

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/125/185-189>

Cahan Əhmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

<http://orcid.org/0000-0003-4113-9351>

ahmedova_cahan1975@mail.ru

Nihad Rüstəmli

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

magistrant

<https://orcid.org/0009-0007-1779-3982>

rustemlen@gmail.com

Xəzər dənizi suyunun hibrid şirinləşdirmə sistemlərində nanosüzülmə üsulunun bəzi texnoloji aspektlərinin araşdırılması

Xülasə

Təklif olunan məqalədə okean suyunun emalı istiqamətində bir sıra alimlərin işlərinin icmalı əsasında şirinləşdirmə sistemlərində ilkin nanosüzülmə üsulunun sulfat ərplərinin yaranmasının qarşısının alınmasında səmərəliliyi göstərilmişdir. Peşəkar kompüter proqramında Xəzər dənizi suyunun emalında nanosüzülmə prosesinin imkanlarının araşdırılması aparılmış və NF200-400i markalı membranların göstəricilərinin yüksək olması müəyyən olunmuşdur. Bu marka membranlı nanosüzülmə texnologiyasının əks-osmos membranlarının və termiki distillə qurğularının qızma səthlərinin sulfat ərplərindən etibarlı qorunması göstərilmişdir. Nanosüzülmə üsulundan istifadə etməklə şirinləşdirilmiş suyun çıxımının artmasına, çəkilən xərclərin azalmasına, distillə prosesində temperatur həddinin yüksəlməsinə nail olmağın mümkünlüyü aşkar edilmişdir.

Açar sözlər: *Xəzər dənizi suyu, şirinləşdirmə, nanosüzülmə, membranların markası, sulfat ərpləri, hibrid texnologiya*

Jahan Ahmadova

Azerbaijan State Oil and Industry University

<http://orcid.org/0000-0003-4113-9351>

ahmedova_cahan1975@mail.ru

Nihad Rustamli

Azerbaijan State Oil and Industry University

Master's student

<https://orcid.org/0009-0007-1779-3982>

rustemlen@gmail.com

Research of Some Technological Aspects of the Nanofiltration Method in Hybrid Desalination Systems of Caspian Sea Water

Abstract

The proposed article, based on a review of the work of a number of scientists in the field of ocean water treatment, shows the effectiveness of the primary nanofiltration method in preventing the formation of sulfate scales in desalination systems. The possibilities of the nanofiltration process in the treatment of Caspian Sea water were investigated in a professional computer program, and the high performance of NF200-400i membranes was determined. It has been shown that nanofiltration technology using this grade of membranes reliably protects reverse osmosis membranes and heating surfaces of thermal distillation units from sulfate deposits. It was found that using the nanofiltration method, it is possible to achieve an increase in the yield of desalinated water, a decrease in costs, and an increase in the temperature limit in the distillation process.

Keywords: *Caspian Sea water, desalination, nanofiltration, brand of membranes, sulfate deposits, hybrid technology*

Giriş

Dövrün dünya miqyaslı problemlərindən biri şirin su qıtlığıdır. Planetin >2 mlrd əhalisi içməli suya ehtiyacı olan ölkələrdə yaşayır. Problemi kəskinləşdirən səbəblər kimi sənaye müəssisələrinin, kənd təsərrüfatının, enerji istehlakının artmasını, iqlimin dəyişməsinə, şirin su mənbələrinin çirkləndirilib yararsız hala salınmasını, sudan səmərəsiz istifadəni, urbanizasiyanı və s. göstərmək olar. Dünya miqyasında şirin suyun ~70%-i kənd təsərrüfatına (suvarma, heyvandarlıq və s.), 17–22%-i sənayeyə, 8–12%-i məişət-kommunal ehtiyaclarına sərf olunur.

Şirin su qıtlığı global problemdir və ciddi fəsadları vardır: kənd təsərrüfatı məhsullarının azalması ilə aclığa, çayların, göllərin və dənizlərin sularının azalması ilə quraqlığa, ölkələr arasında konfliktlərin yaranmasına, istilik elektrik stansiyalarında (İES) enerji hasilatının azalmasına, çirklənən sudan istifadə səbəbindən sağlamlıq problemlərinin yaranmasına və s. gətirir.

