20, and the number of generations was 5. The crossover operator was implemented as a mixture with a coefficient of 0.5 for the efficiency of combining parameters between individuals. To prevent getting stuck in local minima, a Gaussian mutation was used with the following parameters: mean 0, standard deviation 0.1, and the probability of mutation of each parameter 0.2. Tournament selection with tournament size 3 was used to select the strongest individuals for subsequent generations.

The settings were chosen to provide a balance between computational efficiency and model accuracy. Limiting the number of generations and population size allowed to speed up the optimization process while maintaining sufficient accuracy. The use of tournament selection and mutation facilitated exploration of the solution space and avoided getting stuck at suboptimal points.

A combination of a neural network and a genetic algorithm was chosen to provide a more efficient search for optimal model parameters. The genetic algorithm is capable of finding global optima in complex spaces, which complements traditional optimization methods such as gradient descent. The approach was chosen given the limited amount of data and the presence of noise.

When testing the model on data with a noise level of 20%, the following results were obtained: Test Loss 0.1328, MAE 0.3310

A value of 0.1328 Test Loss indicates a relatively low error, especially if the target values (power) were normalized in the range [0, 1]. In this case, the result can be considered good. A value

of 0.3310 MAE is also moderate, but the accuracy can be improved. If the power is normalized, the absolute error of 33% is acceptable, but can be reduced by further optimization of the model.

**PSO-GA.** Next, a hybrid model of neural network parameter optimization was implemented based on a combination of particle swarm optimization (PSO) and genetic algorithm (GA). This model uses PSO to roughly tune the parameters, and GA performs their subsequent refinement, which allows for an effective combination of global search and local optimization. The neural network model included 2 hidden layers with 10 neurons each and the ReLU activation function. The following settings were used to optimize the PSO parameters: the inertia coefficient was 0.5, the cognitive and social component coefficients were 1.5, the particle population size was set to 20, and the total number of iterations was 10. The particles updated their positions based on their own and global success history to quickly explore the parameter space.

Based on the found solution, the particle swarm method passed the optimized parameters to the genetic algorithm, which refined them using crossover and mutation operations. The following parameters were chosen for the genetic algorithm: crossover probability of 0.5, mutation probability of 0.2, and the total number of generations was 5. The population size for the genetic algorithm was also 20.

These settings were chosen to provide a balance between computational efficiency and model accuracy, as well as to minimize the mean square error during the testing phase. Test results: Test Loss: 0.0484, Test MAE: 0.1714

**NN-PSO.** The last to be implemented was a hybrid neural network model, the parameters of which were optimized using the particle swarm optimization (PSO) algorithm. The architecture of the hybrid models is the same as in the pairs of the previous two.

Results: Test Loss 0.0411, MAE 0.1565

### Final test and discussion

After training the models, their speed of adaptation to changes (response time), energy extraction efficiency (maximum achieved power) and noise immunity were tested.

The NN-GA model showed the maximum power of 35.82 W, which is inferior to other models, but compensated for this with the shortest response time - 0.0036 s / prediction. However, its accuracy significantly decreased with increasing noise level. For example, at a noise level of 30%, the loss was 0.3936, and the MAE reached 0.5910, as can be seen from the data in Table 1.

In contrast, PSO-GA demonstrated the highest power, reaching 100.24 W, and high noise immunity. At 30% noise level, its MAE was only 0.2062, as confirmed by Figure 2. However, the response time of this model was slightly higher than that of NN-GA, amounting to 0.0043 s/prediction.

The most balanced results were shown by the NN-PSO model. With a maximum power of 45.90 W and a response time of 0.0045 s/prediction, it demonstrated the best noise immunity among all models. For example, at 20% noise level, its MAE was only 0.1537, which is the lowest value among all the studied approaches.

The comparative analysis presented in Figures 3 and 4 confirms that the models using PSO cope with the power extraction task more efficiently, especially in high noise conditions. However, NN-GA remains preferable when minimizing response time is required (Figure 5).

Table 1

Performance of Models under Noise (MSE and MAE)

Model	Noise level (MSE)			Noise level (MAE)		
	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
NN-GA	0.4332	0.4371	0.3936	0.6193	0.6333	0.5910
PSO-GA	0.0494	0.0490	0.0690	0.1731	0.1727	0.2062
NN-PSO	0.0409	0.0388	0.0432	0.1565	0.1537	0.1611

Table 2

Models' MP and response time

Model	Maximum Power (W)	Response time (s/pred.)
NN-GA	35.82	0.0036
PSO-GA	100.24	0.0043
NN-PSO	45.90	0.0045

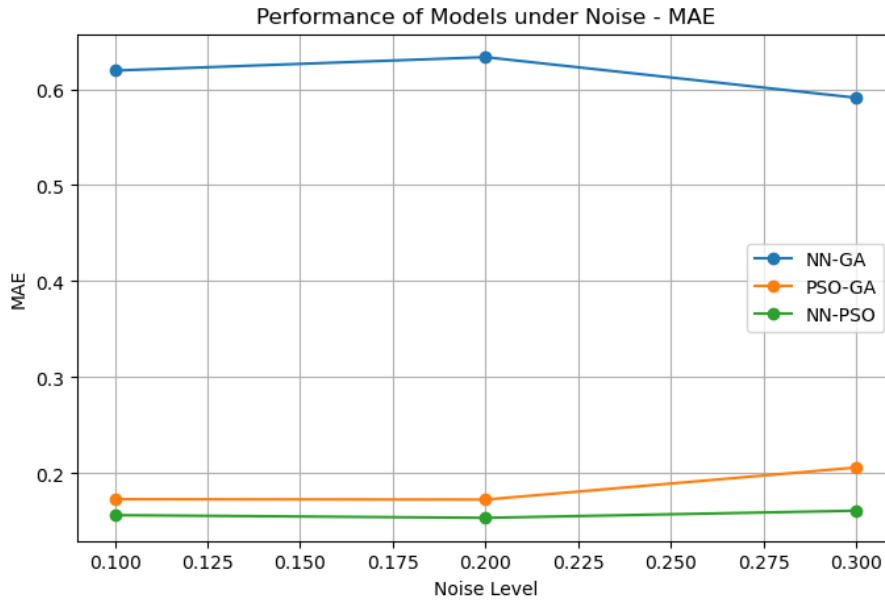


Figure 2. Performance of Models under Noise – MAE

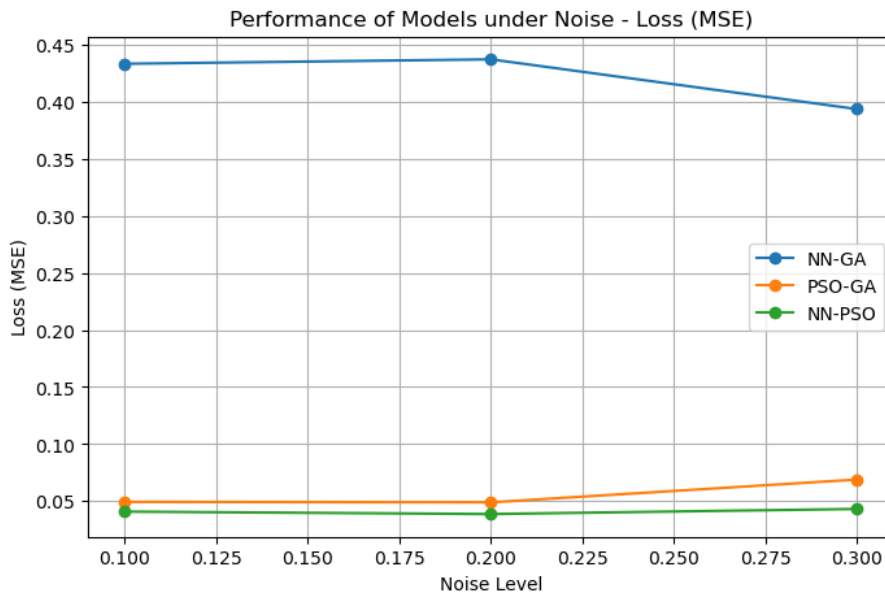


Figure 3. Performance of Models under Noise – Loss (MSE)



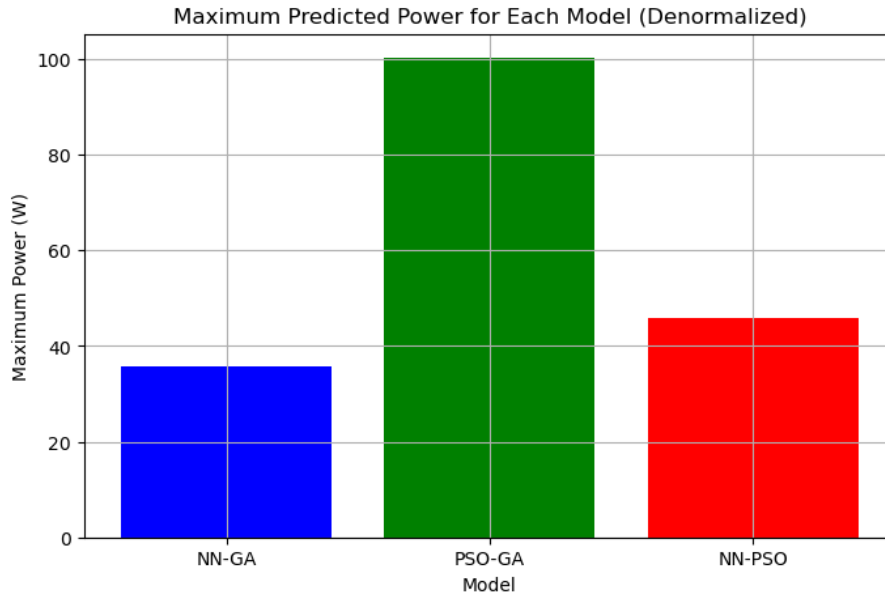


Figure 4. MPP for each model (Denormalized results)

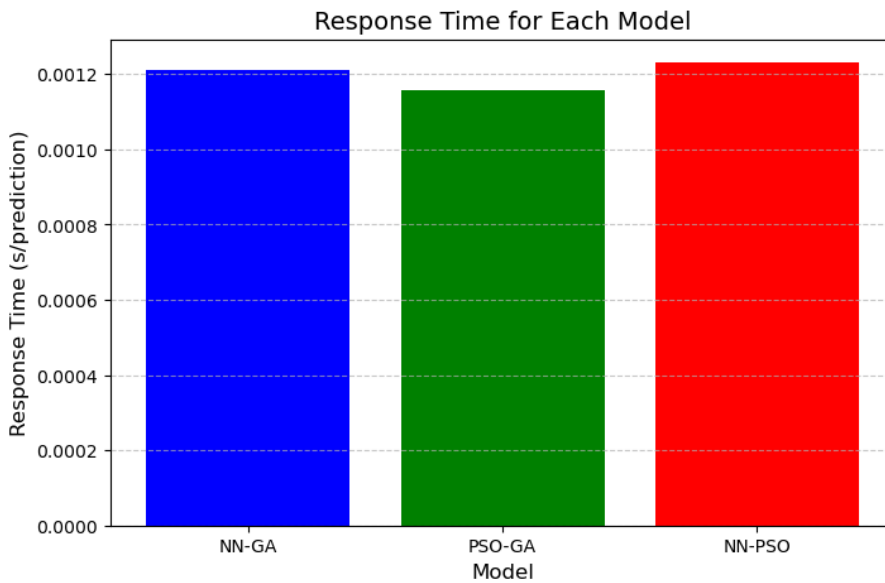


Figure 5. Response time for each model

### Conclusion

The comparative evaluation of three hybrid MPPT models—NN-GA, PSO-GA, and NN-PSO—demonstrated the unique advantages and limitations of each approach. The NN-GA model excelled in minimizing response time, making it suitable for applications requiring rapid adaptation to changing conditions. However, its performance was less robust under noisy data, highlighting its limited applicability in unstable environments. The PSO-GA model achieved the highest maximum power output, demonstrating superior efficiency and robustness across all tested noise levels. This makes it an ideal choice for scenarios where power extraction is the primary objective. The NN-PSO model, while achieving intermediate results in response time and maximum power, exhibited the highest robustness to noise, as evidenced by its low MAE at varying noise levels. This balance suggests its suitability for environments characterized by fluctuating and noisy conditions.

These results underscore the importance of selecting an MPPT algorithm based on specific operational priorities, whether it be response time, power extraction efficiency, or noise robustness. Future research could explore advanced hybridization techniques, integrating additional machine learning algorithms or optimization methods to further enhance MPPT performance in diverse real-world conditions.

#### REFERENCES

1. Motahhir S., El Hammoumi A., El Ghzizal A. The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 2020, №246, 118983.
2. Eltawil M.A., Zhao Z. MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, №25, pp. 793-813.
3. Sarvi M., Azadian A. A comprehensive review and classified comparison of MPPT algorithms in PV systems. *Energy Systems*, 2022, №13(2), pp. 281-320.
4. Christopher I.W., Ramesh R. Comparative study of P&O and InC MPPT algorithms. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2013, №2(12), pp. 402-408.
5. Elgendy M.A., Zahawi B., Atkinson D.J. Evaluation of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques. *6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012)*, 2012, pp. 1-6.
6. Bendib B., Belmili H., Krim F. A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, №45, pp. 637-648.
7. Elgendy M.A., Zahawi B., Atkinson D.J. Assessment of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques for PV pumping applications. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2011, №3(1), pp. 21-33.
8. Grossi E., Buscema M. Introduction to artificial neural networks. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*, 2007, №19(12), pp. 1046-1054.
9. Lamb A. A brief introduction to generative models. *arXiv preprint arXiv:2103.00265*, 2021.
10. Settles M. An introduction to particle swarm optimization. *Department of Computer Science, University of Idaho*, 2005, №2, pp. 12.

*Accepted: 13.12.2024*

## ARTIRILMASI İMKANLARININ TƏHLİLİ

İsa Rəhman oğlu Məmmədov<sup>1</sup>, Eldəniz Musail oğlu Hüseynov<sup>2</sup><sup>1</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan<sup>2</sup>Huawei şirkəti, Bakı, Azərbaycan

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF INCREASING NOISE IMMUNITY IN VARIOUS METHODS OF TRANSMISSION AND RECEIVING OF SIGNALS IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

İsa Rahman Mammadov<sup>1</sup>, Eldaniz Musail Huseynov<sup>2</sup><sup>1</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: isamamedov@bk.ru<https://orcid.org/0000-0002-3085-5312><sup>2</sup>Huawei Company, Baku, azerbaijan: eldaniz.huseyn@huawei.com<https://orcid.org/0009-0000-9284-7986>

**Abstract.** A comparative analysis of increasing the noise immunity, when multi-antenna reception and multi-antenna transmission methods using in mobile communication systems, was carried out. When two or more receiving antennas are used, the increase in the signal-to-noise ratio at the receiver has been calculated for two cases, where the phase of the received signals is known and unknown.

When two or more transmitting antennas are used, the increase in the signal-to-noise ratio has been calculated.

