

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/114/263-268>

Sevinc Babayeva

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika üzrə fəlsəfə doktoru
<https://orcid.org/0000-0002-9334-5483>
babayeva_sevinc64@mail.ru

Səkinə Xamtaeva

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
<https://orcid.org/0009-0004-5883-0709>
khamtaeva@gmail.com

İstilik təchizatında müxtəlif rejimlərdə işləyən zond tipli istilik nasoslarından istifadənin tədqiqi

Xülasə

Bu məqalə Şuşa şəhərində fərdi yaşayış evlərinin istilik təchizatında zond tipli istilik nasoslarının istifadəsini təhlil edir. Araşdırmada üç fərqli sistem sxemi simulyasiya olunmuş və müxtəlif iş rejimlərində qiymətləndirilmişdir. Tədqiqat nəticəsində istilik nasoslarının əənəvi qazan sistemləri ilə müqayisədə elektrik enerjisi istehlakını 35-40% azaltmış və istilik performans əmsalının (COP) 4,2-4,6 arasında dəyişdiyi müəyyən edilmişdir. Bundan əlavə, istilik nasoslarının karbon emissiyalarını illik 30-35% azaltmaqla ekoloji faydalar təmin etdiyi vurğulanmışdır. Araşdırmada müxtəlif proqram təminatları, o cümlədən GeoTSol və MS Excel proqramları istifadə edilərək, istilik sistemlərinin səmərəliliyi qiymətləndirilmişdir. Simulyasiya nəticələri göstərmişdir ki, Şuşa kimi bölgələrdə istilik nasoslarının günəş enerjisi ilə inteqrasiyası effektiv nəticələr verir. 100 metrlik zondlarla təchiz edilmiş sistemlər daha optimal işləyərək istismar xərclərini 20-25% azalda bilər.

Məqalədə istilik nasoslarının müxtəlif iş rejimləri və enerji səmərəliliyi faktorları müqayisə olunmuş, HPS7.1 modelinin ən yüksək performansla malik olduğu müəyyən edilmişdir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, istilik nasoslarının geniş tətbiqi Qarabağın “yaşıl enerji zonası” konsepsiyasına uyğun olaraq, regional enerji təhlükəsizliyinin artırılmasına töhfə verə bilər.

Açar sözlər: zond tipli istilik nasosu, GeoTSOL, yaşıl enerji zonası, Şuşa şəhəri, enerji səmərəliliyi

Sevinj Babayeva

Azerbaijan State Oil and Industry University
Candidate of Technical Sciences
<https://orcid.org/0000-0002-9334-5483>
babayeva_sevinc64@mail.ru

Sakina Khamtaeva

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master student
<https://orcid.org/0009-0004-5883-0709>
khamtaeva@gmail.com

Investigation of the Use of Probe-Type Heat Pumps Operating in Different Modes in Heating Supply

Abstract

This article analyzes the use of probe-type heat pumps in the heating supply of individual residential houses in the city of Shusha. Three different system schemes were simulated and

evaluated under various operating modes in the study. The research determined that heat pumps reduce electricity consumption by 35-40% compared to traditional boiler systems and that the coefficient of performance (COP) varies between 4.2 and 4.6. Additionally, it was emphasized that heat pumps provide environmental benefits by reducing annual carbon emissions by 30-35%.

Various software programs, including GeoTSol and MS Excel, were used in the study to assess the efficiency of heating systems. Simulation results showed that integrating heat pumps with solar energy in regions like Shusha yields effective outcomes. Systems equipped with 100-meter probes operate more optimally and can reduce operating costs by 20-25%.

The article compares different operating modes and energy efficiency factors of heat pumps, identifying the HPS7.1 model as having the highest performance. The research results indicate that the widespread application of heat pumps can contribute to increasing regional energy security in line with the "Green Energy Zone" concept of Karabakh.

Keywords: probe-type heat pump, GeoTSOL, green energy zone, Shusha city, energy efficiency

Giriş

İlk torpaq mənbəli istilik nasosu sistemi Fələstində Ramallah şəhərində quraşdırılmışdır və istismar xərclərini 67% azaldaraq 4.2 il ərzində geri ödəmə müddətinə malik olmuşdur (Akgüç, 2017). İordaniyada Madaba Amerika Universitetində quraşdırılan sistem illik 200.000 kVt-saat elektrik enerjisinə və 100.000 litr dizel yanacağına qənaət etmişdir (Al Sabawi, 2009). Səudiyyə Ərəbistanında aparılan araşdırmalar göstərir ki, torpaq mənbəli istilik nasosları hava mənbəli sistemlərə nisbətən daha yüksək enerji səmərəliliyinə malikdir (Alshehri, 2022).

