

UOT 536.77:547.442

AZƏRBAYCANIN XAÇMAZ RAYONUNUN “SABİR-ObA” TERMAL SUYUNUN (p, ρ, T) XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

M.M.Bəşirov¹, N.D.Nəbiyev²

¹*Bakı Mühəndislik Universiteti*

E-mail: mbashirov@beu.edu.az

²*Azərbaycan Texniki Universiteti*

E-mail: nofal_nabi@aztu.edu.az

Açar sözlər: sıxlıq, təzyiq, temperatur, termal sular

Xülasə. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun (p,ρ,T) xassələrinin tədqiqinin aparıldığı təcrübə laboratoriyası T = 293,15 K sabit temperaturda iqlimləşdirilmişdir. Su, toluol və NaCl-un (m = 2,96661 mol·kg⁻¹) sulu məhlulu üçün alınmış nəticələrin müxtəlif ədəbiyyatlarda verilmiş məlumatlarla müqayisəsi aparılmışdır. Alınmış nəticələr qrafiki şəkillərdə göstərilmişdir.

Giriş. Sənayenin intensivləşdirilməsi və Respublikanın geniş sosial-iqtisadi inkişaf proqramının yerinə yetirilməsi üçün hər şeydən öncə iqtisadiyyatda və elmi-texniki tərəqqidə köklü dəyişikliklər tələb olunur. Bu baxımdan bütün xammal və material resurslardan daha çox qənaətli və rəşional istifadə olunması ölkənin xalq təsərrüfatı üçün xüsusi diqqətə layiqdir.

Fərqli inkişaf səviyyələrinə malik müxtəlif geotermal texnologiyalar mövcuddur ki, onlar mərkəzi istixanalar, istilik sistemləri və digər tətbiq sahələrində geniş istifadə edilir. Təbii yüksək keçiriciliyə malik hidrotermal rezervuarlardan elektrik enerjisi istehsalı texnologiyası da etibarlı sayılır. Hazırda dünyada istismar edilən geotermal elektrik stansiyalarının əksəriyyəti quru buxar turbinli və ya “flaş” qurğu (tək, ikiqat və üçlü) əsaslı olmaqla 180°C-dən yuxarı isti su mənbələrində istifadə edilir. Bundan əlavə, keçid mərhələsində olan “Enhanced Geothermal Systems (EGS)” kimi yeni texnologiyalar da inkişaf etdirilir.

Hesablamalara görə faydalı qazıntı şəklində çıxarılan enerjidaşıyıcılarının yanmasından hər il atmosfərə 24 mlrd. ton karbon qazı atılır. Bundan əlavə, yanma nəticəsində atmosfərə digər zərərli birləşmələr-kükürd qazı (SO₂), azot oksidləri (NO_x), və metan (CH₄) qazları atılır. Atmosferə atılan karbon qazının ümumi miqdarının 80%-ə qədəri dünya əhalisinin 25%-i yaşayan sənaye dövlətlərinin payına düşür. Yer atmosferinin tərkibinin həcm üzrə 78%-i azot (N₂), 21%-i oksigen (O₂), təxminən 1%-i nəcib qazlardan, 0,1%-i isə başqa qazlardan, o cümlədən istixana təsirli qazlardan ibarətdir. İstixana təsirli qazların konsentrasiyasının az olmasına baxmayaraq, onların Yer kürəsindəki iqlimin təşəkkül tapmasında böyük rolu vardır [7; s. 206].

BMT-nin qlobal istiləşməyə aid komissiyasının məlumatına əsasən son 150 ildə yer səthinin temperaturu 3°C yüksəlmişdir. Bu prosesin davam etməsi Yer kürəsində qlobal istiləşmə təhlükəsi yaradır. Hazırda Alp buzlaqlarının əriməsi prosesinin güclənməsi, okean (dəniz) səviyyəsinin ildə 1÷2 mm, son 100 ildə isə 10÷20 sm yüksəlməsi, tropik dənizlərin temperaturunun 1994-cü ildən bəri 0,3°C artması bunu deməyə əsas verir [6].