**Keywords:** Mobile communication system, capacity, frequency band, signal-to-noise ratio, system noise immunity, multipath propagation of radio waves.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**İlkin qeydlər.** Simsiz rabitə sistemlərində məlumat mübadiləsi radiorabitə kanalları üzərindən həyata keçirilir. Radiorabitə kanalı dedikdə yuxarı və aşağı sərhədi məlum olan məhdud tezlik zolağında işləyən kanal nəzərdə tutulur. Radiorabitə sistemlərinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün əsas meyar rabitə kanalının tutumudur [1], [2, s. 230-305]. Kanalın tutumu dedikdə məlumatın mümkün ən kiçik səhvlər ehtimalı ilə əldə olunmuş maksimum sürətlə verilişi nəzərdə tutulur [3, s.245-294], [4]. Müvafiq texniki ədəbiyyatlarda çox zaman rabitə kanalının buraxma qabiliyyəti ifadəsindən də istifadə olunur. Rabitə kanalının buraxma qabiliyyəti dedikdə vahid zamanda kanalla ötürülməsi mümkün olan informasiyanın maksimum dəyəri nəzərdə tutulur.

Ayrılmış tezlik zolağının istismarının səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün kanalın maksimum buraxma qabiliyyəti ilə kanalla ötürülən məlumat sürətini qarşılaşdırmaq lazımdır. Bunu analitik olaraq aşağıdakı riyazi ifadə ilə göstərə bilərik [5, s. 305]:

$$\varepsilon = \frac{R_s H}{B},$$

burada  $\varepsilon$  – spektral effektivlik,  $R_s$  – simvol sürəti,  $H$  – entropiya,  $B$  – kanalın buraxma zolağıdır.

Qauss “ag” küy kanalında kanalın tutumu məlum Şennon düsturu ilə aşağıdakı kimi hesablanır [3, s. 304]:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N} \right). \quad (1)$$

Burada  $C$  – kanalın bit/s ilə ifadə olunan maksimum tutumu,  $P$  – siqnalın gücü,  $N=N_oB$  – küyün gücü,  $P/N$  – siqnal/küy nisbəti,  $N_o$  – küyün intensivliyidir.

(1) ifadəsi kanalın buraxma qabiliyyəti ilə kanalın eni, siqnalın və küyün gücü arasındakı əlaqəni ifadə edir və göstərir ki, bu kanalda siqnal/küy nisbəti yaxşılaşdıqca və kanalın buraxma zolağı artdıqca, kanalın buraxma qabiliyyəti də artır. Şennon düsturuna əsasən deyə bilərik ki, baxılan kanalda yalnız iki əsas parametr var ki, onların idarə olunması ilə kanalın buraxma qabiliyyəti artırıla bilər. Bunlar kanalın tezlik buraxma zolağı və siqnalın gücüdür.

Kanalın eni və ya kanal üçün ayrılmış tezlik zolağı rabitə sisteminin əsas elektomaqnit ehtiyatı olmaqla məhduddur [1], [2, s. 204-370], [6, 7], [8, s. 206]. Bu o deməkdir ki, kanalın buraxma qabiliyyətini artırmaq üçün tezlik zolağının genişləndirilməsi heç də hər zaman mümkün olmaya bilər. Belə ki, bu ehtiyatların istifadəsi xüsusi qurumlar tərəfindən və qaydalar əsasında icra edilir. Bir çox hallarda əlavə tezlik zolağının istifadəsi əlavə xərclərlə müşayiət olunur. Bu baxımdan cari ehtiyatlardan istifadə etməklə sistemin ümumi tutumunun artırılması daha əhəmiyyətlidir.

Buraxma qabiliyyətinin artırılması üçün digər bir yanaşma siqnalın gücünün artırılması ola bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, xidmət zonasında yalnız bir mobil stansiya olduqda bu metod məqbul sayıla bilərdi. Lakin xidmət zonasında birdən çox mobil stansiyalar işlədikdə gücün artırılması ilə mobil stansiyaların şüalandırdığı siqnallar arasında interferensiyalar güclənəcəkdir. Dolayısı ilə siqnalın gücünün artırılması heç də hər zaman buraxma qabiliyyətinin artırılmasına kömək etməyəcək, əksinə müəyyən hallarda buraxma qabiliyyətinin azalması ilə nəticələnməcəkdir.

Şennon düsturuna əsasən deyə bilərik ki, kanalda küy sifra yaxınlaşdığı halda kanalın buraxma qabiliyyəti maksimum qiymət alacaqdır. Bu isə o deməkdir ki, kanalda mümkün olan küylərlə mübarizə aparmaqla, yəni maneədayanıqlığını artırmaqla kanalın buraxma qabiliyyətini artırmaq mümkündür. Bu baxımdan rabitə kanalının maneədayanıqlığının artırılması məqsədilə yeni yanaşmaların müəyyən edilməsi, yeni üsulların tətbiqinin nəzərdən keçirilməsi əhəmiyyətli ola bilər [9, s. 245-367].

**Məsələnin qoyuluşu.** Yuxarıdakı mülahizələrdən bir daha aydın olur ki, kanalın buraxma qabiliyyətinin artırılması maneədayanıqlığının və deməli, siqnal/maneə nisbətinin artırılması ilə sıx bağlıdır. Rabitə sisteminin maneədayanıqlığının artırılması problemi telekommunikasiya nəzəriyyəsinə yeni bir problem deyil və bu problemin həllinə çoxsaylı elmi tədqiqatlar həsr olunmuşdur. Burada məqsədimiz maneədayanıqlığının artırılması üçün yeni metodun təklifi və tədqiqi deyil. Hazırda mobil rabitə sistemlərində çox zaman tətbiq olunan çoxantenalı qəbul və çoxantenalı veriliş şəraitində maneədayanıqlığının və bunun nəticəsində sistemin buraxma qabiliyyətinin artımının müqayisəli təhlili maraqlıdır.

Radiodalğaların yayıldığı mühit (radiorabitə xətti) elə bir mühitdir ki, onu xarakterizə edən göstəricilər ətraf təsirlərə həssas olur və kanalın keyfiyyəti və rabitənin etibarlılığı zaman və tezlik dəyişdikcə dəyişir.

Radiorabitə kanalı ilə məlumatın ötürülməsi zamanı əksolunmaların təsiri nəticəsində radiodalğaların çoxşüalı yayılması baş verir ki, bu da radiodalğaların əlavə sönməsinə səbəb olur. Sönmələr olan mühitdə qəbul olunmuş siqnalın gücü məsafədən və ya zamandan asılı olaraq dəyişir [2, s. 345-375], [3, s. 336-380], [4]. Sönmələrin olması siqnalın qəbulunu çətinləşdirir və kanal üzrə məlumatın verilmə sürətinin məhdudlaşmasına səbəb olur. Müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda radiokanallar üzrə sönmələri sürətli və yavaş sönmələr kimi iki qrupa bölürlər [4]. Sönmələrlə mübarizənin üsullarından biri də rabitə kanalında məlumat ötürülməsi zamanı yuxarıda adı çəkilən müxtəlifliyin tətbiqidir. Dalğaların çoxşüalı yayılması səbəbindən siqnal radioqəbuledicinin girişinə fərqli yollarla gəlir. Qəbul edilir ki, fərqli qəbul yollarında sönmələrin səviyyəsi də fərqlidir. Fərqli yollarla radioqəbuledicinin girişinə gələn siqnalların müxtəlif səviyyəli sönmələrə məruz qalması müxtəliflik prinsipinin əsasını təşkil edir. Radioqəbuledicidə onun girişinə fərqli yollarla gələn siqnalların ələ birləşdirilməsi yerinə yetirilə bilər ki, yekun siqnalda sönmələrin təsiri azalmış olsun. *Məqalənin məqsədi* radiorabitə kanallarında radiodalğaların çoxşüalı yayılması şəraitində müxtəlif veriliş və müxtəlif qəbul şərtlərində rabitə sisteminin maneədayanıqlığının artırılması üsullarının müqayisəli təhlilidir.

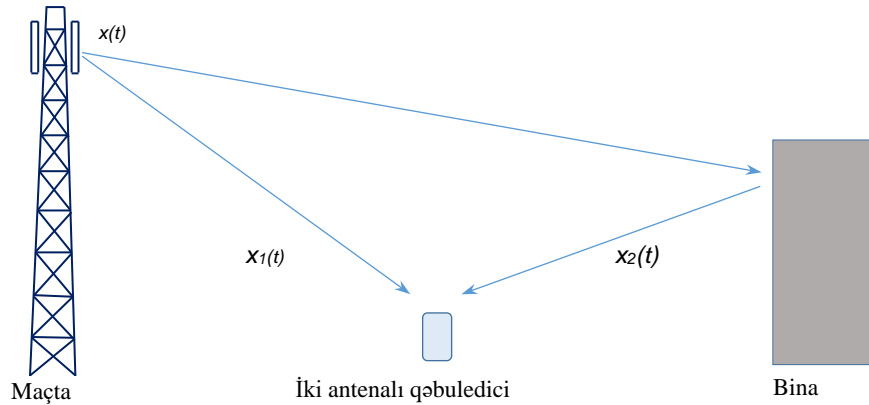
**Məsələnin həlli.** Mobil rabitə sistemlərində radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin səviyyəsinin kompensasiya olunması məqsədilə ya çox sayda verici antena, ya da çox sayda qəbuledici antena istifadə edilə bilər. İkinci bir metod isə fərqli polarizasiyalı iki verici və ya iki qəbuledici antenanın istifadə edilməsidir. Məlumatın fərqli tezlikli radiosiqnallar vasitəsilə ötürülməsi üçüncü alternativ metod kimi təqdim oluna bilər. Müqayisə üçün qeyd etmək lazımdır ki,

ilk iki metod heç bir əlavə tezlik zolağı tələb etmədiyi halda, sonuncu metoddə həm əlavə güc, həm də əlavə tezlik zolağı tələb olunur. Birinci metodun tətbiqi ilə maneədayanlıqlığının artırılması imkanlarını tədqiq edək. Bu məqsədlə iki qəbuledici və iki verici antenalar vasitəsilə siqnalların verilməsi və qəbulu zamanı siqnal/küy nisbətini artırılması imkanlarını ayrı-ayrılıqda araşdıraq.

### 1. Çoxantenalı radioqəbul üsulunda maneədayanlıqlığının artırılması imkanlarının təhlili.

Mobil rabitə sistemlərində qəbul məntəqəsində bir neçə, çox zaman iki qəbuledici antenadan istifadə edilə bilər [10, s. 123-234]. Bu zaman qəbuledicinin girişinə fərqli yollarla gələn siqnalların eyni fazada cəmlənməsi və sonradan siqnalın emal olunması nəticəsində siqnal/küy nisbəti bir antena ilə qəbullə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşa bilər [11, s. 18-22]. Fərqli antenalarla qəbul edilmiş siqnallar fərqli yollarla yayımlandığından, onlar ümumi halda fərqli sönmələrə məruz qalır. Əgər qəbul yollarının sayı  $K$  olarsa, onda bu üsul qəbulda siqnal/küy nisbətini  $K$  dəfə artmasını şərtləndirir.

Məlumatların ötürülməsi zamanı rabitə xəttində baş verən kompleks sönmə  $r_i e^{j\theta_i}$  ilə ifadə oluna bilər [3, s. 23-197], [12]. Bu sönməni nəzərə alsaq, qəbuledicinin girişindəki siqnal  $x(t) = s(t)r_i e^{j\theta_i}$  ifadəsi ilə göstərilə bilər. Sadəlik üçün qəbulun iki antena ilə həyata keçirildiyini və hər iki kanalın Reley kanalı olduğunu qəbul edək (şəkil).



Reley kanalında iki şüanın qəbuluna dair

Hər iki antenadan qəbul olunan siqnalların  $r_i e^{j\theta_i}$  sönməsinə məruz qaldığını, lakin fərqli fazalarda olduğunu fərz edək. Bu halda həmin siqnalların cəmlənməsi zamanı cəm siqnalın səviyyəsi artmaq əvəzinə azala bilər ki, bu da öz növbəsində qəbul edilmiş siqnalın dekodlanmasını çətinləşdirəcəkdir (şəklə bax). Bunun qarşısını almaq üçün şəkildə göstərilən müxtəlif qollardakı siqnallar ilk öncə eyni fazaya gətirilməlidir. Araşdırma zamanı fərz edilir ki, qəbul edilmiş siqnalların fazası qəbuledicidə məlumdur. Faza məlum olmayan halda qəbuledicidə koherent detektorlama tətbiq edilir ki, bu da faza ilə yanaşı, həm də qəbul yollarındakı siqnal/küy nisbətini müəyyən etməyə kömək edir. Qəbul olunmuş siqnallardakı  $r_i e^{j\theta_i}$  ( $i = 1, 2$ ) sönmələrin səviyyəsini azaltmaq üçün onlar  $a_i e^{-j\theta_i}$  ( $i = 1, 2$ ) vuruğuna vurularaq cəmlənir. Vuruqdakı “-” işarəsi qəbul edilmiş siqnal ilə müqayisədə fazanın əks olduğunu göstərir. Nəticə olaraq fərqli yollarla gələn siqnallardakı faza fərqi aradan qaldırılır və cəmləndikdən sonra  $x(t)$  siqnalı birantenalı qəbul ilə müqayisədə  $\sum_i a_i r_i$ ;  $i = 1, 2$  dəfə artmış olur.

Faydalı siqnalın küy ilə müqayisədə gücünü göstərmək üçün siqnal/küy nisbəti ( $SNR$ ) dəyərindən istifadə edilir və  $SNR = P_{siqnal} / N_{küy}$  hesablanır. Baxılan halda hər iki qəbul qolu üçün siqnal/küy nisbəti  $\gamma_i = \frac{r_i^2}{N_i}$ ;  $i = 1, 2$  kimi müəyyən edilə bilər [3, s. 221-236].

Hər iki antena vasitəsilə qəbul edilmiş siqnallar cəmləndikdən sonra siqnal/küy nisbətini aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{(\sum_{i=1}^2 \alpha_i r_i)^2}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i^2 N_i}$$

Burada  $(\sum_{i=1}^2 \alpha_i r_i)$  – faydalı siqnalın,  $\sum_{i=1}^2 \alpha_i^2 N_i$  – qollardakı küylərin cəmidir.

Fərz edək ki, qəbul qollarında sönmə yoxdur, yəni yayılma zamanı siqnal sönmələrə məruz qalmır və qollarda küylərin gücü  $N = N_0 B$  eynidir. Bu hal üçün yuxarıdakı ifadəni aşağıdakı formaya gətirə bilərik:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{(\sum_{i=1}^2 \alpha_i r_i)^2}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i^2 N_0 B} = \frac{(\sum_{i=1}^2 r_i^2)^2}{N_0 B \sum_{i=1}^2 r_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^2 r_i^2}{N_0 B} = \sum_{i=1}^2 \gamma$$

Bu ifadə deməyə əsas verir ki, bir antena ilə müqayisədə iki antenalı qəbul zamanı iki qol üzrə qəbul aparılması və koherent cəmlənmə yerinə yetirilməsi nəticəsində siqnal/küy nisbəti iki dəfə artır və ya sistemin ümumi siqnal/küy nisbəti qollardakı siqnal/küy nisbətindən cəminə bərabər olur.

Əgər  $M$  sayda antena ilə qəbul tətbiq etsək, onda

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{(\sum_{i=1}^M \alpha_i r_i)^2}{\sum_{i=1}^M \alpha_i^2 N_0 B} = \frac{(\sum_{i=1}^M r_i^2)^2}{N_0 B \sum_{i=1}^M r_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^M r_i^2}{N_0 B} = M \gamma \quad (2)$$

(2) ifadəsindən aydın olur ki, sönmələrin olmadığı hal üçün müxtəlif antenalardan qəbul edilmiş siqnalların koherent cəmlənməsi hesabına qəbul edilmiş siqnalın tək antenalı qəbul ilə müqayisədə  $M$  dəfə güclənməsi mümkün olur. Çoxsaylı antenalar vasitəsilə qəbul zamanı əldə edilmiş güc qazancı massiv güc qazancı adlandırılır və sönmələrin mövcud olduğu kanallarda daha yaxşı göstəricilərə nail olmağa şərait yaradır.

