

TEXNİKA ELMLƏRİ

TECHNICAL SCIENCES SECTION

DOI: <https://www.doi.org/10.36719/2663-4619/80/105-117>

Cahan Arif qızı Əhmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika üzrə fəlsəfə doktoru
ahmedova_cahan1975@mail.ru

NANOSÜZÜLMƏ - XƏZƏR DƏNİZİ SUYUNUN ŞİRİNLƏŞDİRİLMƏ ŞİRİNLƏŞDİRİLMƏ TEXNOLOGİYASI KİMİ

Xülasə

Məqalədə innovativ hesab olunan nanosüzülmə texnologiyası ilə Xəzər dənizi suyunun şirənləşdirilmə prosesinin tədqiqinin nəticələri gətirilir. Tədqiqatlar ABŞ-ın DOW Chemical şirkəti tərəfindən işlənmiş ROSA kompüter proqramı vasitəsilə NF90-400 markalı membranın misalında yerinə yetirilmişdir. Membran modullarının qoşulma sxeminin, qurğuya verilən dəniz suyunun temperaturunun, ondan alınan şirənləşdirilmiş suyun payının membranlar üzərində CaCO_3 və CaSO_4 ərpinin yaranma ehtimalına, alınan suyun keyfiyyət göstəricilərinə, eləcə də maya dəyərinə təsiri öyrənilmişdir. Ərpin qarşısını almaq üçün müvafiq təkliflər verilmişdir. Göstərilmişdir ki, membran modulların bir pilləli qoşulma sxeminin istifadəsi ilə dəniz suyunun duzluluğu 12768 mq/dm^3 -dan $800\div 1450 \text{ mq/dm}^3$ -dək, iki pilləli sxemlə $120\div 272 \text{ mq/dm}^3$ -dək azaldıla bilər. Birinci halda şirənləşdirilmiş suyun maya dəyəri $0,24 \text{ AZN/m}^3$, ikinci halda $0,36 \text{ AZN/m}^3$ həddində gözlənilir. Alınan suyun içməli şirin su əvəzinə bəzi istifadə sahələri qeyd olunmuşdur.

Açar sözlər: dəniz suyu; şirənləşdirilmə, nanosüzülmə texnologiyası, ROSA proqramı, ərpin yaranması, keyfiyyət göstəriciləri, maya dəyəri

Jahan Arif Ahmadova

Nanofiltration - as an efficient technology of water desalination of the Caspian sea

Abstract

The article presents the results of the study of the process of sedimentation of the Caspian Sea with the use of innovative nanofiltration technologies. The study was conducted on a sample of NF90-400 membranes using the computer program ROSA, developed by the American company DOW Chemical. Influence of connection schemes of membrane modules, temperature of sea water, supplied to the device, received from it fresh water on the probability of formation of CaCO_3 and CaCO_4 on membranes, the quality of the received water, and also studied the cost. Corresponding suggestions are made to prevent the formation of nakipi. It is shown that the salinity of seawater can be reduced from 12768 mg/dm^3 to $800\div 1450 \text{ mg/dm}^3$ when using single-stage circuit connection of membrane modules, and up to $120\div 272 \text{ mg/dm}^3$ with two-stage. In the first case the cost of fresh water is expected at the level of $0,24 \text{ AZN/m}^3$, in the second case $0,36 \text{ AZN/m}^3$. Cases of use of the obtained water are replaced by fresh water.

Key words: sea water, desalination, nanofiltration technology, ROSA program, scale formation, quality indicators, cost price

Giriş

Yer kürəsinin 75%-i su ilə örtülsə də onun təxminən 97% -i duzlu okean və dəniz sularının payına düşür, qalan 2,5%-ni əlçatmaz hesab edilən buzlaqlar təşkil edir və yalnız 0,5%-i insanların kommunal-məişət, kənd təsərrüfatı, sənayenin bəzi sahələri və digər ehtiyacları üçün yararlı, duzluluğu 1 q/dm^3 -dən kiçik olan çay və yeraltı şirin suların payına düşür (Peter, 2015:402). Əhalinin sayının sürətlə artması