Azərbaycanda, o cümlədən Azərbaycan Texniki Universitetində bu istiqamətdə mühüm işlər aparılır. “Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsi”nə dair Dövlət Proqramına uyğun olaraq Azərbaycan Respublikasının 21 oktyabr 2004-cü il tarixli sərəncamına əsasən Energetika sənayesi nazirliyinə xüsusi proqramın icrası tapşırılmışdır. Dövlət Proqramında respublikamız üçün əlverişli olan enerji mənbələrindən, yəni küləyin, günəşin, geotermal suların, dağ çaylarının, kanalların, həmçinin biokütlənin enerjisindən istifadə öz əksini tapmışdır [1, 2]. Yer in dərinaliklərinin istiliyindən istifadənin prinsipial imkanları mövcuddur. Temperaturundan asılı olaraq, suyu və ya su-buxar qarışığını isti su təchizatı, istilik təchizatı və elektrik enerjisi istehsalı üçün, yaxud da bütün bu məqsədlər üçün eyni zamanda istifadə etmək olar. Vulkanətrafı rayonun və quru dağ süxurlarının yüksək

temperaturlu istiliyinin elektrik enerjisinin istehsalı və istilik təchizatı üçün istifadəsi daha məqsədə uyğundur. Dünyadakı geotermal elektrostansiyaların potensial ümumi işçi gücü digər bərpa olunan enerji mənbələri ilə işləyən stansiyaların çoxunun gücündən geri qalır. Lakin, yanacaq, faydalı qazıntıların olmadığı və ya nisbətən baha olduğu, məskunlaşma olan ayrı-ayrı coğrafi rayonların yüksək energetik sıxlığına, eləcə də hökumət proqramlarına görə bu istiqamət inkişaf etməkdədir.

Tədqiqatın məqsədi, məsələnin qoyuluşu. Tədqiq olunan termal sular bilavasitə onların səthə çıxma zonalarından götürülmüş və müxtəlif kimyəvi emal üsulları ilə təcrübi məqsədlər üçün hazırlanmışdır. Bu ərazilər azotlu və hidrogen sulfidli termal və soyuq mineral mənbələrlə zəngindir. Ümumiyyətlə mineral sular kimyəvi tərkib hissəsinə görə 5 qrupa ayrılır.

1. Xlorlu sular — belə suların tərkibində Cl, Na, Ca, Mg maddələri var.
2. Hidrokarbonatlı sular — tərkibində hidrokarbonat anionu, Na, K, Ca, Mg vardır.
3. Sulfatlı sular — tərkibində sulfat anionu, K, Na, Ca, Mg var.
4. Tərkibi mürəkkəb birləşmələrlə təşkil olunmuş sular — belə sular aşağıdakılardır:
 - a) Hidrokarbonatlı — xlorlu su;
 - b) Hidrokarbonatlı — sulfatlı su;
 - c) Sulfatlı — xlorlu su.
5. Qazlı sular — 3 qrupu var:
 - a) Tərkibində karbon qazı olan su;
 - b) Tərkibində sərbəst hidrogen — sulfid olan su;
 - c) Tərkibində radon olan su.

Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunu tərkibinə görə 1-ci qrupa aid etmək olar.

Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun kimyəvi tərkibinin analizi göstərir ki, kimyəvi elementlərin böyük hissəsini natrium (Na) təşkil edir. Na, Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunu tərkibindəki bütün kimyəvi maddələrin təqribən 72,41 ÷ 90,12%-ni təşkil edir. Aşağıda göstərilən 1, 2 və 3-cü cədvəllərdə Azərbaycanın Xaçmaz rayonu ərazisində yerləşən “Sabir-oba” məntəqəsinin termal suyunu kimyəvi tərkibində olan mineralların miqdarı verilmişdir [3, 4].

Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun kimyəvi tərkibi

Cədvəl 1

Nüm. mineralların miqdarı	Al1670	As1890	B2089	Ba2304	Ca3181	Cd2288	Co2286	Cr2055	Cu3247	Fe2599
Sabir-oba mq/litr	<0.01	0.01	1.40	0.23	78.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.11

Cədvəl 2

Nüm. mineralların miqdarı	Hg1849	K7664	Li6707	Mg2790	Mn2939	Mo2045	Na8183	Ni2316	P2136
Sabir-oba mq/litr	<0.02	9.50	0.13	9.46	0.06	0.02	736	<0.01	<0.01