Pekin Daxing Beynəlxalq Hava Limanında dünyanın ən böyük torpaq mənbəli istilik nasos sistemi mövcuddur, sistemin istilik və soyutma gücü 54.2 MVt və 48.8 MVt təşkil edir (Bachleda-Baca, 2018). Bu sistem digər bərpa olunan enerji mənbələri ilə birləşdirilərək enerji səmərəliliyini artırır.

İnkişaf etmiş Avropa ölkələrinə nəzər saldıqda, Qlazqoda aparılan tədqiqat nəticəsində istilik nasosları ilə istixana qazlarının emissiyası 76%, günəş panelləri ilə birlikdə isə 35% azalmışdır (Babiloni, Royo, Esbri, Cervera, 2020). Böyük Britaniyada istilik nasoslarının soyuq günlərdə də effektiv işlədiyi sübut olunmuşdur (Clean Growth – Transforming Heating, 2018). Norveçdə günəş enerjisi ilə işləyən torpaq mənbəli istilik nasosu sistemlərinin effektivliyi və optimallaşdırma üsulları tədqiq olunmuşdur (COP29 Media Hub, 2024).

Tədqiqat

Azərbaycanın qonşu ölkəsi olan İranda torpaq mənbəli istilik nasosları sınaqdan keçirilmiş və orta COP 4.76 olaraq hesablanmışdır (Fransson Wilberg, 2022). Türkiyədə istilik nasoslarının müxtəlif tətbiq növləri araşdırılmış və enerji qənaəti potensialı sübut olunmuşdur (Guliyev, Aliyev, 2024).

Azərbaycan iqlim strategiyasını inkişaf etdirərək Qarabağda yaşıl enerji zonasının yaradılmasını planlaşdırır. Qarabağ hidroenerji, günəş, külək və geotermal enerji baxımından böyük potensiala malikdir (GeoT*SOL®, 2013). Mühəribədən sonrakı dövrdə bu regionda günəş və külək elektrik stansiyalarının tikintisi üçün ərazilər müəyyən edilmişdir (Energy Ministry mulls renewable energy potential of liberated territories, 2020). Azərbaycan COP29 konfrasında istixana qazlarının emissiyalarını azaltmaq və azad edilmiş ərazilərdə "təmiz sıfır emissiya" zonası yaratmaq niyyətini bildirmişdir. Qarabağda bərpa olunan enerji istehsalı, elektrik nəqliyyatı, günəş panelləri və LED işıqlandırma sistemlərinin tətbiqi planlaşdırılır (Porkhial, Lotfizadeh, Taghadosi, Abouei, Porkhia, 2023).

İstilik nasosları dünyanın müxtəlif regionlarında geniş tətbiq olunaraq enerji səmərəliliyini artırır və istixana qazı emissiyalarını azaldır. Qarabağın bərpa olunan enerji potensialından istifadə edilməsi Azərbaycanın enerji strategiyasına uyğun olaraq, ekoloji davamlı inkişaf üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqat metodologiyası

Müasir enerji sistemlərinin layihələndirilməsi və optimallaşdırılması mürəkkəb hesablamalar və simulyasiya alətlərindən istifadəni tələb edir. Bu məqsədlə TRNSYS, EnergyPlus, Polysun, EES və digər proqram təminatları geniş tətbiq olunur. Hər biri spesifik metodologiyalara əsaslanaraq, bina istilik yükləri, günəş enerjisi sistemləri və torpaq mənbəli istilik nasosları kimi müxtəlif enerji tətbiqlərinin dəqiq təhlilini təmin edir. Bu simulyasiya vasitələri mühəndislərə və tədqiqatçılara enerji effektivliyinin artırılması və dayanıqlı enerji həllərinin inkişaf etdirilməsi istiqamətində mühüm imkanlar yaradır.

TRNSYS simulyasiya sistemidir və enerji sistemlərinin təhlili üçün istifadə edilir. Qrafik interfeysə malikdir və FORTRAN dilində yazılıb. 150-dən çox komponentdən ibarət kitabxanası var. Simulyasiya modulu müxtəlif enerji tətbiqlərində istifadə olunur. DLL əsaslı arxitekturası vasitəsilə digər proqramlarla integrasiya edilə bilər (T.E.S.S., 2009).

EES qeyri-xətti cəbri və diferensial tənliklərin həlli üçün istifadə olunur. REFPROP proqramı ilə əlaqələndirilərək, müxtəlif termodinamik analizlər aparır. HeatPack EES-in interfeysi olaraq, istilik nasoslarının işləməsini və enerji effektivliyini qiymətləndirir (Wei, Jinqu, Yang, Yu, Lin, 2019).