Müxtəlif sənaye sahələrində su istehlakı:

- Energetika sektorunda su əsas rol oynayır. Bərk, qaz və nüvə yanacağı ilə işləyən istilik elektrik stansiyalarında buxarın alınmasında, turbinlərin və kondensatorların soyudulmasında sudan istifadə edilir. Burada istehlak gündə milyonlarla tona çatır ki, bu da enerji hasilatı sektorunu ən böyük su istifadəçilərdən birinə çevirir. Bu sektor su hövzələrinə birbaşa təsir edir: həm istifadəyə görə, həm də çirkləndirməyə görə;

- Tekstil istehsalı parçaların boyanması, yuyulması və emalı üçün xeyli miqdarda su tələb edir. Bu, ən çox su sərf edən pambığın yetişdirilməsindən tutmuş son emal mərhələsinə qədər hər kiloqram parçanın alınmasına 200 litrədək su sərf olunması ilə müşahidə edilir. Bu sənayedə boyalar və kimyəvi maddələrlə suyun çirklənməsi ciddi ekoloji problem yaradır;

- Metallurgiya və kimya sənayesi də suyun əsas istifadəçiləridir. Metal istehsalı prosesində əritmə sobalarının soyudulmasında, filizlərin yuyulması və emalında sudan istifadə olunur. Kimya sənayesində reaksiyaların getməsi, kimyəvi maddələrin təmizlənməsi və nəql olunması üçün su vacibdir. Bu proseslər su hövzələrinin zəhərli maddələrlə çirklənməsinə səbəb ola bildiyi üçün alınan tullantıların emalı tələb edilir;

- Qida sənayesi də çox su istifadə edən sahələrə aiddir. Burada sudan sanitariya-gigiyenik məqsədlərlə, yemək və içkilərin hazırlanmasında və s. istifadə edilir. Yaranan tullantı sular ciddi monitorinq tələb edir.

İstifadə üçün həm suyu, həm də ekologiyanı qorumaq məqsədilə yaranan tullantıların emalı vacibdir. Emal zamanı çökdürmə, koagulyasiya, flotasiya, filtrasiya, pH-ın korreksiyası üçün neytrallaşdırma, mikroorqanizmlərin parçalanması, həll olunan maddələrin termiki, ion-mübadilə və membran texnologiyaları ilə təmizlənməsi üsulları tətbiq olunur. Sənaye məqsədləri üçün suyun emalı prosesləri kompleks xarakter daşımalıdır ki, su ehtiyatlarının gələcək nəsillər üçün qorunması təmin edilsin.

Tədqiqat

Azərbaycan Respublikası üçün də su qıtlığı problemi aktualdır, əsasən Abşeron yarımadasında. Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilərək istifadəyə verilməsi problemin həlli yollarından biridir. Bizim tərəfimizdən hazırlanmış bir sıra işlərdə (Abbasov və Akhmedova, 2024; Abdullaev və b., 2010; Agamaliyev, 2006) Xəzər dənizi suyunun hibrid şirinləşdirmə texnologiyaları təklif edilmişdir. Burada əks-osmosla termiki distillə üsullarının birləşdirilməsi aparılmışdır. Bu işlərdə həm iqtisadi, həm də ekoloji səmərəlilik baxımından termiki distillə mərhələsində respublikada fəaliyyət göstərən elektrik stansiyalarının ikinci enerji resurslarından istifadə etmək nəzərdə tutulmuşdur.

Qeyd etmək vacibdir ki, suyun şirinləşdirilməsi texnologiyalarının önəmli aspektlərindən biri istilik mübadilə və membran səthlərində ərplərin yaranmasının effektiv şəkildə qarşısının alınmasıdır. Təcrübədə bu məsələlərin həlli üçün bir neçə üsuldən (Agamaliyev və b., 2011; Akhmedova və Agamaliyev, 2011) istifadə edilir: xam suyun turşulaşdırılması, antiərp və antiskalantların əlavə olunması, ion-mübadiləli yumşaldılma və s. Bu üsulların hər birinin müsbət və mənfi cəhətləri olduğu üçün alınan məhsulun keyfiyyət göstəricilərinə görə emal texnologiyası düzgün seçilməlidir. Son illərdə bir sıra tədqiqatçılar (Akhmedova və Akhmedov, 2015; Feiziev, 2009) tərəfindən ərplərin

yananmasının qarşısını almaq məqsədilə nanosüzülmə üsulundan istifadə məqsədəuyğun hesab olunur.

Təklif edilən məqalə Xəzər dənizi suyunun nanosüzülmə və əks-osmos üsullarına əsaslanan hibrid şirinləşdirmə texnologiyasının işlənməsində bəzi aspektlərin araşdırılmasına həsr olunmuşdur.

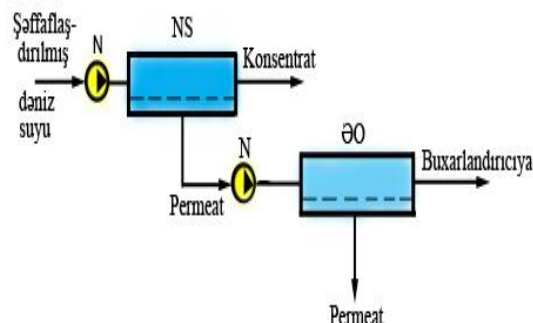
Duzlu suyun hibrid şirinləşdirmə texnologiyasının prinsipial sxemi və tədqiqat üsulu

Tədqiqatlar hesablama-analitik üsulla peşəkar ROSA (*Reverse Osmosis System Analysis*) kompüter proqramında aparılmışdır (Fedorenko, 2003; Hamed və Hasan, 2009). Bu proqram baro-membran texnologiyalarının hesabı və layihələndirilməsi baxımından geniş imkanlara malikdir. Burada membranların xarakteristikalarına və qoşulma sxeminə görə ən əlverişli variantları seçib hesablamasını aparmaq mümkündür.