Cədvəl 3

Nüm. mineralların miqdarı	Pb2203	S1820	Sb2175	Se1960	Si2124	Sr4077	Ti3349	Tl1908	V2924
Sabir-oba mq/litr	<0.01	24.60	<0.02	<0.02	4.36	5.12	<0.01	<0,05	<0.01

Əvvəlcə yüksək dəqiqlikli təcrübi qiymətlərə malik olan maddələrlə sınaq təcrübələrin aparılması yolu ilə istifadə olunacaq təcrübi qurğunun iş qabiliyyəti yoxlanılır. (p,ρ,T) xassələrinin tədqiqi

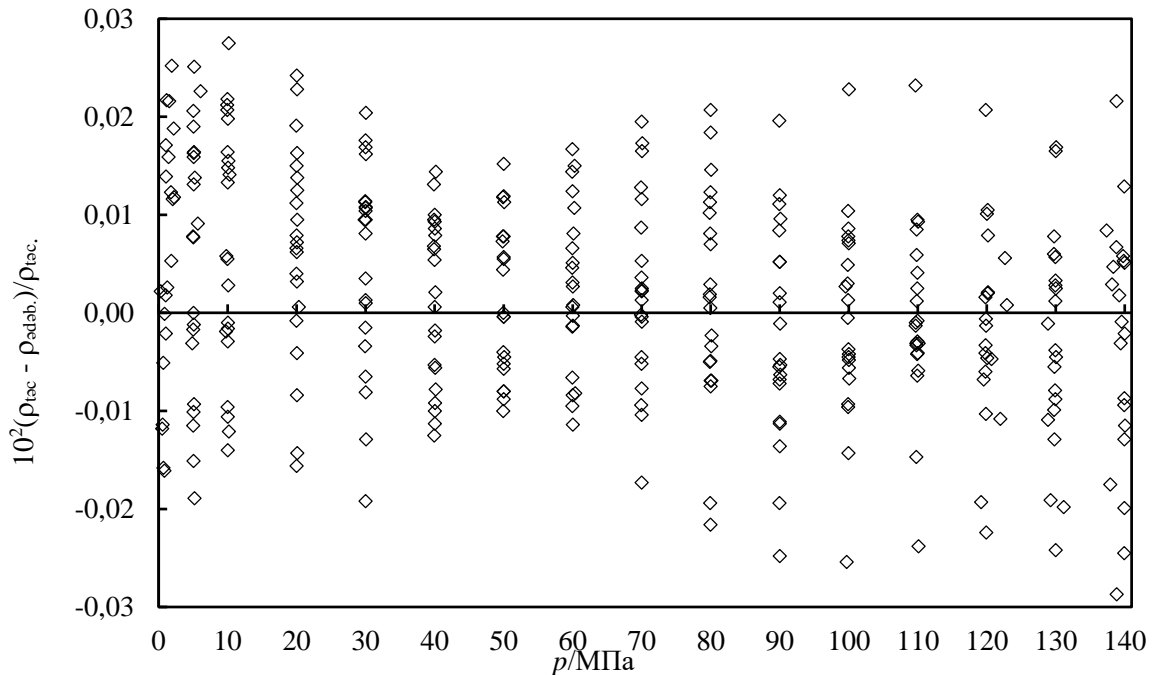
üçün vibrasiyalı borulu densimetr qurğusunun minimum iki maddə ilə kalibrlənməyə ehtiyacı olduğuna nəzərə alsaq, bu məqsədlə su, toluol və NaCl-un ($m=2,96661 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) sulu məhlulu əsas kalibrləyici maddələr kimi seçilmişdir. Təcrübə qurğusunun kalibrləmə prosesi zamanı kalibrləyici maddələr bir neçə dəfə ölçülmüş, müqayisələrin orta xətası təhlil olunmuşdur.

Müəyyən hallarda eyni temperaturlarda təcrübələr 4-5 dəfə aparılmış, qurğunun doldurulması fərqi və təcrübənin aparılmasından asılı olmayaraq müxtəlif vaxtlarda qurğunun iş qabiliyyəti yoxlanılmışdır. Təcrübələrin aparıldığı laboratoriya $T=293,15 \text{ K}$ sabit temperaturda iqlimləşdirilmişdir. Su, toluol və NaCl-un ($m=2,96661 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) sulu məhlulu üçün alınmış nəticələrin ədəbiyyatlarda verilmiş məlumatlarla müqayisəsi şəkil 1-3 - də göstərilmişdir.