(2030-cu ilə 9 mlrd gözlənilir), sənayenin və kənd təsərrüfatının inkişafı, iqlimin dəyişməsi və digər səbəblər dünyanın bir çox ölkəsində şirin su qıtlığı problemini yaratmışdır. Eyni problem Azərbaycan Respublikasının Abşeron yarımadasında və Xəzəryanı ölkələrin bəzi regionlarında da mövcuddur. Dünya praktikası (Səudiyyə Ərəbistanı, Birləşmiş Ərəb Əmirlikləri, İsrail və s.) göstərir ki, şirin su çatışmazlığının aradan qaldırılmasının səmərəli yolu duzlu okean, dəniz və yeraltı sularının şirinləşdirilməsidir: duzluluğunu təxminən $3\div 45$ q/dm³-dən $0,5\div 1$ q/dm³-dək, bəzi sənaye sahələri üçün isə bir neçə mq/dm³-dək azaldılmasıdır (Curto, 2021:2; Mohamed, 2020:2-3).

Hal-hazırda sənaye miqyasında istifadə edilən şirinləşdirilmə texnologiyaları iki əsas qrupa bölünür: membran və termiki. Dünyada istehsal edilən şirinləşdirilmiş suyun əsas hissəsi membran texnologiyalarının payına düşür, o cümlədən əks-osmos (RO-Reverse Osmosis) – 69,2%; elektrodializ – 2%; nanosüzülmə (NF-Nanofiltration) – 1,9%. Termiki şirinləşdirilmə texnologiyalarının ümumi payı – 24% təşkil edir. Qalan hissə digər texnologiyaların payına düşür – günəş, dondurulma və s. (Sergio, 2021:16).

RO və NF texnologiyaları baromembran proseslərə əsaslanır. Mahiyyəti – məsamələri çox kiçik olan ($0,1\div 2$ nm) membranların üzəri ilə hərəkət edən duzlu suya osmotik təzyiqdən daha yüksək təzyiq göstərməklə, onu iki hissəyə ayırmaqdır: membrandan keçmiş və tərkibində duzların konsentrasiyası az olan permeata (şirinləşdirilmiş suya) və ətraf mühitə atılan, duzların konsentrasiyası yüksək olan qalıq məhlulə (konsentrata) (Zi Yang, 2019:2). Hər texnologiyanın öz xüsusiyyətləri vardır. Belə ki, RO membranların məsamələri daha kiçik olduğundan onların selektivliyi bütün ionlara görə yüksək olur ($99,2\div 99,7\%$). Ona görə daha dərin duzsuzlaşdırılmış permeat alınır. Bununla bərabər, xam suyun osmotik təzyiqi ilə onun duzluluğunu xarakterizə edən TDS (Total Dissolved Solids) göstəricisi arasında düz mütənəsb asılılıq olduğundan, RO texnologiyasının təşkili yüksək təzyiq və ona uyğun yüksək enerji sərfi tələb edir. Məsələn, göstərilir ki, TDS-i 35 q/dm³ olan standart okean suyunun şirinləşdirilməsində işçi təzyiq $50\div 90$ bar, xüsusi enerji sərfi $3\div 4$ kVt-saat/m³ təşkil edir və alınan permeatın maya dəyərinin $37\div 43\%$ -i enerji xərclərinin payına düşür (Sergio, 2021:12-16).

TDS-i yüksək səviyyədə olan suların RO prosesində alınan permeatın payı da (konversiyası, hidravliki f.i.ə) kiçik alınır: xam suyun $30\div 40\%$ -ni təşkil edir. Xam suyun TDS-i azaldıqca RO prosesinin göstəriciləri yaxşılaşır. Məsələn, son illər TDS-i $12\div 13$ q/dm³ olan Xəzər dənizi suyunda istismar edilən RO qurğusunda (“Şimal” Elektrik Stansiyası, Azərbaycan Respublikası) işçi təzyiq $30\div 35$ bar, permeatın payı $60\div 70\%$ təşkil edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, məlum səbəblərə görə “Dəniz” adlandırılsa da, TDS göstəricisinə görə ədəbiyyatda qəbul edilmiş təsnifata uyğun olaraq, Xəzər suyu şoran (brackish, солоноватая) sular sinfinə aiddir. Son illər bir çox tədqiqatçılar hesab edirlər ki, şoran suların keyfiyyət göstəriciləri bir-birindən çox fərqləndiyi üçün onların şirinləşdirilməsi ayrıca tədqiqat obyektinə olmalıdır və bu istiqamətdə nisbətən “gənc” olan NF texnologiyasının imkanları ətraflı tədqiq edilməlidir (Jiayu Tian, 2021:3; Talaeipour, 2017:7-8).