Təcrübələr göstərmişdir ki, bu metodun tətbiqi qəbulda siqnal/küy nisbətindən 20... 30 dB yaxşılaşdırılmasına şərait yaradır [2, s. 343-365].

**2. Çoxantenalı radioveriliş üsulunda maneədayanıqlığının artırılması imkanlarının təhlili.** Radioqəbul şəraitinin müxtəlifliyinin əksinə olaraq bu üsulda bir neçə antena verici tərəfdə istifadə edilir. Ötürülən siqnalın gücü antenalar arasında bölüşdürülür. Bu üsulda güc antenalar arasında bölüşdürüldüyündən radiovericidən əlavə güc tələb olunur. Bu baxımdan qeyd olunan üsulun adətən güc çox olan tərəfdə, məsələn, mobil rabitə sistemlərində baza stansiyası tərəfdə tətbiq olunması daha əlverişli sayıla bilər. Radioveriliş müxtəlifliyi kimi iki hal fərqləndirilir. Bu fərqin əsasını radiovericinin kanal üzrə gücünün verici tərəfdə əvvəlcədən məlum olub-olmaması təşkil edir.

Radioveriliş xətti üzrə siqnal/küy nisbəti qazancının  $r_i e^{j\theta_i}$  məlum olduğu hal üçün  $i$  verici və qəbuledici antenalar arasındakı rabitə xəttinə qoşulmuş radioqəbuledicinin girişində siqnal/küy nisbəti aşağıdakı kimi hesablanır [3, s. 326]:

$$\gamma_i = \frac{r_i^2 P_t}{N_0 B}$$

burada  $P_t$  – ötürülən siqnalın orta gücü,  $N_0 B$  – qəbuledicidə küyün gücüdür.

$\gamma_i$  – gücə görə siqnal küy nisbətini ifadə edir. Ona görə də küyün intensivliyini tezlik buraxma zolağına vurmaqla küyün gücünü müəyyən edirik. Bitin enerjisinə görə nisbət müəyyən olunduqda isə bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətini hesablamaq lazım gəlir.

Aydındır ki, ümumi siqnal/küy nisbətini tapmaq üçün bütün qollardakı siqnal/küy nisbətlərini cəmləmək lazımdır.  $M$  sayda verici antena üçün yazırıq:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{P_t}{N_0 B} \sum_{i=1}^M r_i^2 = \sum_{i=1}^M \gamma_i \quad (3)$$

(2) və (3) ifadələrindən görüldüyü kimi siqnal/küy nisbəti üzrə yol qazancı məlum olduqda radioveriliş müxtəlifliyi radioqəbul müxtəlifliyinə yaxın olur.

Veriliş xətti üzrə qazancın məlum olması veriliş müxtəlifliyinin qiymətləndirilməsi üçün önəm daşıyır. Belə ki, siqnalın gücü antenalar arasında məntiqli bölünə bilir və verilən siqnallar qəbuledicinin girişində koherent olur. Yuxarıda qeyd olunanlar əsasında deyə bilərik ki, veriliş bir neçə antena ilə aparıldıqda sistemin manedayanıqlığı yaxşılaşır. Bu, siqnal/küy nisbətinin ümumi qiymətinin artmasında özünü göstərir.

Veriliş xəttinin qazancı məlum olmadığı halda ötürülən enerjinin antenalar arasında məntiqli bölünməsi mümkün olmur. Həmçinin koherent birləşmənin alınmaması səbəbindən iki antenalı verici müxtəlifliyinin üstünlüyü müəyyən oluna bilmir.

Lakin fəza və zaman müxtəlifliyini nəzərə alaraq tətbiq edilən Alamouti sxemi müxtəlif veriliş üsullarının işini qiymətləndirməyə şərait yaradır [3, s. 404-412].

(2) və (3) ifadələrindən də göründüyü kimi, həm qəbulda, həm də vericidə müxtəlifliyin tətbiqi siqnal/küy nisbətinin yaxşılaşdırılması ilə nəticələnir. Siqnal/küy nisbətinin yaxşılaşması isə (1) ifadəsinə görə kanalın səmərəliliyinin artmasına səbəb olur.

**Nəticə.** Mobil rabitə sistemində bir neçə qəbuledici antenadan istifadə edildikdə və qəbul edilmiş siqnalların fazası qəbuledicidə məlum olduqda müxtəlif qollardakı siqnallar ilk öncə eyni fazaya gətirilməli, sonra bu siqnalların cəmlənməsi yerinə yetirilməlidir. Faza məlum olmayan halda qəbuledicidə koherent detektorlama tətbiq edilməlidir ki, qəbul olunmuş siqnallardakı sönmələrin səviyyəsini azaltmaq üçün onlar qəbul edilmiş siqnal ilə müqayisədə əks fazalı vuruğa vurularaq cəmlənməlidir. Nəticə olaraq fərqli yollarla gələn siqnallar cəmləndikdən sonra  $x(t)$  siqnalı bir antenalı qəbul ilə müqayisədə  $\sum_i a_i r_i$  dəfə artmış olur.

Bir neçə verici antenadan istifadə edilməsilə aparılan veriliş bir neçə qəbuledici antenadan istifadə etməklə aparılan radioqəbul üsuluna təxminən bərabər siqnal/küy nisbəti artımı təmin edir. Lakin dərin sönmələr baş verən kanalların mövcud olması ehtimalını nəzərə alaraq daha çox bir neçə qəbuledici antenadan istifadə etmək məqsədəuyğun hesab oluna bilər.

## ƏDƏBİYYAT

1. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast>.
2. Andrea, G. Wireless Communications. Cambridge, "Cambridge University Press", 2005, 674 p.
3. David, T. Pramod Viswanath, Fundamentals of Wireless communication. Cambridge, "Cambridge University Press", 2005, 564 p.
4. MacKenzie, A. B., Wicker, S. B. Game theory in communications: motivation, explanation, and application to power control," GLOBECOM'01. IEEE Global Telecommunications Conference (Cat. No.01CH37270), San Antonio, TX, USA, 2001, vol.2, p. 821-826. doi: 10.1109/GLOCOM.2001.965533.
5. Листопад, Н.И. Теоретические основы цифровой радиосвязи. Учеб. Пособие. Минск, «БГУИР», 2012, 330 с.
6. Lee, J. W., Mazumdar, R. R., Shroff, N. B. Opportunistic power scheduling for dynamic multi-server wireless systems. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, vol. 5, June No. 6, p.1506-1515, doi: 10.1109/TWC.2006.1638671.
7. Berrou, C., A. Glavieux, A., Thitimajshima, P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. 1," Proceedings of ICC '93. IEEE International Conference on Communications, Geneva, Switzerland, 1993, vol.2, p. 1064-1070. doi: 10.1109/ICC.1993.397441.
8. Мухин, А.М., Чайников, Л.С. Энциклопедия мобильной связи. Том 1. Санкт-Петербург, «Наука и техника», 2001, 240 с.
9. Галькин В.А. Цифровая мобильная связь. Москва, «Горячая линия –Телеком», 2012, 592 с.
10. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. Москва, «Эко-Трендз», 2007, 296 с.
11. Кашкаров, Д.В. Модель и метод оценки надежности сетей связи пятого и последующих поколений. Электро-связь, 2022, № 5, с. 18-22.
12. Yang, L. Power Control in Wireless Networks. Encyclopedia of Wireless Networks. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78262-1\\_163\(2020\)](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78262-1_163(2020)).



**MOBİL RABİTƏ SİSTEMLƏRİNDƏ SİQNALLARIN MÜXTƏLİF ÜSULLARLA VERİLİŞİ VƏ QƏBULU  
ZAMANI MANEƏDAYANIQLIĞININ ARTIRILMASI İMKANLARININ TƏHLİLİ**

**İ.R.Məmmədov, E.M.Hüseynov**

**Xülasə.** Mobil rabitə sistemlərində çoxantenalı qəbul və çoxantenalı veriliş üsullarından istifadə etdikdə maneədayanıqlılığının artırılmasının müqayisəli təhlili aparılmışdır. İki və daha artıq sayda qəbuledici antenadan istifadə olunduqda qəbuledicidə siqnal/maneə nisbətinin artması qəbul edilmiş siqnalların fazası məlum olduğu və məlum olmadığı iki hal üçün hesablanmışdır.

İki və daha artıq verici antenadan istifadə olunduqda siqnal/maneə nisbətinin artması hesablanmışdır.

**Açar sözlər:** *Mobil rabitə sistemi, buraxma qabiliyyəti, tezlik buraxma zolağı, siqnal/küy nisbəti, sistemin maneədayanıqlığı, radiodalğaların çoxşüalı yayılması.*

*Accepted: 19.12.2024*

## INFLUENCE OF FILLER AND APPRETE ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE BASED ON LOW DENSITY POLYETHYLENE AND MINERAL ROC “GIZIL ZOD”

Valeh Jabbar Jafarov, Nahida Amanulla Alimirzaeva, Gulnara Huseynchan Musaeva,  
Sanam Musa Khalilova, Mansura Camal Rajabova

*Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education of the  
Republic of Azerbaijan, Sumgait, Azerbaijan: nahidalimirzayeva@gmail.com*

*<https://orcid.org/0009-0005-8530-3418>, <https://orcid.org/0009-0005-7864-170X>,*

*<https://orcid.org/0009-0008-4372-1277>, <https://orcid.org/0009-0005-8693-0122>,*

*<https://orcid.org/0009-0006-0984-1553>*

**Abstract.** The article produces a new generation of composites with different ratios of components based on low-density polyethylene (LDPE) and natural mineral from the village of Gızıl Zod in the Kelbajar region. The influence of the filler on the properties of the resulting composites was studied. In order to improve the adhesion between the polymer matrix and the filler and obtain composites with higher physical and mechanical properties, a sizing agent is included in the system. A copolymer of heptene-1 with maleic anhydride was taken as a coupling agent (apprete). It has been established that the properties of the resulting polymer composites directly depend on various factors: the structure of the polymer matrix, the amount and dispersion properties of fillers, and the properties of the sizing agent formed and acting on the interfacial layer.

**Keywords:** low-density polyethylene (LDPE), natural mineral "Gızıl Zod", copolymer of maleic anhydride and heptene-1, tensile strength ( $\sigma$ ), elongation at break ( $\epsilon$ ), melt yield strength (MFL)

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

One of the developed areas of chemistry in our time is the preparation of various composites by mixing polymers and including individual fillers in the resulting composites. As a result of the influence of a number of properties of fillers on polymer composites, new types of composite materials with high physical and mechanical properties have been obtained. Materials obtained by this method are considered necessary raw materials in various fields of technology - in radio engineering, electrical engineering, mechanical engineering, in the direction of purchasing various household materials.

Relatively high results can be obtained by determining the optimal proportions of the necessary components to obtain high-quality composites [1-3].

From the studies conducted, we can conclude that the composition, nature, quantity, and dispersion of the filler have a positive effect on the quality of the composite and thereby lead to an expansion of the areas of application of the resulting material [4].

The minerals used as fillers are solid. However, the material that plays the role of a modifier can be either a liquid or a gas aggregate. When polymers are filled with gases, a polymer-foam composite is obtained, thus it is possible to reduce the density of materials or increase intramolecular pores. Filling polymers with liquid is a technologically complex process. Using liquid filler emulsions, it is possible to obtain a solid and fairly durable material as the final product.

In a number of literature sources, polyolefins are used as a polymer matrix.

This is due to the fact that they have many positive characteristics. Thus, the positive properties of polyethylene, such as ease of production, low cost, environmental friendliness and safety, relatively low density and crystallinity, necessitate its use as a matrix.

There is quite a lot of scientific research in the direction of producing composites using materials of different sizes as modifiers. The use of nano-sized particles as a filler is among the research works with positive results. Since nanofillers are active particles, they are stabilized in certain polymer matrices. Using metal oxide nanoparticles stabilized in a polymer matrix as a filler, various polymer composites with improved physical-mechanical, thermophysical, rheological, and thermal properties were obtained [5].

### **Goal of the work**

One of the most global problems of our time is environmental protection and ensuring the protection and integrity of natural resources. Environmental pollution from industrial and household waste leads to the spread of various diseases among people, weakened immunity and the emergence of a number of global problems. From this point of view, the production of environmentally friendly and safe materials obtained by simpler processing methods and the use of cheap raw materials is considered very important.

One of the important problems of economic development is the issue of efficient use of natural resources and maintaining environmental balance. The basis of the work carried out in this direction is the purchase of polymer composite materials with high performance indicators using intermediate products and waste generated during the production and processing of polymers [1].

Interest in polyethylene and composites based on it is due to their high physical and mechanical properties [1, 2]. In the chemistry and technology of polymers, the problem of creating a new generation of polymer composite materials with significantly improved properties comes to the fore. Low-density polyethylene (LDPE) composites are considered a promising material in terms of low cost, high tensile strength, elongation at break and high temperature resistance.

Currently, it is considered a very convenient way to introduce fillers into polymers that are compatible with polymer materials and capable of creating a synergistic effect. Therefore, to solve the required number of technical and environmental problems, much attention is paid to the development of technology for the production of polymer composite materials [3-4]. Sizing agents are suitable for processing a homogeneous mass, for example, vinyl acetate with maleic anhydride, hexene-1, heptene-1, etc. Copolymers have been synthesized. As a result, to obtain a composite, 3-5 wt.% of a sizing agent (apprete) was introduced into the composition as a sizing agent.

Taking all this into account, composites with different ratios of components were obtained based on natural rocks (fillers) from local mineral deposits and low-density polyethylene (LDPE).

### **Formulation of the problem**

The properties of the resulting new type of composites are determined by the fact that the polymer matrix is mixed with filler and located in the interfacial layers.

Also, the inclusion of natural mineral fillers of various compositions into polymers as modifiers leads to the production of composites with relatively better fire-resistant properties [1].

The mechanism of consolidation of composites is a difficult process to understand. In this regard, many researchers have conducted their research by adding rubber to the system in order to increase the hardness of the polymer composite. The fact that elastomers have an amorphous structure and thus form domains in the system due to the disruption of adhesion leads to an increase in the thermal strength of the composite [2].

Natural mineral fillers increase the viscosity and processing temperature of the polymer. The hardness of the outer surface of the resulting material increases and the difference from the original shape disappears.

### **Solution to the problem**

The presented work is devoted to the study of filled polymer composites based on LDPE produced by the ethylene-polyethylene plant of the Sumgayit Industrial Park. Republic of Azerbaijan, Kelbajar region Natural minerals "Gyzyl Zod" were used as a filler.

Since the beginning of the 20th century, special attention has been paid to replacing metal, wood, fabric and other natural materials with more cost-effective, lightweight, durable and resistant to harsh environmental conditions, easily taking any shape and various synthetic materials. [6-7].

The rapid growth in the production of plastic products causes the need to recycle plastic waste [8-9].