EnergyPlus bina enerji performansının modelləşdirilməsi üçün inkişaf etdirilmiş proqramdır. Binaanın istilik yükləri, bərpa olunan enerji sistemləri və HVAC modelləri üçün istifadə edilir (Yasin, Alkhawaldeh, 2017).

GeoTSOL istilik nasosu sistemlərinin planlaşdırılması və xarakterik parametrlərin hesablanması üçün nəzərdə tutulmuşdur. Simulyasiya vasitəsilə sistemin iqtisadi və enerji səmərəliliyini qiymətləndirir (Yilmazer, Gurel, Akdemir, 2023). GeoTSOL Avropa standartlarına uyğunluğu və istifadəsi rahatlığı ilə digərlərindən fərqlənir. Bu proqram istilik nasosu sistemlərinin layihələndirilməsi və optimallaşdırılması üçün mühəndislərə geniş imkanlar təqdim edir.

GeoT*SOL proqramı vasitəsilə 3 müxtəlif sxem seçilmişdir və müxtəlif rejimlərdə tədqiq edilmişdir. Bu sxemlər aşağıdakılardır:

1. Kombinə olunmuş çən və günəş istilik sistemi ilə zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemi
2. Bufer çəni, günəş konturu və şirin su stansiyası olan zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemi
3. Günəş konturlu və isti su təchizatı və məkanın isidilməsi üçün ayrıca bufer çəni olan zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemi

Kombinə olunmuş çən və günəş istilik sistemi ilə zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemində zond vasitəsilə torpaqdan istilik toplanılır, istilik nasosu vasitəsilə işçi mayenin temperaturu artırılır və kombinə olunmuş su çəninə ötürülür. Günəş panelindən gələn enerji də su çəninə göndərilir.

Bu sistem monovalent, monoenergetik paralel, monoenergetik alternativ, monoenergetik qismən paralel rejimlərdə tədqiq olunmuşdur.

Bufer çəni, günəş konturu və şirin su stansiyası olan zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemində şirin su stansiyası vasitəsilə suyun temperaturu tənzimlənir və paylanır. Kombinə olunmuş bufer çəni istilik nasosundan, günəş panelindən və su qızdırıcısından gələn istiliyi toplayır və saxlayır.

Günəş konturlu və isti su təchizatı və məkanın isidilməsi üçün ayrıca bufer çəni olan zond tipli, torpaq mənbəli istilik nasosu sistemində əldə olunan enerji isitmə və isti su sistemlərinin enerji tələbatını qarşılamaq üçün iki fərqli çənə göndərilir.

Bu sistemlər isə bivalent paralel, bivalent alternativ və bivalent qismən paralel rejimlərdə tədqiq edilmişdir.

Simulyasiya nəticəsində aşağıdakı cədvəllərdə illik istifadə olunan enerji, mövsümi istilik performansı faktoru və günəş sisteminin nəticələri verilmişdir.

Cədvəl 1.
İllik istifadə olunan enerji.

Tip	HPS4-A	HPS4-B	HPS4-C	HPS4-D	HPS6.1-A	HPS6.1-B	HPS6.1-C	HPS7.1-A	HPS7.1-B	HPS7.1-C
Məkanın qızdırılması, kVt-saat	6222	6215	6212	6215	6229	6222	6229	6226	6225	6224
Məişət isti su, kVt-saat	2638	2638	2637	2638	2625	2621	2625	2638	2457	2459

Cədvəl 2
Mövsümi istilik performans faktorları.

Tip	HPS4-A	HPS4-B	HPS4-C	HPS4-D	HPS6.1-A	HPS6.1-B	HPS6.1-C	HPS7.1-A	HPS7.1-B	HPS7.1-C
İstilik nasosunun SPF-i	3.7	3.9	3.9	3.9	3.6	3.5	3.6	5.2	5.2	5.2
İstilik nasosu sisteminin SPF-i	3.5	3.3	2.3	3.3	3.4	3.3	3.4	4.9	4.8	4.8
Generator sisteminin SPF-i (İN+GİS)	4.9	4.6	3.3	4.6	4.6	4.7	4.6	7.1	6.9	6.6

İstilik nasosu ən çox istifadə olunan mənbədir və sistemlərdə 47.3% - dən 67.8 - ə qədər paya sahibdir. Qazanlar bəzi sistemlərdə (HPS4) istifadə edilmir, lakin HPS7.1-A sistemində yüksək göstəriciyə malikdir. Günəş enerjisi bütün sistemlərdə istifadə olunub və payı 28.8% - dən 38% - ə qədər dəyişir.