NF–membranlarının RO–membranlarından üç əsas fərqi qeyd edilir – birincilərin məsamələri daha böyük olur, onlar müəyyən səthi yüklə xarakterizə olunur, xam suda olan iki valentli Ca^{2+} , Mg^{2+} və SO_4^{2-} ionlarına görə bu membranların selektivliyi yüksək ($90\div 98\%$), bir valentli Na^+ , Cl^- və HCO_3^- ionlarına görə kiçik ($40\div 80\%$) olur. Bununla əlaqədar RO-ya nisbətən NF texnologiyası aşağıdakı üstün cəhətlərə malikdir: kiçik işçi təzyiq ($5\div 20$ bar) və enerji sərfi ($0,5\div 1,5$ kVt-saat/m³), membranın permeata görə yüksək keçicilik xassəsi (xüsusi məhsuldarlığı), membranların dözümlü olması, suyun dərin yumşaldılması ilə bərabər qismən duzsuzlaşdırma qabiliyyətinə malik olması. RO və NF texnologiyalarının müqayisə xarakterli tədqiqatlarının biri Qətərdə şoran sudan suvarma suyunun alınmasına həsr olunmuşdur və göstərilmişdir ki, NF texnologiyasından istifadə elektrik enerjisinin sərfini 29% azaldır (Jiayu Tian, 2021:4-7).

TDS-i $1\div 25$ q/dm³ həddində olan şoran suların NF texnologiyası ilə şirinləşdirilməsinə aid son $10\div 15$ ildə aparılmış tədqiqatların icmalında NF texnologiyasının səmərəliliyinə təsir edən əsas faktorlar kimi aşağıdakılar qeyd edilir: xam suyun keyfiyyət göstəriciləri (TDS, ionların, mexaniki qatışıqların və üzvi maddələrin konsentrasiyası, suyun pH-ı); membranlar üzərində qeyri-üzvi və üzvi maddələrin çökməsi ($CaCO_3$, $CaSO_4$, $SrSO_4$ və s.); istismar şərtləri (işçi təzyiq, permeatın payı, xam suyun temperaturu və s.);

membranın keyfiyyəti (məsamələrin ölçüləri, membranın qalınlığı, səthi yükün ölçüsü və s.) (Jiayu Tian, 2021:6).

Tədqiqatların birində şoran suyun pH və TDS göstəricilərinin NF laborator qurğusunda şirinləşdirilmə prosesinin göstəricilərinə təsiri tədqiq edilmiş və göstərilmişdir ki, xam suyun pH-nın yüksək olması (>6) əlverişlidir. Bunun səbəbini tədqiqatçılar NF membranının səthi yükü ilə suda olan ionlar arasındakı qarşılıqlı təsirlə izah etmişlər. Amma çox yüksək pH-ın membran üzərində CaCO_3 çöküntüsünün yaranmasına gətirə biləcəyi, membranda neqativ struktur dəyişiklərin baş verə biləcəyi baxımından xam suda ionların konsentrasiyasının nəzərə alınması vacibliyi də qeyd olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, xam suyun TDS-in 1 dəfədən 4,5 dəfəyədək artırılması membranın xüsusi məhsuldarlığını 9,1% azaldır, permeatın TDS-ni isə 18,2% artırır. Bunun səbəbi konsentrasiya polyarizasiyasının artması və transmembran təzyiqin azalması ilə izah olunur (Jiayu Tian, 2021:5).