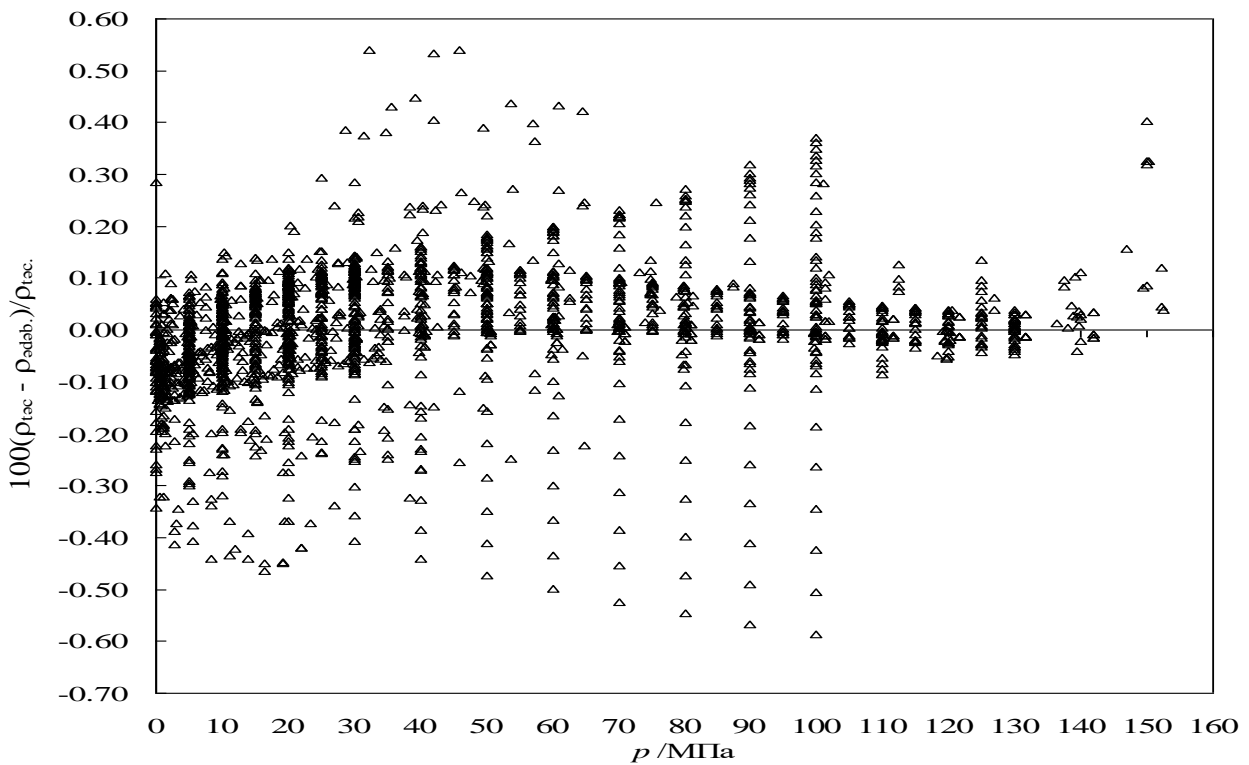
Məsələnin həll üsulları və aprobeasiyası. Aşağıdakı şəkillərdən (şəkil 1-3) görüldüyü kimi, su, toluol və NaCl-un ($m=2,96661 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) sulu məhlulunun sıxlığı üzrə alınmış qiymətlərin və ədəbiyyatdakı məlumatların fərqi qurğudakı ölçmələrin qiymətləndirilmiş xətalalarının çox kiçik olmasını göstərir. İkiqat distillə edilmiş su müxtəlif laboratoriya qurğularında alınmışdır. NaCl və toluol Merck (Almaniya) şirkətindən alınmışdır. Xətası kiçik olan və bir-birinə yaxın nəticələrin alınması yaradılmış təcrübə qurğunun yüksək dəqiqliyini göstərir.

Su, toluol və NaCl-un ($m=2,96661 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) sulu məhlulunun (p, ρ, T) xassələri üzrə yoxlama təcrübələri aparıldıqdan sonra Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun (p, ρ, T) asılılıqları yüksək təzyiq və müxtəlif temperaturlarda vibrasiyalı borulu densimetr metodunun reallaşdırıldığı təcrübə qurğuda ölçülmüşdür.