Hal-hazırda ərpin yaranmasının qarşısını almaq məqsədilə antiərpələrdən istifadə geniş tətbiq edilir. Lakin antiərpələr bir sıra mənfi xüsusiyyətlərə malikdir: yüksək temperaturda (100 °C) termolizə uğrayaraq səmərəliliyi kəskin azalır, suda kalsium sulfatın doyma həddinə çatdıqda təsiri zəifləyir, mürəkkəb çoxkomponentli tərkibə malik olduğundan iqtisadi cəhətdən bahadır, bununla yanaşı təbiət onu utilizə edə bilmədiyi üçün ekoloji baxımdan zərərliyə.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq bir sıra alimlər (Khoruzhiy et al., 2012; *ROSA software*, n.d.) tərəfindən nanosüzülmə üsulunun əlverişli olduğu bildirilir. Üsulun mahiyyəti suyu ikivalentli ionlara (Ca^{2+} , Mg^{2+} və SO_4^{2-}) görə yüksək selektivliyə malik membranlardan keçirərək yumşaltmaq, sulfatsızlaşdırmaq və qismən duzsuzlaşdırmaqdan ibarətdir. Nanosüzülmə texnologiyasının membranları əsasən sulfat ionlarına (98%), sonra isə codluq kationlarına (97,8%) görə yüksək selektivliyə malikdir. Emal sxemində ultrasüzülmə ilə əks-osmos arasında yerləşməklə duzlu və yeraltı şoran sulardan içməli və texniki suların hazırlanmasında tətbiq edilir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq suyun hibrid şirinləşdirmə üsulunun texnoloji sxemləri müxtəlif dizaynlarda (NS–ƏO, ƏO–NS, NS–ƏO–termiki distillə və s.) layihələndirilə bilər. NS–ƏO texnologiyasının sxemi şəkildə verilmişdir.



Şəkil 1. Xəzər dənizi suyunun hibrid şirinləşdirilmə üsulunun texnoloji sxemi

Şəkildəki sxemə əsasən, şəffaflaşdırılmış dəniz suyu nasosla (N) nanosüzülmə (NS) qurğusuna verilir. Yaranan konsentrat yenidən dənizə atılır, permeat isə yüksək təzyiqli nasosla əks-osmos qurğusuna (ƏO) ötürülür və əldə olunan şirinləşdirilmiş su istilik elektrik stansiyasının əlavə su hazırlama buxarlandırıcılarına göndərilir.

ROSA proqramı ilə aparılan tədqiqatların nəticələri

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, nanosüzülmə texnologiyası ilə suyun şəffaflığını artırmaq və mikroorqanizmlərdən təmizləmək mümkündür. NS texnologiyasının membran markaları: NF200-400i, NF270-4040, NF90-2540, NF270-2540 və s. mövcuddur. Emal olunan suyun keyfiyyətinə görə istifadə olunan membranların markası dəyişə bilər. Cədvəl 1-də müqayisə üçün Fars körfəzi və Xəzər dənizi sularının tərkibində ərp əmələ gətirən komponentlərin miqdarı göstərilmişdir (Hamed və b., 2009).

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, NF200-400i markalı membranlar sulfat ionlarına görə yüksək selektivliyə malikdir, codluq ionlarını 76,5–84,4%, ümumi duzluluğu isə 51–62% həddində aşağı salır. Sulfat ərplərinin yaranmasının qarşısı konversiyanın 60%-də alınır, karbonat ərplərinin yaranmasının qarşısını isə suya az miqdarda turşulaşdırma tətbiq etməklə almaq mümkündür.

Cædvæl 1.

№	Komponentlər	Fərs körfəzi, mq/dm ³	Xəzər dənizi, mq/dm ³
1	Ca ²⁺	600	320
2	Mg ²⁺	1550	729
3	SO ₄ ²⁻	3440	3264
4	HCO ₃ ⁻	128	213
5	TDS	47367	12750

Cædvæl 2.