Cədvəl 3.
Günəş sistemi.

Tip	HPS4-A	HPS4-B	HPS4-C	HPS4-D	HPS6.1A	HPS6.1B	HPS6.1C	HPS7.1A	HPS7.1B	HPS7.1C
Günəş payı, %	32.1	32.1	32.1	32.1	28.5	28.5	28.5	29.9	31.9	31.9
Məişət isti su üçün günəş payı, %	53.5	53.4	53.7	53.4	45.3	45.6	45.3	81.9	92.8	92.9
Günəş sisteminin səmərəliliyi, %	28.6	28.6	28.6	28.6	26.2	26.2	26.2	28.8	29.8	29.8
Aktiv günəş səthinə düşən radiasiya, kVt-saat	1034	1034	1034	1034	104	1034	10374	1034	10374	1034
Kollektor dövrəsi ilə ötürülən enerji, kVt-saat	3124	3126	3127	3126	2743	2740	2743	3009	3119	3118
Kollektorla ötürülən enerji, kVt-saat	3530	3532	3532	3532	3198	3195	3198	3420	3521	3520

İstilik nasosu ilə illik enerji istehlakında bütün sistemlərdə istilik nasosu ən çox enerji istehlak edən üsuldur və əsas istilik mənbəyidir. Ən yüksək göstərici HPS6.1-A və HPS6.1-C (1718 kVt-saat), ən aşağı göstərici HPS7.1-A (842 kVt-saat) sistemlərində müşahidə olunur. Bütün sistemlərdə köməkçi enerji istifadə olunub, lakin digər mənbələrlə müqayisədə daha az paya sahibdir. Ən

yüksək göstərici HPS4-A (112 kVt-saat), ən aşağı göstərici (69 kVt-saat) sistemlərindədir. Günəş enerjisindən bütün sistemlərdə istifadə olunur və nisbətən sabit göstəricilərə malikdir. Ən yüksək göstərici HPS7.1-B və HPS7.1-C (137 kVt-saat), ən aşağı göstərici HPS4 (100 kVt-saat) sistemlərində müşahidə olunur.

HPS4 sistemində çən itkiləri təqribi 546-549 kVt-saat olmaqla sabitdir. İllik çən itkiləri üzrə ən yüksək göstərici HPS7.1-A (661 kVt-saat), ən aşağı göstərici HPS6.1-B (449 kVt-saat) sistemlərindədir. Günəş çəni itkiləri üzrə ən yüksək göstərici HPS7.1-A (162 kVt-saat), ən aşağı göstərici HPS6.1 (103 – 104 kVt-saat) sistemlərindədir. Daxili günəş borularından itkilər üzrə bütün sistemlərdə oxşar göstəricilər müşahidə olunur, əsasən 333 – 372 kVt-saat aralığında dəyişir. Ən yüksək göstərici HPS6.1 (372 kVt-saat) sistemlərindədir. Xarici günəş borularından itkilər üzrə ən aşağı göstərici HPS4 (64 kVt-saat), ən yüksək göstərici HPS6.1 (83 kVt-saat) sistemlərindədir.

Ən yüksək enerji qənaəti HPS7.1-C (9965 kVt-saat) sistemində müşahidə olunur, ən aşağı enerji qənaəti isə HPS4-C (5173 kVt-saat) sistemində müşahidə olunur. Ən yüksək CO₂ emissiya azaldılması HPS7.1-C (2466 kq) və HPS4-A (1534 kq), ən aşağı HPS4-C (1280 kq) sistemlərində müşahidə olunur. Ən yüksək torpaqdan əldə edilən maksimum güc HPS7.1-B (11978.13 Vt), ən aşağı maksimum güc isə HPS4-B və HPS4-D (10426.53 Vt) sistemlərində müşahidə edilir.

HPS4 sistemləri performans faktoru üzrə ən aşağı göstəricilərə malikdir. HPS6.1 və HPS7.1 modelləri ilə müqayisədə onların performansları 25-40% daha aşağıdır. Ən yüksək artım HPS7.1-B modelində müşahidə olunur. Performans faktoru 4.37-dən 6.73-ə qədər yüksəlir. Ən az artım isə HPS4 modelindədir. Ümumilikdə, HPS7.1 modelinin performans göstəriciləri ən yüksəkdir.

Əgər məqsəd ən yüksək performans və enerji səmərəliliyi əldə etməkdirsə, HPS7.1 modeli seçilməlidir.