For many years, employees of the laboratory “Recycling and Ecology of Polymer Materials” of the Institute of Polymer Materials have been purchasing composite materials filled with natural minerals, such as polyolefins and fillers, and using various copolymers synthesized by them as coupling agents, as well as various properties of the resulting composite samples, for example, - physical and mechanical properties, determine the fluidity index of the alloy [10].

Taking all this into account, current scientific research is being conducted in the direction of obtaining new composites with various components and increasing their physical and mechanical properties by applying various modifiers to the resulting mixtures.

The polymer matrix is low-density polyethylene (LDPE), the filler is rock with the natural mineral “Golden Zod”. A copolymer of maleic anhydride and heptene-1 was taken as a coupling agent. The mine rock used as filler has the following mineralogical composition.

Table 1

Mineralogical composition, %

Conventional name of samples	$(\text{Mg,Al})_3((\text{Si,Fe})_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ Alisardite	$\text{MgFe}_2\text{O}_4$ magnesium ferlite	Other mixtures
№1 “Gyzyl Zod”	88	10	2
№ 2			
№3 Waste mining	87	13	2

The chemical composition of the natural mineral included as a filler in polymer composites is given in the table below.

Table 2

Chemical composition of the presented samples, %.

Conventional name of samples	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$
№1 “Gyzyl Zod”	0,01	36,94	0,57	36,54	0,01	0,28	0,01	0,21
№2	0,14	9,48	12,93	40,24	0,12	0,13	0,02	26,37
№3 Waste mining	0,01	34,91	0,53	37,14	0,01	0,11	0,01	0,30

$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{NiO}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Cl}^-$	YTI
0,01	0,12	11,00	0,45	0,40	0,07	13,34
0,98	0,05	5,01	0,02	0,03	0,01	4,46
0,01	0,14	12,52	0,61	0,53	0,10	13,06

Note: YTI – 950°C indicates the amount of volatile components.

In addition to SiO<sub>2</sub>, the natural mineral that we take as a filler contains a number of other compounds in mass fractions.

The physical and mechanical properties of the resulting composites are given in Table 3.

Physico-mechanical properties of the resulting compositions  
Without Apprete

Table 3

№	Components w. %	Stretching force, $\sigma$ , MPa	Relative elongation, $\epsilon$ , %	MFR
1.	LDPE-100	11.0	45	5.9
2.	LDPE-70 Filler-30	29.6	16	5.4
3.	LDPE-60 Filler-40	30.6	8	4.5
4.	LDPE-50 Filler-50	32.7	4	3.8
5.	LDPE-40 Filler-60	25.0	4	1.4
6.	LDPE-30 Filler-70	19.0	4	0.4

From the data presented in Table 3, it is clear that the tensile strength takes its maximum value when the ratio of the components included in the composite, LDPE-50 and filler is 50 wt.%.  $\sigma=32.7$  MPa. This is explained by an increase in the strength of the resulting composite with an increase in the amount of filler. However, with a subsequent increase in the amount of filler, the value of the tensile strength of the sample decreases and, as a result, it takes on a minimum value ( $\sigma = 19.0$  MPa) with a component ratio of LDPE-30 and filler of 70 wt.%. This is explained by an increase in brittleness due to microdefects that can occur within the composite.

The relative elongation values of composite samples correspondingly decrease as the amount of filler increases. The alloy flow index values obtain lower values as the mass % of the filler increases. This is explained by a decrease in fluidity depending on the nature of the filler. Summarizing the results of the presented studies, we can conclude that the content of a composite filler polymer with excellent deformation resistance properties is 50/50% by weight.

In continuation of the research and in order to ensure or improve the compatibility of the polymer matrix with the filler, as well as to obtain composites with high-quality physical and mechanical properties, an analysis of the properties was carried out by adding a copolymer of maleic anhydride with heptene-1 in the form of a coupling system.

**Polymer matrix** - low density polyethylene (LDPE). brand-10803-020.

**Filler** - mining rock "Kyzyl Zod".

**The coupling agent (apprete)**- is a copolymer of maleic anhydride with heptene-1.

Apprete is included in the system in an amount of 3 mass%, regardless of the ratio of the components.

Looking at Table 4, we see the values of physical and mechanical indicators. Tensile strength of a sample with 50/50 wt. % LDPE and filler by weight takes the maximum value ( $\sigma=33.3$ ). It is observed that the strength gradually decreases with a subsequent increase in the amount of filler.

When studying the effect of adding a sizing agent to the system, we see that the strength of a sample with a component ratio of 50/50% receives its maximum value as a result of mixing the sizing agent in an amount of 3% by weight. With a further increase in the amount of filler, the tensile strength value gradually decreases, as in the case of samples without sizing. As a result, the minimum price for a LDPE-filler-sizing sample becomes relevant at a component ratio of 30/70/3 wt.%. In samples with a large amount of filler in the system, the decrease in strength and low values are explained by

the observation of brittleness due to the formation of microdefects inside the composite. As can be seen from Table 4, the results in the case of the sizing agent are similar.

Physico-mechanical properties of composite samples  
With apprete

Table 4

№	Components, %	Stretching force, $\sigma$ , MPa	Relative elongation, $\epsilon$ , %	MFR
1.	LDPE-70 Filler-30 Apprete-3	28.4	16	3.5
2.	LDPE-60 Filler-40 Apprete-3	29.7	12	2.9
3.	LDPE-50 Filler-50 Apprete-3	33.3	8	2.4
4.	LDPE-40 Filler-60 Apprete-3	23.6	4	1.2
5.	LDPE-30 Filler-70 Apprete-3	19.4	4	0.4

The melt flow index values decrease with increasing filler amount. The same results are observed when adding a sizing agent to the system.

In order to increase the adhesion of the polymer matrix to the filler and achieve higher physical and mechanical properties when obtaining composite samples in various mass% ratios by adding a sizing agent to the system, the maximum value of the tensile strength is set higher than the results of samples without sizing agent.  $\sigma=32.7$  MPa for LDPE/Dol.-50/50% without sizing agent and  $\sigma=33.3$  MPa for LDPE/Nap./Ap.-50/50/3% with sizing agent. From this we can conclude that the influence of the primer on a homogeneous system containing a filler polymer is undeniable.

### Conclusion

Based on low-density polyethylene and natural mineral fillers, polymer composites with different ratios of components were obtained and the influence of the filler and primer on the system was studied. Composite samples with different mass% ratios were obtained, and to increase the compatibility of the matrix with the filler and obtain composites with better physical and mechanical properties, a copolymer synthesized in the laboratory was introduced into the system.

As a result of the research, it was concluded that the sample with the highest physical and mechanical properties among the samples without sizing and with sizing has a component ratio of 50/50%.

The acquisition and study of polymer composites of various compositions shows that scientific research in this direction gives very good results, and the resulting polymer composites with high properties can be used in various fields.

The resulting polymer composites can be used in various fields of technology as structural materials for technical purposes.

Therefore, the presented research work is considered to be economically and environmentally beneficial.

REFERENCES

1. Bektaşı N.R., Cəfərov V.C. Yeni tərkibli ASPE-nin təkrar emalı əsasında doldurulmuş sistemlər. PMİ-50.Sumqayıt. 2016. s.83
2. Babayeva G.R., Vəliyev İ.V., Bektaşı S.Ə., Cəfərov V.C. Aşağı sıxlıq polietileni əsasında kompozisiyalar. AMEAPolimer Materialları İnstitutunun Tədqiqatları (Elmi əsərlərin toplusu), Sumqayıt. 2014. s. 154-160
3. Jafarov V.J., Allahverdiyeva X.V., Rajabova M.C., Xalilova S.M. Defining of optimal ratio for creation of filled systems on the basis of polyethylene and its influence on the composition properties. Akademik A.A.Əfəndiyevin 75 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransı. Sumqayıt. 27-28 iyun. 2013. pp. 163-165
4. Ферричио Т. Х. Основные принципы выбора и использования дисперсных. М.: Химия, 1981, с. 30.
5. Alimirzayeva N.A. Metal-containing nanocomposites based on isotactic polypropylene and ethylene propylene diene rubber. Azerbaijan Chemical Journal. Baku. 2020. №1. pp. 41-45
6. Шыхалиев Дж.С., Мусаева А.Й. Влияние минеральных наполнителей на перерабатываемость физико-механические свойства модифицированного полиэтилена. Пластические Массы. 2012. № 4. с. 40-42
7. Дубникова И.Л., Нижегородцева Е.Ш., Ломакин С.М., Крашенинников В.Г., Горенберг А.Й., Колезнев В.Н. Получение и свойства композитов на основе полипропилена и ультрадисперсного карбоната кальция. Высокомолекулярные Соединение. Серия F, 2008. Т.50. № 12. с. 2012-2125
8. Жазаяева Е.М., Ал-Хавлани Й.Ф.М., Такова Р.В., Шомахов А.Б. Морфология и прочность композитов на основе изопренового эластомера и полиэтилена модифицированных наполнителями различной природы. Пластические Массы. 2015. № 3-4, с. 35-39
9. Чмутин И.А., Рыбкина Н.Г., Салаева А.Б., Кедрин Н.Ф., Тимофеева В.А., Рожкова Н.Н., Мегуев Д.Х. Особенности электрических свойств композитов с чунгитовым наполнителем. Высокомолекулярные Соединение. Серия Ф. 2004. Т.46 № 6. с. 1061-1070.
10. Бекташи С.А., Алханов П.Ш., Манафов М.А., Бекташи Н.Р., Гулиева Г.Н., Джафаров В.Д. О механизме аппретирующего действия сополимеров малеинового ангидрида при формировании полимерного композита на основе полиэтилена и минеральных наполнителей. Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. 2020. Т.12. № 3. с. 81-86.

Accepted: 30.10.2024



## STUDYING THE INFLUENCE OF OIL'S HEAVY METALS ON THE ENVIRONMENT

Khagani Farzulla Mammadov<sup>1</sup>, Guldana Elsever Ismayilova<sup>2</sup>,  
Ulviyya Salam Aliyeva-Jabbarly<sup>1</sup>, Subura Gulali Xasayeva<sup>1</sup>, Elnur Ismixan Mehtiyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Radiation Problems of Ministry of Science and*

*Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan: xagani06@mail.ru, ulviyye.salamzade@gmail.com,  
subura71@mail.ru, mehtiyevelnur28@gmail.com*

*<https://orcid.org/0000-0002-2509-1215>, <https://orcid.org/0000-0002-3003-0759>,*

*<https://orcid.org/0009-0003-5435-0161>, <https://orcid.org/0000-0002-5752-6471>*

<sup>2</sup>*Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan: ismayilova21g@mail.com  
<https://orcid.org/0009-0002-8016-535X>*

**Abstract.** It was determined that the amount (activity) of radionuclides in coastal sands of Caspian Sea is 3-4 times lower than in the surrounding soils and the level of background radiation is 3-4 times below the maximum permissible directive value (0.12  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$ ). Accumulation of radionuclides and heavy metals are observed in soil areas, contaminated with oil refinery waste. Regardless of the concentration of heavy metals and radionuclides, neither any green vegetation nor microorganisms are observed in areas contaminated with oil waste. It has been established that in soils contaminated with oil waste, the amount of radionuclides is 2-3 times higher compared with clean land areas, and the levels of background radiation exceed the permissible directive values by 2 times. A detailed examination of soil plots in the study areas showed that a 2-3 fold change in the concentration of heavy metals does not affect the number of microorganisms in the soil unpolluted with oil waste. A comparative analysis of the concentrations of mineral components and natural radionuclides shows that fertile soils in mountainous and foothill areas are characterized by relatively high concentrations of the studied components. It is observed that the green vegetation is relatively more developed in unpolluted fertile soils, where the amount of natural radionuclides is relatively large.

**Keywords:** oil waste, radionuclides, heavy metals, radioactive background, green vegetation.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

The main part of the soil is formed by chemical compounds in the form of various minerals. Soil is the upper layer of the lithosphere exposed to living organisms and the atmosphere. Studying the various forms of the presence of chemical elements in minerals, organic residues and emissions, soil colloids, determining the amounts of oxides, hydroxides, carbonates, bicarbonates, nitrates, nitrites, sulfates, phosphates in soil samples allow us to estimate the ecological state of the soil [1-3].

Systematic pollution of the soil with small amounts of anthropogenic emissions leads to an increase in the concentration of xenobiotics in other environmental objects (water reservoirs and vegetation). The increase in technogenic pressure on the environment, the processing of minerals by outdated technological processes and the consequent pollution of environmental objects with small amounts of xenobiotics can cause the formation of ecological crisis zones. Therefore, there is a need for systematic measurements and studies to obtain results on the distribution of radionuclides, heavy metals and other xenobiotics in the soil, vegetation, water reservoirs of the country, trends in the direction of the emergence of zones of environmental crisis, information for predicting changes and the rate of change in the environment. The ability to clean by various methods local areas of the earth contaminated with radionuclides and heavy metals and to study the options for implementing these processes are the most important tasks of radiochemistry and are important for solving many pressing environmental problems [3, 4].

Radioactive elements and heavy metals along with non-metals and light metals in the tables of chemical elements are distinguished and characterized by high density (more than 5  $\text{g}/\text{cm}^3$ ), biological activity, toxicity, and the ability to migrate in the habitat of living organisms through food chains

“atmosphere – wind – rain – soil – plants – animals – humans” accumulate in environmental objects and organisms. Concentrations exceeding the maximum permissible norms for these metals are capable of allergic, mutagenic, teratogenic, carcinogenic effects on the human body. Heavy metals participate as catalysts in numerous redox reactions, isomerization, hydration, and dehydration processes occurring in environmental objects. The mass fraction of macro-elements in the human body and food products is above 0.01% (potassium, sodium, calcium, magnesium, phosphorus, chlorine, sulfur). The mass fraction of microelements is below 0.01%, the mass fraction of ultra-microelements is below 0.00001%.

In the absence of vital trace elements (iron, copper, zinc, cobalt, iodine, bromine, fluorine, chromium, cobalt), the normal vital activity of the body is disrupted, and in the deficiency of necessary microelements (nickel, selenium, vanadium, aluminum, molybdenum, strontium, manganese, silicon, scandium), the activity of enzymes decreases, the body functions on the verge of survival and with an increase in their concentration, there is an improvement in the life activity [1-4].

Heavy metals include As, Hg, Pb, Cd, Sb, Sn, Zn, Fe, Cu, Cr, Tl, Co, Sc, Ni, etc. Among them, the most highly toxic are mercury, cadmium, arsenic, and lead, the maximum permissible concentration (MAC) of which in water is 0.0005, 0.001, 0.005, and 0.05 mg/l, respectively. More stringent requirements are imposed on children's and dietary products. Substances are classified according to toxicity in the following order: extremely toxic – LD50 (a dose that causes the death of 50% of experimental animals with a single oral administration) less than 5 mg/kg, highly toxic – 5-50 mg/kg, moderately toxic 50-500 mg/kg, low-toxic 500-5000 mg/kg, practically non-toxic 5000-15000 mg/kg, practically harmless – more than 15000 mg/kg. Sodium-22, sodium-24, potassium-40, uranium-238, thorium-232, radon-222, etc. are present in many objects of inanimate nature and living organisms. The problem of the impact of artificial radionuclides (carbon-14, cesium-137, strontium-90, 89, ruthenium-106, cerium-144, iodine-131, zirconium-95, etc.) on the human body has arisen as a result of the operation of nuclear power facilities. These radionuclides enter the human body by inhaling polluted air, through the gastrointestinal tract with food and water, and through the skin.