№	Komponentlər, mq/dm ³	Fars körfəzi, mq/dm ³			Xəzər dənizi, mq/dm ³		
		Permeatın konversiyası			Permeatın konversiyası		
		60, %	70, %	80, %	60, %	70, %	80, %
1	K ⁺	207	250	264	-	-	-
2	Na ⁺	5700	6822	7251	1427	1564	1900
3	Mg ²⁺	223	327	362	97	114	175
4	Ca ²⁺	73,6	107	118	50,4	59,0	88,6
5	Sr ²⁺	1,4	2,0	2,3	-	-	-
6	CO ₃ ²⁻	8,2	10,6	11,8	4,2	5,0	7,2
7	HCO ₃ ⁻	30,7	39,3	43,8	62,8	72,4	98,5
8	Cl ⁻	9697,4	11809	12594	2492	2755	3461
9	SO ₄ ²⁻	47,1	63,8	74,4	52,7	63,7	97,1
10	TDS	15989	19320	20722	4186	4634	

Qeyd: K^+ və Sr^{2+} - Xəzər dənizi suyunda çox az miqdarda olduğu üçün nəzərə alınmır.

Nætica

Membran texnologiyalarının peşəkar “ROSA” kompüter programından istifadə etməklə Xəzər dənizi suyunun xüsusiyyətləri araşdırılmış və sulfatların ərp əmələ gətirmə potensialı okean suyunun xassələri ilə müqayisə olunmuşdur. NF200-400i marka membranı üzərində aparılan tədqiqatların

nəticələrinə əsasən, onun ərp əmələ gətirən komponentlərə görə yüksək selektivliyə malik olduğu müəyyən olunmuşdur ki, bu da sulfat ərpi probleminin müvəffəqiyyətlə həll olunmasına imkan yaradır. Əks-osmos qurğusunun bəsləyici suyunun nanosüzülmə üsulu ilə yumşaldılması şirinləşdirilmiş suyun konversiyasını 92%-dək artırma bilər, termiki qurğular üçün isə buxarlanma temperaturuna və dəfəliyinə qoyulan həddi aradan qaldıraraq çəkilən xərcləri azaldar.

Ədəbiyyat

1. Abbasov, C. C., & Akhmedova, C. A. (2024). Alternativ enerji mənbələrindən istifadə etməklə duzlu suların hibrid şirinləşdirmə sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması. *Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri*, 36(05), 140–149. <https://bsj.fisdd.org/index.php/pahtei>
2. Abdullaev, K. M., Akhmedova, D. A., & Agamaliyev, M. M. (2010). Tekhnologiya kombinirovannogo opresneniya mineralizovannykh vod s ispol'zovaniem vtorichnykh energoresursov dizel'nykh elektrostantsiy modul'nogo tipa. *Problemy energetiki*, (2), 33–46.
3. Agamaliyev, M. M. (2006). Komp'yuternaya programma "ROSA" i ee vozmozhnosti. In *Engineering problems of the protection of environment from the waters of the thermal energy facilities* (pp. 144–154).
4. Agamaliyev, M. M., Babaev, A. M., Mamedbekova, R. G., & Alizade, A. S. (2011). Nanofil'tratsiya kak novyy metod predotvrashcheniya nakipeobrazovaniya v sistemakh opresneniya mineralizovannykh vod. *Problemy energetiki*, (1), 92–106.
5. Akhmedova, D. A., & Agamaliyev, M. M. (2011). Energoberegayushchaya tekhnologiya kombinirovannogo opresneniya morskoy vody. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, (5), 37–40.
6. Akmedova, C. A., & Akhmedov, A. B. (2015). Dəniz suyunun termiki distillə texnologiyasında yanma məhsullarının tullantı istiliyindən istifadə etməklə ekoloji zərərin azaldılması. *Elmi İş – Beynəlxalq Elmi Jurnal*, 19(4), 251–257.
7. Fedorenko, V. I. (2003). Ingibirovanie osadkoobrazovaniya v ustanovkakh obratnogo osmosa. *Kriticheskie tekhnologii. Membrany*, (2), 23–30.
8. Feiziev, G. K. (2009). *Vysokoeffektivnye metody umyagcheniya i obessolivaniya vody*. Takhshil TPP.
9. Hamed, O. A., & Hasan, A. M. (2009). Performance analysis of trihybrid NF/RO/MSF desalination plant. *Desalination and Water Treatment*, 1, 215–222.
10. Hamed, O. A., Hasan, A. M., & Al-Shail, K. (2009). Performances analysis of a trihybrid NF/RO/MSF desalination plant. *Desalination and Water Treatment*, 1, 212–222.
11. Khoruzhiy, O. V., Pantelev, A. A., Ryabchikov, B. E., et al. (2012). *Tekhnologiya membrannogo razdeleniya v promyshlennoy vodopodgotovke*. Deli Plyus.
12. ROSA software. (n.d.). Retrieved from <http://www.rosa9.software.informer.com>

Daxil oldu: 17.09.2026

Qəbul edildi: 29.12.2025