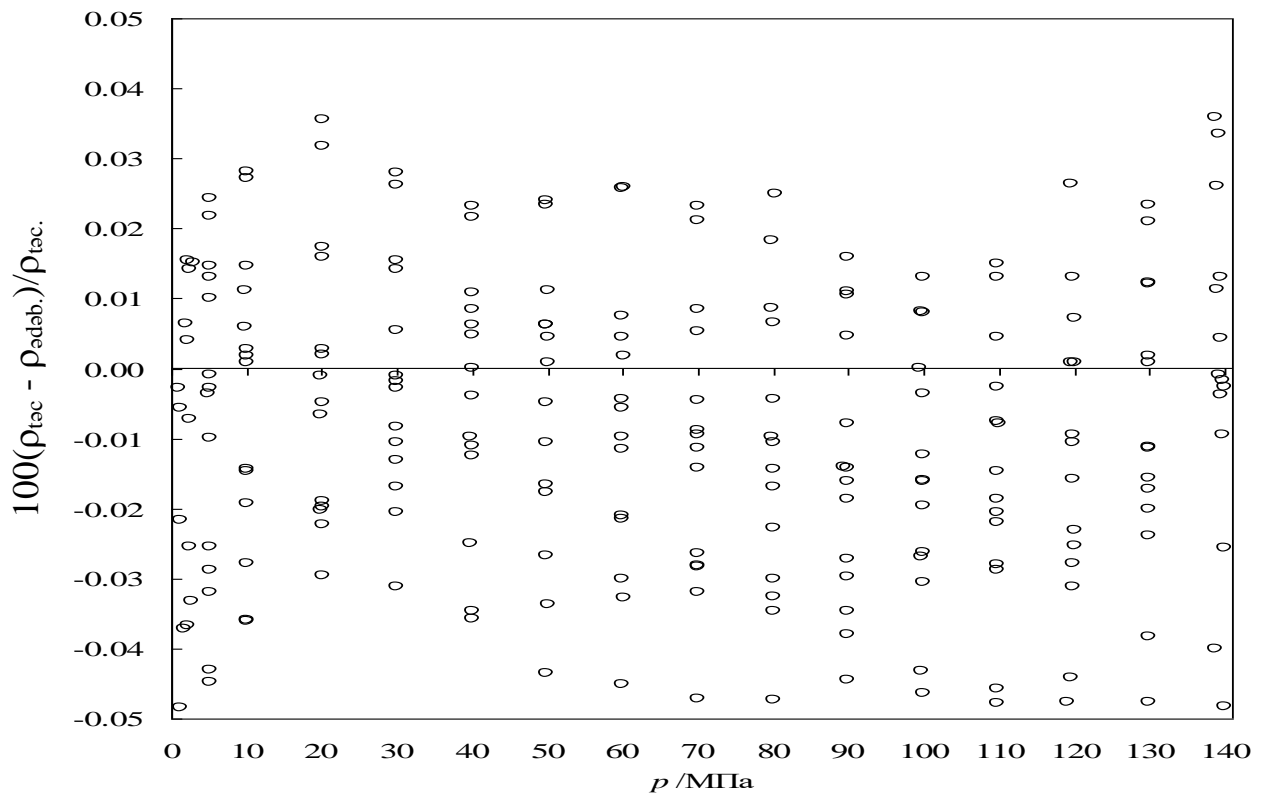
(p, ρ, T) asılılıqlarının ölçülməsi zamanı hər bir müvazinət halında atmosfer təzyiqində qrafik ekstrapolyasiya yolu ilə sıxlığın yüksək dəqiqlikli qiymətlərinin alınması məqsədi ilə təzyiqin maksimum dərəcədə mümkün olan aşağı qiymətləri yaradılmağa səy göstərilmiş, alınmış qiymətlər sıxlığın DMA 5000M qurğusunda ölçülmüş qiymətləri ilə müqayisə olunmuşdur. Müxtəlif metodlarla alınmış qiymətlər öz aralarında $\pm 0,02\%$ həddində yaxşı uyğunlaşır [3, 5]. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyu üçün tədqiqatlar $T=(278,15\div 373,15) \text{ K}$ temperaturlarda və $p = 40 \text{ MPa}$ -dək təzyiqlərdə aparılmışdır. (p, ρ, T) asılılıqları üzrə alınmış təcrübə göstəricilər cədvəl 4-də verilmişdir.