Chemical bonds in organic molecules of protein, DNA, RNA and lipids are broken (physical damage to cells), when exposed to ionizing rays. Further, there is an interaction of the resulting radicals with water, oxygen and water radicals, as a result of which there is the formation of hydroperoxides, changes in molecules and enzyme activity, and destruction of biological membranes. The absorbed dose of ionizing radiation equal to 1 Grey after 30 minutes leads to a violation of the process of oxidative phosphorylation, as a result of which there is damage to the ATP generation system, a decrease in vitality and a slow cessation of vital processes [3].

The intensive development of oil and gas fields on the continental shelf of the Caspian Sea leads to an increase in the environmental burden on the Caspian region. Oil waste and heavy metals (iron, copper, aluminum, zinc, etc.) are the main sources of pollution. The produced oil contains aromatic compounds that are stable in the environment. The spread of an oil film on the sea surface leads to the death of fish and other aquatic organisms [1-4].

### **Experimental part**

Preparation of oil waste samples were obtained by extraction with hexane and toluene (2:1) mixture from soil, contaminated with oil waste. The contents of elements in the inorganic residues of samples of crude oil and oil waste obtained by distillation at 700°C for three hours were determined using X-ray fluorescence spectroscopy unit of a scanning electron microscope and methods of analytical chemistry.

For conducting microbiological rapid tests, we used express test napkins - certified ISO 9001 and 13485 quality control systems - manufactured by R-Biopharm (Germany). To determine the number and types of microorganisms in stationary laboratory conditions, we used selective nutrient media produced by Hi-Media (India) and Condalab (Spain), incubators with an automated thermostat [5]. Chemical and biological parameters of comprehensive analysis, the degree of contamination with

anthropogenic xenobiotics of sea water samples were determined in accordance with the requirements of sanitary and hygienic norms and rules. Sea water samples were taken from coastal water areas. Chemical and microbiological express tests of sea water were performed at the place of sampling. Later, long-term (24-48 hours) microbiological analyzes were carried out in stationary laboratory conditions [3, 6].

The soil samples were treated with distilled water, weak solutions of acid and alkali with periodic mixing and filtration, isolation of sparingly soluble particles in a centrifuge with further evaporation to obtain minerals, heavy metals and radionuclides [6-8].

Inorganic minerals of polluted soil, green grass and water samples obtained by evaporation of aqueous, weakly acid and weakly alkaline extracts of soil samples, by treatment of plant samples by nitric acid's solution and heat treatment, and by evaporation of filtered and centrifuged water samples. The obtained dry mineral was analyzed by methods of analytical chemistry and physical chemistry. The "GFL-2304" distiller, centrifuge "TDL-5M", gamma spectrometer with HP-Ge detector manufactured by Canberra, Scanning Electronic Microscope (manufactured by Carl-Zeiss), atomic absorption spectrometer (AA-6800 manufactured by Shimadzu), Expert-3L X-ray fluorescence spectrometer, STA-2900 simultaneously thermal analyzer were used for analysis of heavy metals and radionuclides in obtained inorganic minerals.

Radiometric measurements were carried out using the "InSpector-1000" and "Radiagem-2000" radiometers (manufactured by Canberra and equipped with alpha, beta and gamma detectors) and the "IdentiFinder" radiometer-identifier (manufactured by Thermo Scientific) [6-8].

### Results and discussion

To eliminate side complications in the analysis, soil samples with humus, a layer of oxidized plant debris from trees and contaminated with random organic debris and emissions were not taken.

Samples of crude oil have been taken from various fields of the country, as well as samples of newly formed soils contaminated with oil refining wastes with low humus content, fertile soils with rich humus, as well as samples of similar soils uncontaminated with oil refining wastes. A detailed inspection of the studied land plots before taking soil samples was carried out [9, 10].

As a result of the observations, it was found that in areas uncontaminated by oil refining waste, newly formed soils with a low humus content and consisting mainly of a dark brown color had rare, underdeveloped weed herbaceous vegetation, and in similar areas of land contaminated by oil refining waste there was practically no vegetation of any kind [11, 12].

The relative content of elements in percentage in inorganic residues of oil samples (samples numbered 1 and 2) and oil refining waste (samples numbered 3 to 5) are given in Table 1.

Table 1

Relative content of elements in inorganic residues of oil and oil refining waste.

№	Content of elements in inorganic residues of oil samples (from 1 to 10) and waste oil refining (from 11 to 20)															
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	P	K	Cr	Ca	Ti	Mn	Sr	Fe	Pb
1.	55.7	14.4	1.5	1.8	3.4	7.1	0.3	0.2	2.0	0.3	2.9	0.4	0.4	0.6	3.7	1.9
2.	56.4	14.9	1.7	1.1	5.3	5.2	0.2	0.1	0.5	0.4	6.5	0.1	0.1	0.8	4.4	2.7
3.	46.0	12.5	4.0	2.5	1.8	8.0	1.7	0.3	0.7	0.1	2.0	0.2	0.1	-	3.4	1.6
4.	44.9	12.2	4.1	2.6	1.9	7.2	2.2	0.1	0.4	0.2	3.3	0.3	0.1	0.3	3.1	1.5
5.	45.2	12.3	3.8	2.7	3.4	6.5	2.6	-	0.5	0.4	8.4	0.5	0.3	0.7	8.0	2.4

It can be seen from Table 1 that relative common content of elements in inorganic residues of different samples of crude oil and oil refining waste is 26-30% and 26-41%, respectively. The results obtained and a comparison of the relative content of metals in inorganic residues of crude oil and oil refinery wastes extracted from soil samples contaminated with oil wastes clearly indicate the accumulation of metals, including “heavy metals” in soil, when it is contaminated with oil refinery wastes.

Soil samples were taken in summer and autumn from green grass meadows, pastures or forest edges at a distance of at least 10 kilometers from residential areas or industrial enterprises. Soil samples were also taken from these areas by digging the soil to a depth of 10–20 cm. If one site had sandy and fertile soil, samples were taken from both sites. When taking soil samples, areas were selected that were not contaminated with volleys of foreign emissions, remains of dead organisms, rotten and oxidized plant matter. Determination of mineral components and natural radionuclides was carried out in order to explain the serious difference observed in the degree of development of green vegetation in different soil areas in the regions of the country. The determined mineral components in the soil samples taken from the different regions of the country are shown in table 2.

Table 2

Concentrations of inorganic components in the soil samples taken from country's regions.

Regions	Components, mg/kg						
	Sulphates	K	J	Sr	NO <sub>3</sub>	Fe; Mn	Zn
Bibiheybat settlement	320	3960	1.8	28	34	162; 6	2.1
Goranboy	380	7240	1.8	48	65	54; 29	1.8
İsmayilli	700	8360	1.3	42	126	64; 6	2.1
Qabala	710	7490	1.2	40	114	72; 6	2.5
Sumgayit	300	5008	1,4	28	43	84; 6	1,5

It can be seen from Table 2 that common concentrations of components in the composition of soil samples taken from country's mountainous and foothill areas (Goranboy, İsmayilli, and Qabala) is 7.6-10 g/kg and common concentrations of components in the composition of soil samples taken from other region of country (Sumgayit city) is 5.5 g/kg.

A comparative analysis of the concentrations of mineral components and natural radionuclides (Tables 2) shows that fertile soils in mountainous and foothill areas are characterized by relatively high concentrations of the studied components.

The results of radiometric measurements and the activity of radionuclides in soil samples taken from the green plains and mountainous regions of the country are shown in table 3.

It can be seen from Table 3 that the value of the radioactive background in country's mountainous and foothill areas (Goranboy, İsmayilli, and Qabala) is 0.03-0.15  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  and the intensity of alpha radiation is 0-0.03  $\text{Bq}/\text{cm}^2$ . The value of the radioactive background in other regions of country (Sumgayit city) is 0.08  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  and the intensity of alpha radiation is 0-0.01  $\text{Bq}/\text{cm}^2$ . The common activity of all natural radionuclides in soil samples taken from country's mountainous and foothill areas is 7.3-10  $\text{Bq}/\text{kg}$  and common activity of all natural radionuclides in soil samples taken from other region of country (Sumgayit city) is 5.3  $\text{Bq}/\text{kg}$ .

In areas uncontaminated by oil refinery waste, fully formed fertile soils with a high humus content are observed as green, well-developed herbaceous vegetation, as well as green shrubs and trees. At the same time, in different areas of the soil on the territory of the studied lands of the country, there is a significant difference in the degree of development of green vegetation.

On land plots contaminated with oil refinery waste, with fully formed fertile soil and low humus content, few and underdeveloped species of weeds were observed. The results of radiometric measurements and the activity of radionuclides in soil samples taken from the green plains of regions of the country are shown in table 4.

Table 3

The results of radiometric measurements and the activity of radionuclides in soil samples taken from green plains and mountainous regions of country

Regions (background - $\mu\text{Zv} / \text{h}$ ; alpha ray $\text{Bq} / \text{sm}^2$ )	Isotopes, Bq / kg									
	$^{22}\text{Na}_{11}$	$^{40}\text{K}_{19}$	$^{60}\text{Fe}_{26}$	$^{57}\text{Co}_{27}$	$^{65}\text{Zn}_{30}$	$^{91}\text{Sr}_{38}$	$^{113}\text{Sn}_{50}$ , $^{126}\text{Sn}_{50}$	$^{154}\text{Eu}_{63}$	$^{226}\text{Ra}_{88}$	$^{228}\text{Th}_{90}$
Bibiheybat settlement	1.0	1.7	0.7	0.8	0.2	0.4	0.4; 0.3	0.6	0.7	0.05
Goranboy (0.04; 0)	1.5	2.4	0.7	0.8	0.2	0.5	0.1; 0.2	0.6	0.8	0.05
Ismayilli (0.13; 0.01)	2.8	2.5	1.2	0.9	0.2	0.7	0.3; 0.2	0.5	0.7	0.05
Qabala (0.15; 0.01)	2.6	2.0	1.1	0.8	0.2	0.5	0.4; 0.2	0.6	0.8	0.05
Sumgayit (0.08; 0.01)	1.0	1.7	0.5	0.5	0.2	0.4	0.1; 0.2	0.3	0.4	0.05

Table 4

The results of radiometric measurements and the activity of radionuclides in soil samples taken from territory of regions, polluted with oil refining waste

Regions (background - $\mu\text{Zv} / \text{h}$ ; alpha ray $\text{Bq} / \text{sm}^2$ )	Isotopes, Bq / kg									
	$^{22}\text{Na}_{11}$	$^{40}\text{K}_{19}$	$^{60}\text{Fe}_{26}$	$^{57}\text{Co}_{27}$	$^{65}\text{Zn}_{30}$	$^{91}\text{Sr}_{38}$	$^{113}\text{Sn}_{50}$ , $^{126}\text{Sn}_{50}$	$^{154}\text{Eu}_{63}$	$^{226}\text{Ra}_{88}$	$^{228}\text{Th}_{90}$
Soil sample from an area covered with oil waste in the village of Bail (0.15; 0.03)	1.6	1.2	1.2	0.7	0.2	0.7	0.6, 0.6	0.6	0.9	0.12
Soil contaminated with oil waste in the area adjacent to the highway in the village of Bibiheybat (0.11, 0.02)	1.5	1.8	1.1	0.5	0.2	0.6	0.6, 0.5	0.6	0.7	0.08
Sand contaminated with oil waste in the area adjacent to the highway in the village of Bibiheybat (0.03, 0.01)	1.0	0.8	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1, 0.32	0.3	0.4	0.05
Soil contaminated with oil waste around treatment facilities in the Surakhani region (0.08, 0.01)	1.2	1.4	1.3	0.8	0.2	0.6	0.5, 0.5	0.6	0.8	0.08
Soil contaminated with oil waste from local areas around oil refineries (0.09, 0.01)	1.4	1.6	1.1	0.6	0.2	0.6	0.5, 0.5	0.5	0.8	0.06

It can be seen from Table 3 that the value of the radioactive background in Baku city is 0.03-0.15  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  and the intensity of alpha radiation is 0-0.03  $\text{Bq}/\text{cm}^2$ . The common activity of studied natural radionuclides in soil samples taken from Baku city areas is 5-10  $\text{Bq}/\text{kg}$ .

It was determined that the activity of radionuclides in coastal sands is relatively small. There are approximately 1.5-2 times larger amounts of radionuclides and the value of radioactive radiation background is 1.5-2 times greater, than the permissible directive indicator, in the soil samples covered with oil waste. In areas contaminated with oil waste, regardless of the concentration of heavy metals and radionuclides, neither any green vegetation nor microorganisms are observed (*Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Nag-vibrions*, *Vibrio Cholerae*, *Rizopus*, *Candida*, *Aspergillus*, *Staphylacoccus*, *Streptococcus* etc.). It is observed that the green vegetation is relatively more developed in unpolluted fertile soils, where the amount of natural radionuclides ( $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Na}^{22}$ , etc.) is relatively large.

## Conclusions

1. It was determined that the amount (activity) of radionuclides in coastal sands is 3-4 times lower than in the surrounding soils, and the level of background radiation is 3-4 times below the maximum permissible directive value (0.12  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$ ).
2. The amounts of radionuclides in soil samples covered with oil waste are approximately 1.5-2 times larger than for unpolluted soil and the value of radioactive radiation background is 1.5-2 times greater than the permissible directive indicator.
3. In areas contaminated with oil waste, regardless of the concentration of heavy metals and radionuclides, neither any green vegetation nor microorganisms are observed (*Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Nag-vibrions*, *Vibrio Cholerae*, *Rizopus*, *Candida*, *Aspergillus*, *Staphylacoccus*, *Streptococcus* etc.). In addition to oil waste, accumulation of radionuclides is also observed in those areas to a certain extent.
4. A detailed examination of soil plots in the study areas showed that a 2-3 fold change in the concentration of heavy metals does not affect the number of microorganisms in the soil.
5. It is observed that the green vegetation is relatively more developed in unpolluted fertile soils (in the established range of concentrations of microelements in the soil's cover remedied by transporting and adding clean soil or by other methods), where the amount of natural radionuclides ( $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Na}^{22}$ , etc.) is relatively large.