NF prosesinin səmərəliliyinə təsir edən əsas faktorlardan biri membran üzərində qeyri-üzvi və üzvi tərkibli çöküntülərin yaranmasıdır. Çünki bu halda qurğunun məhsuldarlığı azalır, işçi təzyiq və enerji sərfi artır, membranlar tez sıradan çıxır. Ona görə əsas məsələlərdən biri xam suyun keyfiyyətini nəzərə alaraq onun ilkin emalının düzgün təşkil edilməsidir. Bu məqsədlə müxtəlif üsullardan istifadə edilir: kolloid qatışıqlarının qarşısını almaq üçün koagulyasiya+mikrosüzülmə və ya ultrasüzülmə, müxtəlif konstruksiyalı mexaniki süzgəclər; üzvi çöküntülərə qarşı – natrium hipoxlorit; qeyri-üzvi çöküntülərə qarşı – xam suyunun turşulaşdırılması və bu suya antiərpən (antiskalantın) dozalaşdırılması. Bu məsələ ilə əlaqədar tədqiqatlarda göstərilir ki, xam suyun turşulaşdırılması ilə onun tərkibində olan HCO_3^- ionlarının parçalanmasına nail olunur və bununla CaCO_3 -ün yaranmasının qarşısı alınır. Antiərpələr mürəkkəb kimyəvi tərkibli reagentlərdir. Onlar membran üzərində əsasən CaSO_4 -ün çökməsinin qarşısını almaq üçün istifadə olunur. Təsiri mexanizmi adsorbsiya prosesinə əsaslanır: xam suya verilən reagent NF prosesində qatılan konsentratın tərkibində tədricən əmələ gələn CaSO_4 mikrokristalların üzərinə adsorbsiya olunur, onların iriləşib membran üzərinə çökməsinin qarşısını alır. Dozası çox kiçik olur: 5-10 mq/dm³. Nəticə etibarilə bu reagent dəyişikliyə məruz qalmır və konsentratın tərkibində ətraf mühitə atılır. Ona görə toksikoloji xassəsi nəzərə alınmalıdır.

Bir çox tədqiqatçılar ənənəvi şirinləşdirilmə qurğularının (RO, elektrodializ, termiki, düz-osmos, membran distillyasiyası və s.) NF modulu ilə hibridləşmə sistemlərinin səmərəli olduğunu göstərilir. Çünki bu halda xam suyun ərp əmələ gətirən iki valentli ionları NF mərhələsində xaric olunur, əsas şirinləşdirilmə mərhələsinin səmərəliliyi artır, xərclər azalır (Dong Zou, 2015:110-114).

Duzlu suların NF texnologiyası ilə şirinləşdirilməsi istiqamətində aparılan və bəzilərinin yuxarıda gətirilən tədqiqatlarının nəticələrinin təhlili göstərir ki, bu proses çox faktordur. Onun səmərəliliyinə (permeatın payına və keyfiyyətinə, enerji sərfinə, membranın istismar müddətinə) əhəmiyyətli dərəcədə xam suyun keyfiyyət göstəriciləri, kalsium tərkibli çöküntülərin əmələ gəlməsi və membranların qoşulma sxemləri təsir edir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, hələlik NF prosesinin etibarlı nəzəri modeli işlənilməkdədir və tədqiqatçılar yarım-empirik modellərin istifadəsinə və eksperimental tədqiqatlara üstünlük verirlər. Ona görə hər hansı bir suda alınan kəmiyyət qanunauyğunluqlarının digər sulara ekstrapolyasiya edilməsi etibarlı deyil. Eyni zamanda NF modullarının qoşulma sxeminin (birpilləli, ikipilləli, resirkulyasiyalı, resirkulyasiyasız) prosesin əsas göstəricilərinə təsiri çox az tədqiq edilmişdir və əsas tədqiqatlar birpilləli sxem üçün aparılmışdır. Xəzər dənizi suyuna gəldikdə dərc olunmuş tədqiqatlarda müəllif innovativ hesab olunan NF texnologiyası ilə bu suyun şirinləşdirilməsinə aid materiallara rast gəlməmişdir.