Şəkil 1. Suyun $T=(278,15-468,15) \text{ K}$ temperaturlarda ölçülmüş sıxlığının və ədəbiyyatdakı IAPWS 95 verilənlərlə fərqi təzyiqdən asılılığı



Şəkil 2. Toluolun $T=(278,15-468,15)$ K temperaturalarda ölçülmüş sıxlığının və müxtəlif ədəbiyyatdakı verilənlərlə (2000-ə qədər məlumat) fərqinin təzyiqdən asılılığı

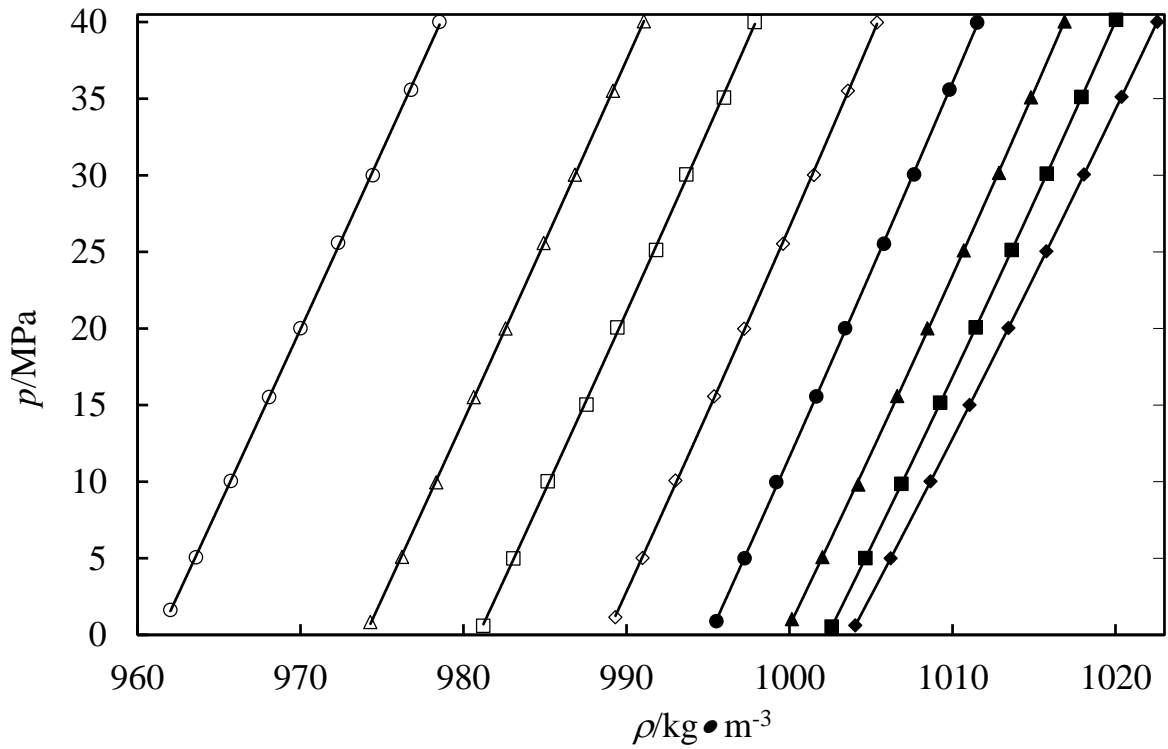


Şəkil 3. NaCl-un ($m=2,96661 \text{ mol}\cdot\text{kq}^{-1}$) sulu məhlulunun $T=(278,15-468,15)$ K temperaturalarda ölçülmüş sıxlığının və müxtəlif ədəbiyyatdakı verilənlərlə (2000-ə qədər məlumat) fərqinin təzyiqdən asılılığı

Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun müxtəlif təzyiç və temperaturalarda sıxlığının təcrübi qiymətləri [3].