## REFERENCES

1. Kaushik A., Kansal A., Kumari S., Kaushik C.P. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. *Journal of Hazardous Materials*. 64 (1), 265 (2009). DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.031
2. Alseroury F.A., Almeelbi T., Khan A., Barakata M.A., Al-Zahrani J.H., Alali W. Estimation of natural radioactive and heavy metals concentration in underground water. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 11, 373 (2018). DOI: 10.1016/j.jrras.2018.07.004
3. Schmid W. The micronucleus test. *Mutation Research*. 31 (1), 9 (1975). [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8)
4. Al-Sabti K., Metcalfe C. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutation research*. 343 (2), 135 (1995). DOI: 10.1016/0165-1218(95)90078-0
5. Mamedov Kh.F. Radiolytic decomposition of Zearalenone in wheat // *Immunopathology, allergology, infectology*. All-Russian public organization Public National Academy of Mycology. 2012, № 1, pp. 74-77.
6. Mammadov Kh.F., Shiraliyeva H.N., Mehtiyev E.I., Aliyeva-Jabbarly U.S., Guliyev E.I., Mirzayev N.A., Huseynova A.H. Study of purification processes of soil contaminated with uranyl nitrate. *Journal of Problems of Atomic Sciences and Technology*. 133 (3), 132, (2021). DOI: <https://doi.org/10.46813/2021-133-132>
7. Mammadov Kh., Aliyeva-Jabbarly U., Shiraliyeva H. Radiolytic processes in mixture of water with carbon dioxide in the presence of organic matrix. *Journal of Chemical Problems*, 20 (4), 347. <https://chemprob.org/wp-content/uploads/2022/10/347-357.pdf>
8. Mammadov Kh.F., Shiraliyeva H.N., Huseynova A.H., Huseynov A.Sh. Concentration of radon in springs of Kalbajar region, regularities of adsorption of radionuclides from solutions on adsorbents. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023, 148 (6), 23, (2023). <http://doi.org/10.46813/2023-148-023>

9. Guliyeva N.K., Mustafayev I.I., Chichek F.A., Mamedova S.M. The research and radiolysis of the composition of oil deposits. *Journal of Radiation Researches*. 9 (2), 14 (2022). <http://jradres.az>
10. Guliyeva N.G., Mustafayev I.I., Aliyeva-Chichek S.F. Radiolysis of oil degraded in soil. *Journal of Radiation Researches*. 11 (1), 40 (2024). <http://jradres.az>
11. Koshelov V.N., Gordadze G.N., Ryabov V.D., Chernova O.B. Transformation of oils during in-situ combustion and long-term contact with the external environment. *Chemistry and technology of fuels and oils*, 2, 20 (2005). DOI: 10.1007/s10553-005-0030-7
12. Petrova L.M. Structural features of asphaltene and petroleum resin fractions. *Petroleum Chemistry*. 51 (4), 262 (2011). DOI: 10.1134/S0965544111040062

*Accepted: 07.11.2024*



## ОДНОРЕАКТОРНАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ С ИЗОМЕРИЗАЦИЕЙ ЦИКЛОГЕКСАНОЛА В МЕТИЛЦИКЛОПЕНТЕНУ И СИНТЕЗ АМИНОМЕТИЛЦИКЛОПЕНТАНТИОЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ

Нармин Айдын кызы Пашабейли, Омар Абдурагим оглы Садыгов  
Институт Нефтехимических Процессов им. Ю.Г.Мамедалиева  
Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики,  
Баку, Азербайджан

### ISOMERIZATION OF CYCLOHEXANOL TO METHYLCYCLOPENTENES AND SYNTHESIS OF AMINOMETHYLCYCLOPENTANETHIOLS AND INVESTIGATION OF THEIR BACTERICIDAL PROPERTIES

Narmin Aydin Pashabayli, Omar Abdurahim Sadygov

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan:

narminpasabayli@gmail.com, omar.sadiqov@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-9722-2794>

<https://orcid.org/0000-0002-1774-2997>

**Abstract.** This work presents the results of studying the single-reactor dehydration and isomerization of cyclohexanol over modified zirconium nitrate-activated ( $\gamma$ ) alumina oxide into methylcyclopentene isomers. It is shown that the dehydration of cyclohexanol over modified alumina oxide begins at 220°C. With increasing temperature, the degree of dehydration reaches a maximum (98-100%) at 350°C. It is established that at 400-460°C skeletal isomerization of cyclohexene occurs, resulting in the formation of methylcyclopentene isomers. It was found that raising the temperature above 470°C is not advisable, as it leads to a decrease in the degree of isomerization due to the occurrence of side reactions such as decomposition, dehydrogenation, and compaction, resulting in the formation of saturated, aromatic hydrocarbons, and coke, which negatively affect the catalyst activity. At the next stage, N-substituted amino alcohols were synthesized by oxidative hydroxyhalogenation of methylcyclopentenes in situ in a conjugate olefin+NHX(X=Cl, Br)+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reaction system. By reacting the obtained amino alcohols with pentan-1-thiol in the presence of anhydrous zinc chloride in petroleum ether (or dry toluene), amino thioalkyl derivatives of methylcyclopentanes were obtained, exhibiting good activity as antimicrobial additives in motor oil M-10 and emulsion lubricating-cooling fluid Azerol-5

**Keywords:** antimicrobial properties, methylcyclopentenes, piperidine, morpholine.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Введение

Функционализация C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub> алициклических непредельных углеводородов, представляет собой, одно из важнейших направлений современного нефтехимического синтеза [1,2]. Эти углеводороды является исходным сырьем для получения полезных в народном хозяйстве продуктов, таких как эпоксиды, диолы, аминспирты [3], двухосновные карбоновые кислоты. Азот, кислород, и сера содержащие представители алициклических углеводородов обладают уникальными свойствами и применяются в качестве эффективных синтонов для конструирования сложных природных и биологически активных веществ [4,5], [6, с. 93-96], в том числе в производстве фармакологических препаратов [9].

Различные производные алициклических аминспиртов и аминотиолов применяются в качестве антимикробных полифункциональных присадок к смазочным и смазочно-охлаждающим жидкостям [7, с.48-53], [8, с.110-112], уличающих их противоизносные, противокоррозионные, антиокислительные свойства [9, 10]. Литературные данные показывают, что для получения изомеров метилциклопентена в основном используются реакция изомеризация циклогексена над окисью алюминия и окислительное дегидрирование алкилциклопентанов в присутствии алюмомедного катализатора [11, 12].

Однако, известные методы их синтеза трансформацией оксиранового кольца эпоксидов циклоолефинов характеризуются низкой выходом целевых продуктов и большими расходом вспомогательных исходных реагентов.

В связи с ограниченными ресурсами метилциклопентенов и вышеуказанные полифункциональные соединения в настоящее время в промышленном масштабе не производятся.

Исходя из этого поиск и разработка эффективных решений получения метилциклопентенов и их полифункциональных производных, содержащих amino-, гидроксильные, алкилтио- группы является актуальной задачей.

Настоящая работа посвящена результатам исследования реакции однократной дегидратации и изомеризации циклогексанола в одну стадию над модифицированным цирконием  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  в метилциклопентены и получению аминок спиртов и аминок алкилтиолов с моноциклическими фрагментами через стадии окислительного гидроксильного (бром)ирования метилциклопентенов.

### Экспериментальная часть

Исходным сырьем служил продажный циклогексанол, пиперидин, морфолин,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$  фирмы "Alfa Aesar" (A.Johanson, Malthey Co), показатели которого, в том числе температура кипения, совпадала с литературными. Катализатором служил  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  модифицированный соединениями циркония  $\text{Zr}(\text{NO}_3)_2$ . Дегидратация и изомеризация проводилась на лабораторной установке проточной системы под стационарным слоем катализатора в стеклянной реакторе. Температура реакции выдерживалась и измерялась автоматически регулируемым потенциометром. Для каждого опыта отбиралась свежая порция катализатора-модифицированного  $\gamma$ -оксида алюминия. Опыты проводили с объемной скоростью подачи исходного спирта  $0,5 \text{ ч}^{-1}$ . Из продуктов дегидратации и изомеризации выделялась фракция, выкипающая  $60-85^\circ\text{C}$ , которое подвергалось анализу методом газожидкостной хроматографии.

Эффективное разделение продуктов реакции достигнуто на хроматографе Цвет-100 с детектором по теплопроводности, газ-носитель, гелий, колонка  $1000 \times 2 \text{ мм}$  неподвижной фазой апиезон-L, нанесенной на Chromaton-AW-HMDS (15 масс. %).

Индивидуальные изомеры выделены из продуктов дегидратации и изомеризации четкой ректификацией колонки высотой  $1,2 \text{ м}$ , 15 теоретической тарелки из него было выделено 65% 1- $\text{CH}_3$ -ЦПЕ ( $T_{\text{кип.}} 75^\circ\text{C}$ ,  $n_D^{20} 1,4333$ ,  $d_4^{20} 0,7869$ ) и 35% смесь 3- и 4- $\text{CH}_3$ -ЦПЕ ( $T_{\text{кип.}} 65^\circ\text{C}$ ,  $n_D^{20} 1,4222$ ,  $d_4^{20} 0,7624$ ). По данным ГМХ анализа чистота 1- $\text{CH}_3$ -ЦПЕ составляет 99,5%, 3- $\text{CH}_3$ -ЦПЕ содержит незначительность (0,4%) количества 4- $\text{CH}_3$ -ЦПЕ.

Гидроксильное (бром)ирование изомерных метилциклопентенов и получение аминок спиртов на их основе проводили по известной методике [13, 15].

Методика получения аминок алкилтиоциклопентанов.

В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником и магнитной мешалкой, помещали  $0,05$  пентан-1-тиола  $50 \text{ мл}$  петролейного эфира (или сухого толуола) и  $1,0-1,2 \text{ г}$  безводного  $\text{ZnCl}_2$ . К смеси, при перемешивании и температуре  $45-50^\circ\text{C}$  добавляли ( $0,025$  моль) 2-морфолинил- или 2-пиперидинил-1(3)-метилциклопентан-1-ола в растворе пропан-2-ола. Реакционную массу перемешивали  $1,5-2 \text{ ч}$  при  $60-70^\circ\text{C}$ . Продукт реакции выделяли в виде вязкой массы. Которая, после отделения от растворителя высушивалась и анализировалась.

Антимикробные свойства соединений исследовались в составе смазочного масла М-10 и эмульсионный СОЖ Азерол-5 в количествах  $0,25-1,0\%$ . В качестве тест-культуры были использованы грибные (*Aspergillus niger*, *Candida tropicalis*, *Cladosporium resinal*, *Penicillium chrosegenum*) бактериальные культуры).

Строение синтезированных всех соединений подтверждено ИК-, ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопическими и определением элементного состава. ИК спектры снимали на ИК Фурье-спектрометре Alpha в диапазоне  $400-4000 \text{ см}^{-1}$  в таблетках  $\text{KBr}$  [14]. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  снимали на спектрометре Bruker Biospin AG при рабочей частоте  $300,18 \text{ МГц}$  в  $\text{CDCl}_3$ . Элементный анализ проводили на анализаторе Tru Space Micro Leco Corporation USA.

Необходимо отметить, что синтезированные хлор(бром)гидроксигалогениды и аминоспирты циклопентаного ряда согласно ГЖХ и ЯМР [16, с.356-358] спектральным данным являются смесью изомеров, разделить которых физическими методами практически невозможен.

**1-[(2(1)-Метил-2-(пентилтио)циклопентил] пиперидин (11)**, получали из 9.2г (50 ммоль) 7 и 7а 5,1г (50.1 ммоль) пентантиола. Выход: 11.2г (82.5%), Т.пл. 103-105°C. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3323 (C-N), 2960 (CH<sub>3</sub>), 2890, 2863 (CH<sub>2</sub>), 1525, 1210 (N-C), 780-650 (C-S). Спектр ЯМР, <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м.д.: (CHD<sub>3</sub>); 0.9 с (3H, CH<sub>3</sub> пентилтио), 1.44 с (3H, CH<sub>3</sub> циклопентил), 1.45-1.74 м (18H, 9 CH<sub>2</sub>), 2.48 т [4H, N<(CH<sub>2</sub>-)<sub>2</sub>], 2.63 т (2H, -SCH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-), 2.79 т (1H, HC-S-CH<sub>2</sub>-). Спектр, ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м.д.: 76.1 (C<sup>1</sup>), 46.2 (C<sup>2</sup>), 35.7 (C<sup>3</sup>), 27.5(C<sup>5</sup>), 22.7 (CH<sup>3</sup>), 20.1 (C<sup>4</sup>), циклопентил, 30.8 (C<sup>2</sup>C<sup>3</sup>), 28.5 (S-C<sup>1</sup>), 22 (C<sup>4</sup>), 14.1 (CH<sub>3</sub>) пентилтио, 58.1 (C<sup>2</sup>-N-C<sup>6</sup>), 26.2 (C<sup>3</sup>,C<sup>5</sup>), 24.5 (C<sup>4</sup>) пиперидин; 71.8 (C<sup>1</sup>), 50.5 (C<sup>2</sup>), 40.2 (C<sup>5</sup>), 27.6 (C<sup>3</sup>), 20.4 (CH<sub>3</sub>), 20.1 (C<sup>4</sup>), 36.7 (C<sup>1</sup>S), 30.7(C<sup>2</sup>-C<sup>3</sup>), 22(C<sup>4</sup>), 14.1 (CH<sub>3</sub>) пентилтио, 48.6 (C<sup>2</sup>-N-C<sup>6</sup>), 26.5(C<sup>3</sup>C<sup>5</sup>), пиперидин для изомера (11,11а). Найдено, %: С.71.88; Н, 11.21; N, 5.0; S, 11.36. C<sub>16</sub>H<sub>31</sub>NOS. Вычислено, %: С, 72.3; Н, 11.52; N, 5.20; S, 11.52.

**4-[2(1)-метил-2-(пентилтио)циклопентил]морфолин (12)** получали из 9.25г (50ммоль) 8 и 8а 5.1г(50,1ммоль) пентантиола. Выход 10.65г (78.6%), Т.пл. 120-122°C. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3325 (C-N), 2960 (CH<sub>3</sub>), 2890, 2860 (CH<sub>2</sub>), 780-765 (C-S). Спектр ЯМР<sup>1</sup>H,  $\delta$ , м.д.: (CHD<sub>3</sub>), 0.92 с (3H, CH<sub>3</sub> пентилтио) 1.39 с (3H, CH<sub>3</sub>), циклопентил, 1.46-1.75 м (12H, 6CH<sub>2</sub>), 2.92 т (1H, HC-N<) циклопентил, 2.62 т (2H, -SCH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-) пентилтио, 2.69 т (4H, CH<sub>2</sub>-N-CH<sub>2</sub>), 3.61 т (4H,-CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>-) морфолин. Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м.д.: 76.1 (C<sup>1</sup>), 46.1(C<sup>2</sup>), 35.7(C<sup>3</sup>), 27.5(C<sup>4</sup>), 22.7(CH<sub>3</sub>), 20.1(C<sup>4</sup>) циклопентил, 30.8 (C<sup>2</sup>C<sup>3</sup>), 28.5 (S-C<sup>1</sup>), 14.1(CH<sub>3</sub>), 67.3 (C<sup>2</sup>-O-C<sup>6</sup>), 51 (C<sup>3</sup>-N-C<sup>5</sup>) для изомера (12,12а). Найдено, %: С, 66.12; Н, 10.46; N, 5.10; S, 11.38. C<sub>15</sub>H<sub>29</sub>NOS. Вычислено, %: С, 66.42; Н, 10.70; N, 5.19; S, 11.43.

**1-[3(2)-метил-2(5)-(пентилтио)циклопентил]пиперидин (13)** получали из 9.2 г (50 ммоль) 9 и 9а 5.1г (50 ммоль) пентантиола. Выход: 10.83 г (79.5%), Т.кип. 200°C (1.6 мм. Нг ст).

**4-[(3(2)-метил-2(5)-(пентилтио)циклопентил)морфолин] (14)** получали из 9.25 г (50 ммоль) 10 и 10 а и 5.1г (50 ммоль) пентантиола. Выход 11 г (79.3%), Т.пл. 111-113°C (из пропан-2-ола).

#### Результаты и их обсуждение

Реакция одnoreакторной дегидратации циклогексанола в циклогексен и изомеризации последнего протекают совокупности через следующих маршрутов.