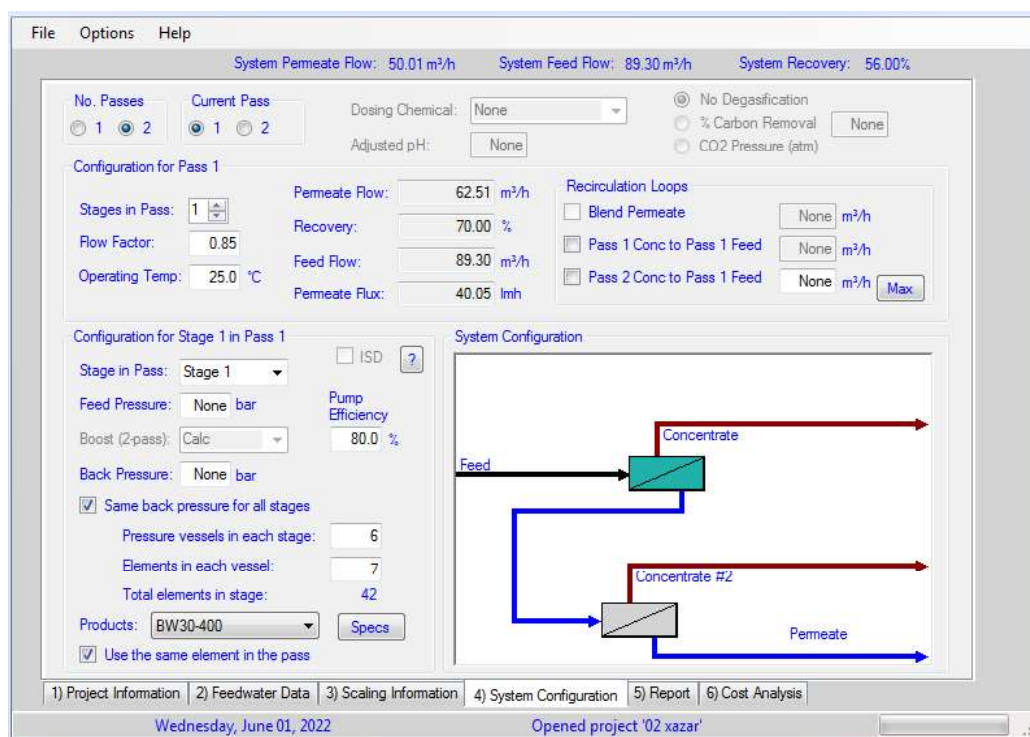
Məqalənin məqsədi nanosüzülmə texnologiyası əsasında Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilmə prosesinin texnoloji və texniki-iqtisadi məsələlərinin tədqiqindən ibarətdir. Tədqiqatın əsas məsələləri – membranların qoşulma sxemlərinin, xam suyun temperaturunun və şirinləşdirilmiş suyun payının alınan suyun keyfiyyətinə (ionların qalıq konsentrasiyalarına, pH-na), CaCO_3 və CaSO_4 ərplərinin çökmə ehtimalına, elektrik enerji sərfinə və şirinləşdirilmiş suyun maya dəyərinə təsirinin öyrənilməsidir.

2. Tədqiqat üsulu

Hal-hazırda membran texnologiyalarının tədqiqi üçün eksperimental, analitik (yarım-empirik modellər əsasında) və həmin modellərin istifadəsi ilə işlənmiş ixtisaslaşdırılmış kompüter proqramları istifadə olunur. Bu proqramlardan imkanları daha geniş olan ABŞ-ın DOW Chemical şirkəti tərəfindən işlənmiş ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) kompüter proqramıdır (12).

Hazırkı tədqiqatlarda həmin proqramın təkmilləşdirilmiş 9.1 versiyasından istifadə edilmişdir. Proqram vasitəsilə ultrasüzülmə, nanosüzülmə və əks-osmos texnologiyalarının hesabı və araşdırılması aparıla bilər. Xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, burada ancaq Filmtec şirkəti tərəfindən istehsal olunan rulon tipli, 56 ədəd müxtəlif markalı membranların istifadəsi nəzərdə tutulur: suyun ilkin emalı üçün UF (Ultrafiltration) markalı; RO texnologiyası ilə dəniz (okean) suyunun şirinləşdirilməsi üçün SW (Sea Water) markalı, şoran suyun şirinləşdirilməsi üçün BW (Brackish Water) markalı; xam suyun yumşaldılması və şirinləşdirilməsi üçün NF markalı.