$\frac{p}{\text{MPa}}$	$\frac{\rho}{\text{kg} \cdot \text{m}^3}$	$\frac{T}{\text{K}}$	$\frac{p}{\text{MPa}}$	$\frac{\rho}{\text{kg} \cdot \text{m}^3}$	$\frac{T}{\text{K}}$
1.170	1004.52	278.05	1.054	988.76	328.15
5.040	1006.40	278.04	4.985	990.47	328.15
9.815	1008.57	278.04	10.025	992.64	328.15
15.053	1011.00	278.04	15.321	994.89	328.15
20.012	1013.23	278.04	20.014	996.86	328.15
25.087	1015.52	278.04	25.214	999.02	328.15
30.004	1017.77	278.03	30.026	1000.99	328.15
34.977	1019.97	278.02	35.057	1003.03	328.15
40.047	1022.20	278.01	39.987	1005.01	328.15
1.272	1002.87	288.26	1.628	981.01	343.04
5.052	1004.61	288.22	5.079	982.59	343.06
10.056	1006.88	288.21	9.841	984.56	343.14
15.102	1009.15	288.19	15.102	986.93	343.18
20.031	1011.34	288.17	20.073	989.01	343.21
25.133	1013.58	288.15	25.133	991.16	343.18
30.054	1015.72	288.14	30.021	993.22	343.16
35.116	1017.90	288.13	35.102	995.19	343.15
39.961	1019.96	288.12	40.025	997.20	343.14
0.833	1000.17	298.14	1.954	972.22	358.15
5.150	1002.10	298.16	5.021	973.61	358.16
9.831	1004.17	298.19	10.032	975.87	358.14
15.213	1006.53	298.19	15.621	978.32	358.15
20.054	1008.63	298.19	20.026	980.22	358.15
25.103	1010.80	298.19	25.214	982.40	358.16
30.043	1012.89	298.19	29.986	984.39	358.15
35.133	1015.02	298.19	35.014	986.44	358.15
40.058	1017.07	298.19	39.952	988.42	358.14
1.339	995.32	313.14	1.830	961.98	373.11
5.044	996.96	313.15	5.135	963.33	373.19
9.915	998.97	313.18	10.012	965.52	373.19
15.102	1001.20	313.18	15.104	967.96	373.15
19.876	1003.18	313.18	20.001	970.19	373.11
25.133	1005.49	313.18	25.166	972.40	373.15
29.945	1007.43	313.21	29.948	974.38	373.16
35.102	1009.61	313.19	35.205	976.60	373.16
39.991	1011.64	313.18	39.915	978.56	373.16

Təzyiğin 0,1- 40 MPa qiymətlərində p-ρ koordinatlarında izotermələr qurulmuşdur (şəkil 4).



Şəkil 4. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun müxtəlif temperaturlarda təzyiqinin (p) sıxlıqdan (ρ) asılılığı: ♦, 278,15 K; ■, 288,16 K; ▲, 298,17 K; •, 313,18 K; ◇, 328,18 K; □, 343,15 K; △, 354,27 K; ○, 372,96 K.

Alınan nəticələrin tədqiqi. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Sabir-oba” termal suyunun sıxlığı həm vibrasiyalı borulu densimetr qurğusunda, həm də atmosfer təzyiqində 0,01% dəqiqliklə DMA 5000M qurğusunda ölçülmüşdür. DMA 5000M qurğusu T=363,15 K-dək olan temperaturlarda daha dəqiq ölçmələr aparmağa imkan verir. Təcrübələr zamanı alınan orta xəta (0,05%-dək) mövcud hal tənliklərini tətbiq etməyə imkan vermir [3, 4]. Ona görə də Axundov-İmanov tənliyinin modifikasiya olunmuş növündən istifadə edilmişdir. Alınmış nəticələr aşağıdakı hal tənliyi ilə ifadə olunmuşdur:

$$p = A\rho^2 + B\rho^8 + C\rho^{12} \tag{1}$$

Axundov-İmanov tənliyinə üçüncü həddin artırılması ilə təcrübi verilənlərin təsvirolunma xətasının $\Delta p/\rho = \pm (0,001 \div 0,003) \%$ -dək azalması isbat edilmişdir. A(T), B(T) və C(T) əmsalları polinomial formada temperaturdan asılıdırlar:

$$A(T) = \sum_{i=1}^3 a_i T^i, \quad B(T) = \sum_{i=0}^2 b_i T^i, \quad C(T) = \sum_{i=0}^2 c_i T^i \tag{2}$$

(2) tənliyindəki a_{ij} , b_{ij} və c_{ij} əmsallarının qiymətləri cədvəl 5-də verilmişdir.