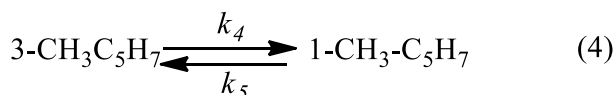
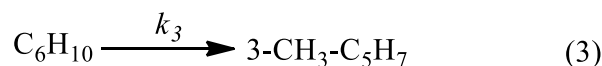
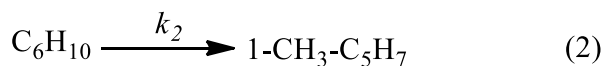
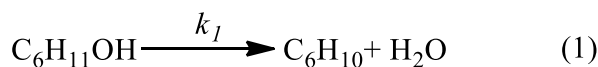


Схема 1

Эти маршруты параллельно-последовательных превращений углеводородов, присутствующих в реакционной системе, могут протекать на разных активных центрах модифицированного катализатора.

Результаты наших исследований показывают, что, циклогексанол хорошо дегидратируются над окисью алюминия модифицированными соединениями циркония. При 200-220°C

начинается дегидратация циклогексанола (38-46%). С повышением температуры степень дегидратации циклогексанола увеличиваются и достигают максимума (98-100%). При 330-360°C уже начинаются изомеризация циклогексена. Установлено что в условиях повышенных температуры до 460°C, по данным ГЖХ анализа циклогексен подвергается реакции изомеризации сужением шестичленного цикла и образованием изомеров метилциклопентена. Так, например, продуктах дегидратации циклогексанола, (фр.62-88°C) полученных при температурах 330-460°C содержание циклогексена над модифицированной  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> колеблется 100-52.5% и с увеличением температуры содержание его уменьшаются до 52,5% табл.1.

Таблица 1

Зависимость состава продуктов дегидратации и изомеризации циклогексанола от температуры (катализатор  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, модифицированный соединениями циркония, об. скорость 0.5ч<sup>-1</sup>).

Катализатор	Темп. реакции	Степень дегидратации, масс. %	Состав продуктов дегидратации фракции 62-88°C, масс.%			
			4-СН <sub>3</sub> -циклопентен-1	3-СН <sub>3</sub> -циклопентен-1	1-СН <sub>3</sub> -циклопентен-1	циклогексен
$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	180	28.0	-	-	-	100
	220	40.0	-	-	-	100
	250	79.4	-	0.5	11.0	88.5
	330	99.3	0.2	0.8	3.0	96.0
	360	100	0.3	3.6	5.6	90.6
	400	100	0.4	4.2	14.4	71.0
	460	100	1.2	7.5	38.7	52.5

Из данных табл.1 видно, что 460°C в указанной фракции доля изомерных метилциклопентенов достигает 46.4%. Найдено, что основным продуктом реакции изомеризации циклогексена является 1-СН<sub>3</sub>-циклопентен-1, количество которого составляет 83.5% изомеризата.

Для определения истинной степени и селективности изомеризации циклогексена в условиях дегидратации циклогексанола, проведена изомеризация индивидуальной циклогексена над модифицированной  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соединениям циркония. Результаты по влиянию температуры на степень и селективность реакции каталитической изомеризации циклогексена, изомеров метилциклопентена и состав полученных изомеризатов по ГЖХ анализа приведены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что изомеризации индивидуальной циклогексена на изомеры метилциклопентена практически начинается с 250°C.

Таблица 2

Температурный зависимость изомеризации циклогексена над модифицированной  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соединениями циркония (об. скорость 0.5ч<sup>-1</sup>).

Температура реакции, °С	Степень изомеризации, масс. %.	Селективность Реакции, масс. %.	Состав катализата, масс. %		
			циклогексен	1-СН <sub>3</sub> -циклопентен-1	3-СН <sub>3</sub> -циклопентен-1
220	-	100	100	-	-
250	10,5	99.0	88.5	10.5	1.0
310	84,6	98.8	15.6	63.4	21.0
360	84,8	98.6	9.7	64.3	26.0
410	82,6	93.8	7.5	64.6	27.8
460	72,0	71.0	7.3	62.7	30.0

Дальнейшее увеличение температуры в интервале 310-360°C способствует увеличению степени изомеризации, достигая своего максимума при 360°C 84.8%. По ГЖХ данным составе полученного катализата доля 1-метилциклопент-1-ена составляет 64.3 масс. % доля 3-метилциклопент-1-ена 26.0 масс.% и образования 4-метилциклопентена имеет следовый характер. Кроме того из данных табл. 2. следует, что начиная с 410°C в составе изомеризата происходит изменение соотношения изомеров.

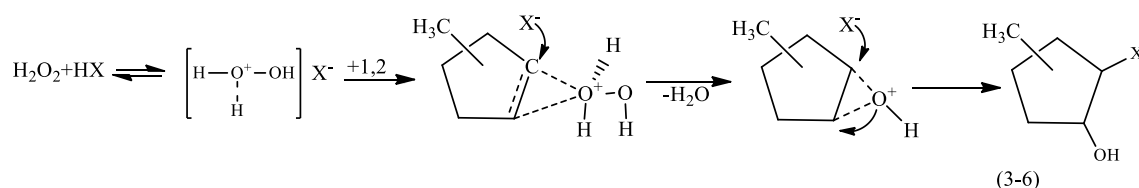
Так как циклогексен имеет склонность к скелетной изомеризации основным продуктами реакции изомеризации циклогексена является 1-метилциклопент-1-ен. В температурном диапазоне 400-460°C в составе изомеризата наблюдается увеличение доли 3-метилциклопент-1-ена, что свидетельствует о взаимном переходе изомера 1-СН<sub>3</sub>- на 3-метилциклопентена и наоборот. Такое изменение состав продукты изомеризации циклогексена в указанном температурном интервале возможно связано с приближением системы к равновесному состоянию. Однако при увеличении температуры выше 470°C степень изомеризации и селективность реакции резко падает, что свидетельствуют о развитии побочных реакций как дегидрогенизации, разложения, уплотнения приводящих к образованию насыщенных и ароматических углеводов.

Далее полученные изомерные метилциклопентены нами использованы как исходный реагент для получения полифункциональных O-, N-, S- содержащих соединений с циклопентановым фрагментом.

Ранее нами был осуществлен синтез N-замещенных аминокбицикло[2.2.1]гептанов, через стадии эпоксицирования и дигидроксилирования соответствующих циклоолефинов с последующим аминоллизом образующей смеси [13]. Однако при эпоксицировании и окислительном дигидроксилировании С<sub>10</sub>-С<sub>13</sub> непредельных мостиковых углеводородов [14] алкилциклопентенов с участием пероксида водорода модифицированных форм гетеромолибденовых соединений наряду с эпокси- и дигидроксипроизводными образуется также значительное количество продукта оксиолигомеризации.

Более высокая селективность по аминоспиртам метилциклопентановым структурами достигается через промежуточные стадии окислительного гидроксигалогенирования соответствующих циклоолефинов.

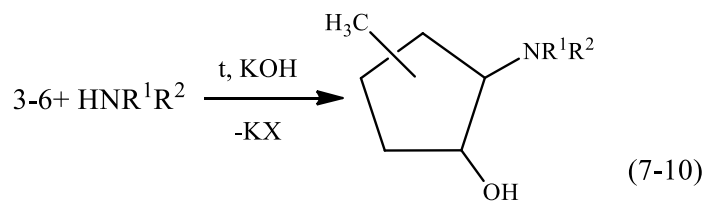
Аналогично [10, 13] изомеры метилциклопентена (1 и 2) в мягких условиях (30-50°C, τ=6-8 ч.) легко вступают в реакцию присоединения с электрофильными метастабильными комплексами (НОХ), образующимися *in situ* из смеси Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>+НХ (Х=Cl, Br, 8-10% водных растворов)+циклоолефин по схеме:



Где: X=Cl, 3, 5, Br, 4, 6, 1-СН<sub>3</sub>-(3, 5, 3-СН<sub>3</sub>-(4, 6,).

Схема 2

При взаимодействии 2-галогено-1(3)-метилциклопентан-1-олов (3-6) с пиперидином и морфолином в присутствии спиртового раствора (СН<sub>3</sub>СН(ОН)СН<sub>3</sub>) щелочи (KOH) были синтезированы соответствующие N-замещенные аминокспирты по схеме:



Где:  $\text{R}^1\text{R}^2 = (-\text{CH}_2-)_5$  (7, 9);  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_2\text{O}$  (8, 10)

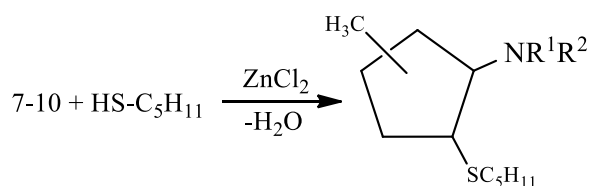
Схема 3

Выход и направление превращение галогенгидринов в 2-морфолин- или 2-пиперидин-1 (3)-метилциклопентан -1-олов (7-10) существенно зависят от изменения температуры, pH среды и полярности используемых растворителей. Найдено, что повышение температуры в интервале 20-60°C способствует увеличению выхода пиперидинил-, морфолинил-, 1(3)-метилцикло пентанолов с сокращением времени реакции от 12 до 3,5 ч.

Изменение значения pH и полярности среды влияет не только на выход целевых продуктов реакции но и на саму возможность ее протекания. Так, например, безводные реагенты вообще очень плохо вступает в реакцию, а наличие воды или спиртов [ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ] сильно ее ускоряет. В случае же увеличения pH среды от 8.2 до 10.2 эта реакция аминолиза эффективно протекает при температуре 40-60°C. Необходимо отметить, что при значении pH среды выше 10.5 наблюдается изменение направления реакции. Наряду с образованием соответствующих аминоспиртов, параллельно повышается также скорость дегидрогалогенирования исходных гидроксигалогенидов (3-6) в соответствующие оксираны.

Также необходимо отметить, что в каждом конкретном случае выход аминоспирта в случае использования бромметилциклопентанолов на 5-8% больше, чем хлорсодержащих аналогов. По всей вероятности это, возможно, связано, с тем, что замещение атома брома в молекуле гидроксидов происходит намного легче, чем хлорсодержащих аналогов.

Далее на основе полученных аминоспиртов взаимодействием их с пентан-1-тиолом в растворе петролейного эфира (или сухого толуола) в присутствии безводного  $\text{ZnCl}_2$  получены N, S-содержащие производные метилциклопентанов по схеме:



Где:  $\text{R}_1\text{R}_2 = (-\text{CH}_2-)_5$  (11,13);  $\text{R}_1=\text{R}_2 = (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_2\text{O}$  (12,14)

Схема 4

Синтезированные аминотиосоединения (11-14) были протестированы в качестве анти-микробных присадок к моторному маслу М-10 и эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости «Азерол-5».

Полученные результаты тестирования показывают, что некоторые представители этого класса соединений в количестве 0.25-1.0% проявляют защитные антимикробные свойства (табл.3). Из данных табл.3 видно, что синтезированные соединения проявили большую активность в составе смазочно-охлаждающей жидкостей, чем в составе смазочных масел, что, возможно, связано с более высокой их растворимостью [7, с.50-52, 8, с.120-124].

Таблица 3

Антимикробные свойства некоторых синтезированных  
O-, N-, S- производных метилциклопентенов

Соединения	Концентрация	Диаметр зоны угнетения микроорганизмов			
		Масло М-10			
		Смесь бактерий (МПА)	Смесь грибов (СА)	Смесь бактерий (МПА)	Смесь грибов (СА)
11 и 13	1	2.6-2.8	1.6-1.8	1.7-2.1	1.7-1.9
	0,5	3.3-2.5	+ +	1.5-1.9	1.5-1.8
	0,25	1.8-2.1	+ +	1.3-1.3	1.2-1.2
12 и 14	1	2.5-2.6	1.5-1.5	1.6-1.4	1.6-1.8
	0,5	2.3-2.4	1.3-1.9	1.2-1.2	1.4-1.6
	0,25	2.1-2.1	+ +	+ +	1.2-1.2
Пентахлорфенолят натрия	1	1.1-1.3	1.4-1.4		
	0,5	0.8-1.2	0.8-1.2		
М-10 (без присадки)		+ +	+ +		
СОЖ Азерол-5				+ +	+ +

Примечание: +- полное отсутствие зоны угнетения роста микроорганизмов.

### Выводы

1. Найдено, что модифицированный  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соединениями циркония позволяют проводить однореакторную дегидратацию циклогексанола в циклогексен и изомеризацию циклогексена в изомеры метилциклопентана в температурном интервале 220-460°C с объемной скоростью подачи исходного циклического спирта 0.5 ч<sup>-1</sup>.

2. Установлено, что индуцированное окислительное гидроксигалогенирование изомерных метилциклопентенов с участием хлор/бромистоводородной кислоты и пероксида водорода позволяет синтезировать аминциклопентанола и их алкилтио содержащие производные, которые представляют интерес в качестве антимикробных присадок в составе смазочно-охлаждающих материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хуснутдинов Р.И., Байгузина А.Р., Джемилов У.М. Соединения и комплексы марганца в катализе органических реакций. Журнал Прикладной Химии, 2012, Том 48, №1, с.319-356.
2. Marton A., Parvulesen L., Draghici C., Varga R.A., Gheorghin M.D. Reaction of Meores katne (tert-butylcyanoketene) with 1,3-cyclopentadiene and 1,3-cyclohexadiene. Is periselectivity controlled by the dynamic of trajectories at the bifurcation point? Tetrahedron, 2009, Vol.65, №36, pp. 7504-7509.
3. Sadygov O.A., Alimardanov Kh.M., Ismailova Sh.I. et. al. One-pot synthesis of electrophiles formed in situ in the system H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+HBr (HCl). Russian Journal of General Chemistry, 2018, Vol.88, №4, pp.650-657.
4. Bergmeier S.C. The Synthesis of Vicinal Amino Alcohols. Tetrahedron, 2000, Vol. 56, №17, p.2561.
5. Пальчиков В.А. Журнал органической химии. 2013, №49, стр. 807 Pal'chikov V.A. Russian Journal of Organic Chemistry. 2013, № 49, с. 787.
6. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Москва, «Новая волна», 2002, 540 с.
7. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливом. Ленинград, «Химия», 1985, 312 с.
8. Садыгов К.И. Смазочно-охлаждающие На следующем этапе синтезированы N-замещенные аминспирты путем окислительной гидроксигалогенирования метилциклопентенов в режиме in situ в сопряженной системе олефин+HX(X=Cl, Br)+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> реакции. Взаимодействии полученных аминспиртов с пентан-1-тиолом в присутствии безводного хлорида цинка в петролейном эфире (или сухого толуола) получены аминотиоалкилпроизводные метилциклопентанов, метилтсиклопентена жидкости для механической обработки металлов. Баку, «Giso Industry» 2007, 252 с.
9. Садыгов О.А., Алимарданов Х.М., Исмайылова Ш.И., Бабаев Н.Р. Синтез циклододекан и декагидро -1,4-эта-нофталин гидроксиаминов. ЖОрХ. 2020, Т.56, №6, с.893-899.