Proqram bir neçə vərəqdən (pəncərədən) ibarətdir. “Project Information” adlanan birinci vərəqdə layihə haqqında ümumi məlumat verilir və hesablanan kəmiyyətlərin ölçü vahidləri seçilir. İkinci – “Feedwater Data” vərəqində – xam suyun temperaturu və ionların konsentrasiyası gətirilir. Üçüncü vərəqdə (“Scaling Information”) membran üzərində kalsium çöküntülərin qarşısını almaq üçün tədbir seçilir: a) H₂SO₄ və NaOH verməklə xam suyun pH-nın dəyişməsi, b) ion-mübadilə üsulu ilə xam suyun yumşaldılması. İnformasiya baxımından ən həcmli “System Configuration” vərəqində membran modulların qoşulma sxemi (dizaynı), qurğunun məhsuldarlığı, permeatın çevrilmə əmsalı, membranın markası və bir sıra digər faktorlar seçilir (Şək.1).

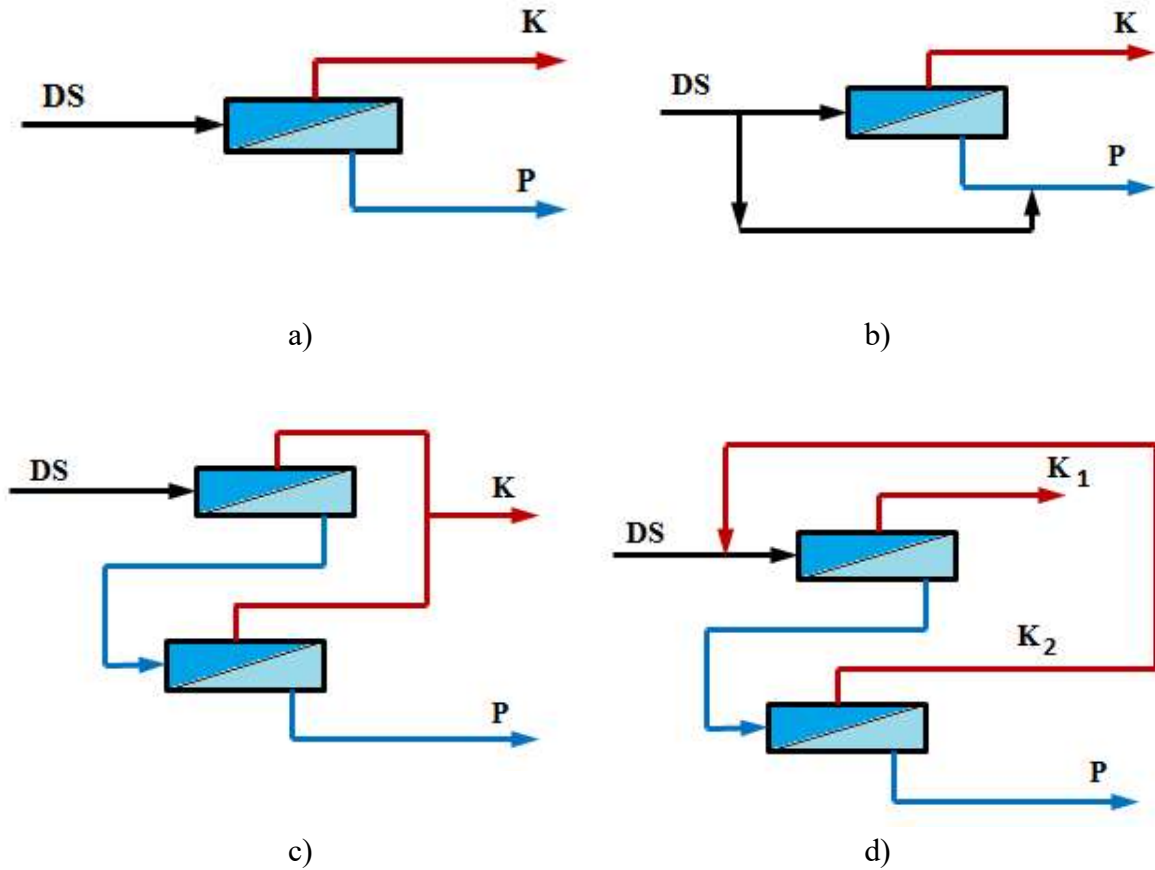


Şək.1. ROSA 9.1 proqramının “System Configuration” vərəqi

Texnoloji hesablamaların nəticələri bir neçə vərəqdən ibarət olan “Report” pəncərəsində əks olunur. Burada 100-dən artıq göstərici haqqında məlumat verilir: hər axında TDS-lər, pH-lar, ionların konsentrasiyaları, osmotik və işçi təzyiqlər, elektrik enerjisinin sərfi, membranlar üzərində CaCO₃ ərpinin yaranma ehtimalını xarakterizə edən Lanjelye və Stiff-Davis (S&Dİ) kriteriyalarının, eləcə də CaSO₄-ə görə konsentratın doyma dərəcəsinin qiymətləri və digər göstəricilər.