Cədvəl 5

$a_1 = -5.2005650454$	$b_0 = 2109.877821027$	$c_0 = -1182.2695455815$
$a_2 = 0.01502325482$	$b_1 = -7.479806751$	$c_1 = 4.8600740508$
$a_3 = -0.108475601 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = 0.927626176 \cdot 10^{-2}$	$c_2 = -0.52655191 \cdot 10^{-2}$

(1) tənliyi A(T), B(T) və C(T) əmsallarının qiymətləri nəzərə alınmaqla “Sabir-oba” termal suyunun (p, ρ, T) asılılığının təcrübi qiymətlərini 0,007% orta xəta ilə ifadə etməyə imkan verir [3].

ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikasının Qanunvericilik Toplusu, 31 oktyabr 2004, № 10, maddə 838.
2. Azərbaycan Respublikası Sənaye və Energetika Nazirliyinin Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi haqqında əsasnamənin təsdiq edilməsi barədə Azərbaycan Respublikası Prezidentinin fərmanı, Bakı şəhəri, 10 noyabr 2009-cu il.
3. Nəbiyev N.D. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun geotermal enerji resurslarının istilik-fiziki xassələrinin tədqiqi. Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiya, Bakı, 2011.
4. Nabiev N.D., Bashirov M.M., Safarov J.T., Shahverdiyev A.N., Hassel E.P. Thermodynamic properties of geothermal energy resources (Khachmaz Sabir-Oba) of Azerbaijan. Journal of Chemical and Engineering data, Vol. 54, No.6, 2009, USA, s. 1799-1806.
5. Nəbiyev N.D., Bəşirov M.M. Azərbaycanın Xaçmaz rayonunun “Xaçmaz” geotermal enerji resursunun (p,ρ,T) xassələrinin tədqiqi. Enerji Səmərəliliyi və Yaşıl enerji texnologiyaları Respublika Elmi-Texniki Konfrans 14-16 dekabr, 2022-ci il, AzTU.
6. Safarov J.T. The investigation of the (p, ρ, T) and (p_s, ρ_s, T_s) properties of {(1-x)CH₃OH + xLiBr} for the application in absorption refrigeration machines and heat pumps // The Journal of Chemical Thermodynamics, 2003, vol. 35, p. 1929-1937.
7. Tabak J. Solar and Geothermal Energy (Energy and the Environment), Facts on File; 1st edition, Sonlight Christian-M, 2009, 437 p.

**STUDY OF (p, ρ, T) PROPERTIES OF “SABİR-ObA” THERMAL WATER
OF KHACHMAZ DISTRICT OF AZERBAIJAN**

M.M.Bashirov¹, N.D.Nabiyev²

¹*Baku Engineering University*

²*Azerbaijan Technical University*

Abstract. The experimental laboratory where the properties “Sabir-oba” of thermal water (p,ρ,T) of Khachmaz region of Azerbaijan are studied is climatized at a constant temperature of T=293.15 K. The results obtained for the of water, toluene and aqueous solution NaCl (m=2.96661 mol•kg⁻¹) were compared with the data given in various literature. The obtained results are shown in pictures.

Keywords: density, pressure, temperature, thermal waters.

**ИССЛЕДОВАНИЕ (p, ρ, T) СВОЙСТВ ТЕРМАЛЬНОЙ ВОДЫ “САБИР-ОбА”
ХАЧМАЗСКОГО РАЙОНА АЗЕРБАЙДЖАНА**

М.М.Баширов¹, Н.Д.Набиев²

¹*Бакинский инженерный университет*

²*Азербайджанский технический университет*

Резюме. Экспериментальная лабораторная установка, в которой исследуются (p,ρ,T) свойства термальной воды «Сабир-оба» Хачмазского района Азербайджана, акклиматизирована при постоянной температуре T=293,15 К. Результаты, полученные для воды, толуола и водного раствора NaCl (m=2,96661 моль•кг⁻¹), были сравнены с литературными данными приведенными в различных источниках. Полученные результаты представлены графически на рисунках.

Ключевые слова: плотность, давление, температура, термальные воды.

Daxil olub: 14.10.2022