10. Бабаев Н.Р., Садыгов О.А., Алимарданов Х.М. Синтез и исследование бактерицидных свойств некоторых тиопроизводных аминотрициклодеканолов в моторных маслах. Башкирский химический журнал, раздел 1.4.12, Нефтехимия, 2023, Т.30, №4, с.88-94.
11. Мехтиев С.Д., Алимарданов Х.М., Дамиров М.М. Окислительное дегидрирование метилциклопентена в присутствии алюмомедного катализатора. ДАН Азерб. ССР, 1981, №6, с.51-55.
12. Мехтиев С.Д., Алимарданов Х.М., Дамиров М.М. Окислительное дегидрирование метил-, этил- и изопропилциклопентенана алюмомедном катализаторе. Сб. трудов ИНХП. Вопросы нефтехимии, Баку, «Элм», 1986, вып. 15, с.19-31.
13. Sadygov O.A., Alimardanov Kh.M., Abbasov M.F. Synthesis of halohydrines of 5-alkylbicyclo[2.2.1]heptane series using the systems inducing electrophilic reagents. Russian Journal of General Chemistry, 2009, V.79. №8, с. 1698-1703.
14. Алимарданов Х.М., Садыгов О.А., Гарибов Н.И. Эпоксидирование и дигидроксилирование C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub> непредельных мостиковых углеводородов с участием пероксида водорода и модифицированных фарм гетеромолибденовых соединений. Нефтехимия, 2017. Т.57, №3, с. 304-312.
15. İxtira a2018 0156. Azərbaycan Respublikası Dövlət reyestrində qeydiyyat olunub: 08.05.2021.
16. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. Москва, «Мир», 1976, 541 с.

### ОДНОРЕАКТОРНАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ С ИЗОМЕРИЗАЦИЕЙ ЦИКЛОГЕКСАНОЛА В МЕТИЛЦИКЛОПЕНТЕНА И СИНТЕЗ АМИНОМЕТИЛЦИКЛОПЕНТАНТИОЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ

Н.А.Пашабейли, О.А.Садыгов

**Резюме.** В данной работе приведены результаты исследования однореакторной дегидратации и изомеризации циклогексанола над модифицированной цирконийнитратом активной ( $\gamma$ ) форме окиси алюминия в изомеры метилциклопентена. Показано, что дегидратация циклогексанола над модифицированной окисью алюминия начинается при температуре 220°C. С повышением температуры до 350°C степень дегидратации циклогексанола достигает максимума (98-100%). Установлено, что при 400-460°C происходит скелетная изомеризация циклогексана с образованием изомеров метилциклопентена. Найдено, что повышение температуры выше 470°C нецелесообразно, так как при этом происходит снижение степени изомеризации, в следствии протекание побочных реакций, как разложения, дегидрогенизации, уплотнения приводящих к образованию насыщенных ароматических углеводородов и кокса. Это отрицательно влияет на активность катализатора. Далее проведен синтез азот-, -кислород и серосодержащих производных изомеров метилтсиклопентена через последовательные стадии превращения тциклоолефинов. Найдено что метилциклопентены в мягких условиях 30-50°C легко вступают в реакцию присоединения с электрофильным интермедиатом NOX в режиме in-situ в сопряженной системе HX ( $x=Cl, Br$ ) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + циклоолефин и превращаются в гидроксихлор (Br) производный. С замещением атома галогена пиперидином или морфолином получают соответствующие аминспирты.

Взаимодействием аминоспиртов с пентан-1-дионом в растворе петролейного эфира (толуола) в присутствии безводного ZnCl<sub>2</sub> синтезированы N, S-содержащие производные метилтсиклопентенов, проявляющих хорошую активность в качестве антимикробных присадок в составе моторного масла М-10 и эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости «Азерол-5».

**Ключевые слова:** антимикробные свойства, метилциклопентены, пиперидин, морфолин.

Accepted: 09.12.2024

## MÜƏLLİFLƏR ÜÇÜN TƏLİMAT

Məqalə hazırlanarkən aşağıdakı tələblər nəzərə alınmalıdır:

**1.** Məqalə Azərbaycan, rus və ingilis dillərindən birində, Microsoft Word mətn redaktorunda A4 formatında (soldan, yuxarıdan, aşağıdan və sağdan – 2 sm), Times New Roman şrifti ilə 12 ölçüdə, vahid sətirarası intervalla və mətn daxili yazıda 1 sm abzas buraxmaqla hazırlanmalı, səhifə sayı 5-8 arasında olmalıdır.

**2.** Məqalənin mətninin aşağıdakı bölmələrdən ibarət olması tövsiyə olunur:

- giriş (məsələnin aktuallığı, problemin hazırkı vəziyyəti);
- tədqiqatın məqsədi, məsələnin qoyuluşu;
- məsələnin həll üsulları və aprobeasiyası;
- alınan nəticələrin tətbiqi;
- nəticə.

**3.** Məqalə aşağıdakı ardıcılıqla hazırlanmalıdır: məqalənin adı – ortadan, böyük hərflərlə, qalın şriftlə, sonda bir boş sətir; müəlliflərin adı, soyadı və atasının adı açıq şəkildə yazılmalıdır – ortadan, qalın şriftlə; müəlliflərin iş yeri, şəhər, ölkə və e-poçt ünvanı – ortadan kursivlə; müəlliflərin ORCID nömrələri – ortadan kursivlə, sonda bir boş sətir; xülasə (min. 100 söz, maks. 200 söz); açar sözlər (3-5 söz) – kursivlə; giriş və digər alt başlıqlar – soldan, qalın şriftlə, əvvəlində bir boş sətir.

Məqalənin adı, müəlliflərin adı, soyadı və atasının adı, xülasə və açar sözlər məqalənin yazıldığı dildə və ingilis dilində təqdim olunmalıdır. Əgər məqalə ingilis dilində tərtib edilibsə, yuxarıda qeyd olunanlar yalnız ingilis dilində yazılmalıdır.

**4.** Ədəbiyyat siyahısı: hər bir istinad olunan mənbənin adı tərcümə olunmadan, məqalədə istifadə olunma ardıcılığına uyğun olaraq nömrələnir. Mətnə istinadlar aşağıdakı kimi verilir:

– əgər istinad edilən əsər jurnal materialıdırsa mətnin daxilində kvadrat mötərizədə göstərilir (məsələn, [3]). Ədəbiyyat siyahısında isə əsər müəlliflərinin soyadı, inisialı, əsərin adı, jurnalın adı, buraxıldığı il, seriya və ya nömrəsi, əsərin jurnaldakı səhifə aralığı göstərilir.

Məsələn, 3. Əmənöv Y.A. Abrazivin metalla toxunma zonasında yaranan gərginliklərin təyini metodikası haqqında. AZTU-nun elmi əsərləri, 2021, №1, s. 65-71.

– əgər istinad edilən əsər kitab materialıdırsa mətnin daxilində kvadrat mötərizədə istinadın nömrəsi və əsərin kitabdakı səhifə aralığı göstərilir (məsələn, [9, s. 120-122]). Ədəbiyyat siyahısında isə əsər müəlliflərinin soyadı, inisialı, əsərin adı, şəhər adı, nəşriyyat adı, buraxıldığı il, kitabın ümumi səhifə sayı göstərilir.

Məsələn, 9. Cümşüdoğ S.Q. İdarəetmə qərarlarının qəbulu. Bakı, “Təhsil NPM”, 2010, 160 s.

**5.** Məqalədə cədvəl və şəkillər nömrələnir: cədvəl – cədvəlin yuxarısında, kursivlə, sağdan (məs., *Cədvəl 1*), şəkil – şəklın altında, kursivlə, ortadan (məs., *Şəkil 1.*) və mətn hissədən (yuxarıdan və aşağıdan) bir boş sətir buraxmaqla göstərilməlidir. Cədvəllər bilavasitə məqalənin mətnində yerləşdirilməlidir. Hər cədvəlin öz başlığı olmalıdır. Cədvəllərdə mütləq ölçü vahidləri göstərilməlidir. Şəkillər aydın və vahid obyekt şəklində olmalıdır (ayrı-ayrı şəkillərin süni qruplaşdırılaraq yerləşdirilməsi yolverilməzdir).

**6.** Məqalədə istifadə olunan ölçü vahidləri beynəlxalq ölçü vahidləri sisteminə uyğun olmalıdır. Qəbul olunmuş sözlərdən başqa (və s., və i.a.), qısaldılmış sözlərdən istifadə etmək olmaz.

**7.** Düsturlar Microsoft Equation-də standart parametr ilə yığılır. Mətnə ancaq istifadə olunan düsturlar nömrələnir. Düsturun nömrəsi sağda mötərizədə yazılır.

**8.** Redaksiyaya məqalə göndərildikdə müəlliflər haqqında məlumat: soyadı, adı, atasının adı, elmi dərəcəsi, elmi rütbəsi, iş yeri, vəzifəsi, ORCID nömrəsi, məqalənin aid olduğu bölmə, telefon nömrəsi, e-poçt ünvanı da təqdim olunmalıdır.

**9.** Redaksiyaya daxil olan məqalələr rəyə təqdim olunur və müsbət rəy almış məqalələr çapa tövsiyə olunur.

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The following requirements should be considered for preparing the article:

**1.** The article should be prepared in Azerbaijani, Russian, or English, using the Microsoft Word text editor, in A4 format with margins of 2 cm on the left, top, bottom, and right. The font should be Times New Roman, size 12, with single line spacing, and a 1 cm paragraph indentation. The text should be between 5-8 pages.

**2.** It is recommended that the text of the article consist of the following sections:

- Introduction (relevance of the issue, current state of the problem);
- Research purpose, problem statement;
- Methods of problem resolution and validation;
- Application of obtained results;
- Conclusion.

**3.** The article should be prepared in the following sequence: the title of the article – centered, in uppercase, bold, with an extra line at the end; authors' names, surnames, and patronymics should be clearly written – centered, in bold; the authors' workplace, city, country, and email address – centered in italics; authors' ORCID numbers – centered in italics, with an extra line at the end; abstract (min. 100 words, max. 200 words); keywords (3-5 words) – in italics; introduction and other subheadings – left-aligned, in bold, with an extra line at the beginning.

The title of the article, authors' names, surnames, and patronymics, abstract, and keywords should be presented in the language in which the article is written and in English. If the article is written in English, the above-mentioned information should be in English only.

**4.** Bibliography: Each cited source in the article should be numbered according to the order of use in the text, without translation of the source's name. Citations in the text are given as follows:

– If the cited work is a journal article, it is indicated within square brackets in the text (e.g., [3]). In the bibliography, the authors' surname, initials, the title of the work, the name of the journal, the year of publication, series or number, and the page range in the journal are provided. Example: 3. Amanov Y.A. Methodology for determining stresses in the contact zone of abrasive with metal. Proceedings of AzTU, 2021, No.1, pp. 65-71.

– If the cited work is a book, the reference number and the page range of the work in the book are indicated within square brackets in the text (e.g., [9, p. 120-122]). In the bibliography, the authors' surname, initials, the title of the work, city name, publishing house name, year of publication, and the total number of pages in the book are provided. Example: 9. Jumshudov S.G. Adoption of managerial decisions. Baku, "Təhsil NPM", 2010, 160 p.

**5.** Tables and figures in the article are numbered: the table number is indicated above the table in italics, aligned to the right (e.g., *Table 1*), the figure is indicated below the figure in italics, centered (e.g., *Figure 1*), and should be separated from the text portion (top and bottom) by an empty line. Tables should be directly placed in the text of the article. Each table should have its own title. Measurement units must be specified in tables. Figures should be clear and presented as a single object (grouping individual figures separately is not allowed).

**6.** Measurement units used in the article should conform to the international system of measurement units. The use of accepted abbreviations (e.g., etc., et al.) and shortened words is not allowed.

**7.** Formulas are constructed using Microsoft Equation with standard parameters. Only the formulas used in the text are numbered, and the formula number is written to the right in parentheses.

**8.** When submitting an article to the editorial office, information about the authors should be provided: surname, name, patronymic, academic degree, academic title, workplace, position, ORCID number, section to which the article belongs, phone number, and email address.

**9.** Articles submitted to the editorial office are subjected to review, and positively reviewed articles are recommended for publication.

## УКАЗАНИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

При подготовке статьи необходимо учитывать следующие требования:

1. К публикации принимаются статьи на азербайджанском, русском и английском языках, в текстовом редакторе Microsoft Word формата А4 (слева, сверху, снизу и справа – 2 см), текст набирается шрифтом Times New Roman- размер кегля 12, межстрочный интервал одинарный. Абзацный отступ -0,5 см. Объем статьи не более 5-8 страниц.
2. Текст статьи должен состоять из следующих разделов:
  - введение (актуальность вопроса, современное состояние проблемы);
  - цель исследования, постановка проблемы;
  - методы решения и апробация проблемы;
  - применение полученных результатов;
  - выводы.
3. Статья должна быть оформлена в следующем порядке: название статьи – посередине, заглавными буквами, жирным шрифтом, в конце пустая строка; имя, фамилия и отчество авторов должны быть написаны четко – посередине, жирным шрифтом; место работы, город, страна и адрес электронной почты авторов – курсивом; номера ORCID авторов – посередине курсив, в конце пустая строка; резюме (мин. 100 слов, макс. 200 слов); ключевые слова (3-5 слов) – курсивом; введение и остальные подзаголовки – слева, жирным шрифтом, пустая строка в начале.  
Название статьи, имя, фамилия и отчество авторов, аннотация и ключевые слова должны быть представлены на языке статьи и на английском языке. Если статья написана на английском языке, вышеуказанное должно быть написано только на английском языке.
4. Библиография: название каждого цитируемого источника нумеруется в соответствии с порядком его использования в статье, без перевода. Ссылки в тексте даны следующим образом:
  - если цитируемая работа является журнальным материалом, она указывается в квадратных скобках внутри текста (например, [3]). В списке литературы указываются фамилия и инициалы авторов работы, название работы, название журнала, год издания, серия или номер, страницы. Например, 3. Аманов Ю.А. О методике определения напряжений, возникающих в зоне контакта металла с абразивом. Научные труды АзТУ, 2021, №1, с. 65-71.
  - если ссылочная работа является книжным материалом, номер ссылки и межстраничный интервал работы в книге указываются в квадратных скобках внутри текста (например, [9, с. 120-122]). В списке литературы указываются фамилия и инициалы авторов, название произведения, название города, наименование издательства, год издания, общее количество страниц книги. Например, 9. Джумшудов С.Г. Принятие управленческих решений. Баку, «НПМ Образование», 2010, 160 с.
5. Таблицы и рисунки в статье нумеруются: таблица — над таблицей, курсивом, справа (например, *Таблица 1*), рисунок — под рисунком, курсивом, посередине (например, *Рис. 1.*), таблицы должны быть отделены от текстовой части (сверху и снизу) пустыми строками. Таблицы следует размещать непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь свой заголовок. Единицы измерения должны быть указаны в таблицах. Изображения должны быть четкими и представлять собой единый объект (искусственная группировка отдельных изображений не допускается).
6. Единицы измерения, используемые в статье, должны соответствовать международной системе единиц измерения. Кроме принятых слов (и т.д. и т.п.), нельзя использовать сокращенные слова.
7. Формулы компилируются в Microsoft Equation по стандартным параметрам. Нумеруются только формулы, используемые в тексте. Номер формулы указывается в скобках справа.
8. При отправке статьи в редакцию указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, место работы, должность, номер ORCID, раздел, к которому относится статья, номер телефона и адрес электронной почты. Также необходимо указать адрес.
9. Статьи, поступившие в редколлегия, передаются на рецензирование, получившие положительные отзывы статьи, рекомендуются к публикации.

Nəşriyyatın direktoru: *Xəlil Nəbiyev*  
Dizayner: *Fuad Vəliyev*

---

Formatı: 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
Həcmi: 15,25 ç.v.  
Tirajı: 500

*Jurnal AzTU Press Nəşriyyatının mətbəəsində çap olunmuşdur.*