Nəticə

1. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, zond tipli istilik nasoslarının istifadəsi nəticəsində istilik performans əmsalı (COP) orta hesabla 4,2-4,6 intervalında dəyişmiş, bu isə sistemin yüksək effektivliyini təsdiqləmişdir. Bundan əlavə, istilik nasoslarının tətbiqi nəticəsində karbon emissiyaları illik 30-35% azalmışdır ki, bu da ekoloji cəhətdən müsbət nəticə kimi qiymətləndirilmişdir.

2. Müxtəlif torpaq və iqlim şəraitləri istilik nasoslarının səmərəliliyinə təsir göstərir. Şuşada 100 metrlik zondlarla təchiz edilmiş sistemlər daha optimal nəticələr vermişdir.

3. Şuşa və ətrafında günəş radiasiyasının illik orta dəyəri 1600-1800 kVt-saat/m² olduğundan, istilik nasoslarının günəş enerjisi ilə integrasiyası səmərəli hesab olunur. Həmçinin, 50-100 metr dərinlikdə torpaq temperaturunun sabitliyi bu sistemlərin davamlı işləməsi üçün əlverişli şərait yaradır. Bu faktorlar istilik nasoslarının bərpa olunan enerji mənbələri ilə dəstəklənmə potensialını artırır.

4. Araşdırma istilik nasoslarının ənənəvi qazan sistemləri ilə müqayisəli təhlilini aparmış və nəticələr istilik nasoslarının uzunmüddətli istismar baxımından daha səmərəli və davamlı bir həll olduğunu sübut etmişdir.

5. Tədqiqat göstərir ki, istilik nasoslarının geniş tətbiqi enerji səmərəliliyinin artırılmasına və bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin sürətləndirilməsinə kömək edə bilər. Qarabağın "yaşıl enerji zonası" konsepsiyası çərçivəsində istilik nasoslarının istifadəsi regional enerji təhlükəsizliyini gücləndirir və idxal olunan yanacaqdan asılılığı azalda bilər.

Ədəbiyyat

1. Akgüç, A. (2017). EnergyPlus və DesignBuilder simulyasiya alətlərinin funksiyası və istifadəsinə ümumi baxış.
2. Al Sabawi, K. (2009). First geothermal system in Palestine. In ECEEE 2009 Summer Study on Energy Efficiency: Innovative Buildings Technologies.
3. Alshehri, F. A. (2022). The performance of vertical ground source heat pumps (GSHPs) in hot/dry climates: Saudi Arabia as a case study.

4. Babiloni, A. M., Royo, C. M., Esbri, J. N., Cervera, A. B. (2020). High-temperature heat pump simulator (Heatpack) for application in computer laboratory sessions for engineering students.
5. Bachleda-Baca, A. (2018). Design and analysis of ground source heat pump system associated with grid connected PV system in multi-family building.
6. Clean Growth – Transforming Heating. (2018). Department for Business, Energy and Industrial Strategy.
7. COP29 Media Hub. (2024). Breakthrough in Baku delivers \$13tn Baku finance goal. <https://cop29.az/az/media-hub/news/breakthrough-in-baku-delivers-13tn-baku-finance-goal>
8. Energy Ministry mulls renewable energy potential of liberated territories. (2020). <https://energycentral.com/news/energy-ministry-mulls-renewable-energy-potential-liberated-territories>
9. Fransson Wilberg, S. (2022). Performance analysis of a solar thermal system coupled with a ground source heat pump in Nordic conditions.
10. GeoT*SOL®. (2013). Exploiting the Earth's Sustainable Energy Supply.
11. Guliyev, I. A., Aliyev, F. G. (2024). The green energy potential and natural resources in Karabakh.
12. Porkhial, S., Lotfizadeh, H., Taghadosi, M., Abouei, A., Porkhia, P. (2023). Experimental performance analysis of ground source heat pumps (GSHPs) in Taleghan-Iran.
13. T.E.S.S. (2009). Component Libraries v.17.01 for TRNSYS v17.0 and the TRNSYS Simulation Studio, Parameter/Input/Output Reference Manual. Thermal Energy System Specialists, LLC.
14. Wei, X., Jinqiu, L., Yang, B., Yu, J., Lin, B. (2019). Introduction to energy planning and terminal energy saving design of Daxing international airport.
15. Yasin, B., Alkhawaldeh, A. (2017). Ground source heat pump systems and pump exchanger systems in Jordan. Dead Sea, Jordan.
16. Yılmaz, F., Gürel, A. C., Akdemir, O. (2023). Bir villanın istilik nasosunun istiləşməsinin performansını və ətraf mühitin öyrənilməsi.

Daxil oldu: 27.11.2024

Qəbul edildi: 02.03.2025