Tədqiqatlarda NF90-400 markalı membranın istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Seçimdə nəzərə alınmışdır ki, digər membran markalarından fərqli olaraq bu membranın selektivliyi bir valentli ionlara görə də kifayət qədər yüksəkdir. Bundan əlavə, NF texnologiyasına həsr olunmuş tədqiqatların çoxunda bu membrandan istifadə edilmişdir. NF90-400 membran elementinin texniki göstəriciləri: səthinin sahəsi – 37 m²; suyun sərfi – 37,9 m³/sut; MgSO₄-ə görə selektivlik – >97% (12).

Proqram imkan verən NF modullarının aşağıdakı qoşulma sxemləri tədqiq edilmişdir: birpilləli (Şək.2,a); permeata dəniz suyu qarışdırmaqla birpilləli (Şək.2,b); ikipilləli, resirkulyasiyasız (Şək.2,c); ikipilləli, resirkulyasiyalı (Şək.2,d).



Şək.2. Membran modullarının qoşulma sxemləri
DS – dəniz suyu; P – permeat; K – konsentrat; K₁ və K₂ – uyğun olaraq birinci və ikinci pillə konsentrat.

Bütün hallarda iki giriş dəyişənindən istifadə olunmuşdur:

- Permeatın konversiyası (alınan şirinləşdirilmiş suyun sərfinin bəsləyici suyun sərfinə olan nisbəti): birinci pillə üçün – $\beta_1=0,5\div0,8$; ikinci pillə üçün – $\beta_2=0,7\div0,9$ dəyişmə həddində;
- Xam suyun temperaturu: $T=10\div40^{\circ}\text{C}$ dəyişmə həddində.

Hər sxem üçün çıxış dəyişənləri kimi proqramla alınmış permeatın keyfiyyət göstəriciləri, kalsium ərplərinin yaranma indeksləri, osmotik və işçi təzyiqlər, xüsusi elektrik enerji sərfi və s. təyin edilmişdir. Texniki-iqtisadi göstəricilər ədəbiyyatda gətirilən metodikalara uyğun adi üsulla (əllə) hesablanmışdır (El-Dessouky, 2002:520-521). Bu hesablamalarda amortizasiya faktorunu təyin etmək üçün faiz dərəcəsi – 8%, qurğunun istismar dövrü – 20 il, bir membran elementinin qiyməti 1300 manat, membranların dəyişmə dövrü – 5 il, elektrik enerjisinin qiyməti – 0,1 AZN/kVt·saat qəbul edilmişdir. Hesablama nəticəsində aşağıdakı çıxış göstəriciləri təyin edilmişdir: qurğunun kapital xərcləri, amortizasiya faktoru və illik istismar xərclərinin ayrı-ayrı toplananları. Cəm istismar xərclərinin həcminə və il ərzində istehsal olunan şirinləşdirilmiş suyun miqdarına əsasən sonuncunun maya dəyəri hesablanmışdır.

Hər sxemin əlverişli tətbiq sahələri təklif olunmuşdur, alınmış şirinləşdirilmiş sudan içməli suyun hazırlanması məsələsi araşdırılmışdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, ənənəvi olaraq membran üzərində CaCO_3 ərpinin yaranma ehtimalı konsentratın Lajelye indeksi əsasında təyin edilirdi. Amma son tədqiqatlara görə xam suda $\text{TDS}>10000$ mq/dm³ olan sular üçün Stiff-Davis indeksinin istifadə edilməsi tövsiyyə olunur. Çünki bu halda analitik tədqiqatların nəticələri eksperimentlərlə daha yaxşı uzlaşır (Sergio, 2021:222). Ona görə baxılan tədqiqatda S&Dİ-dən istifadə edilmişdir.

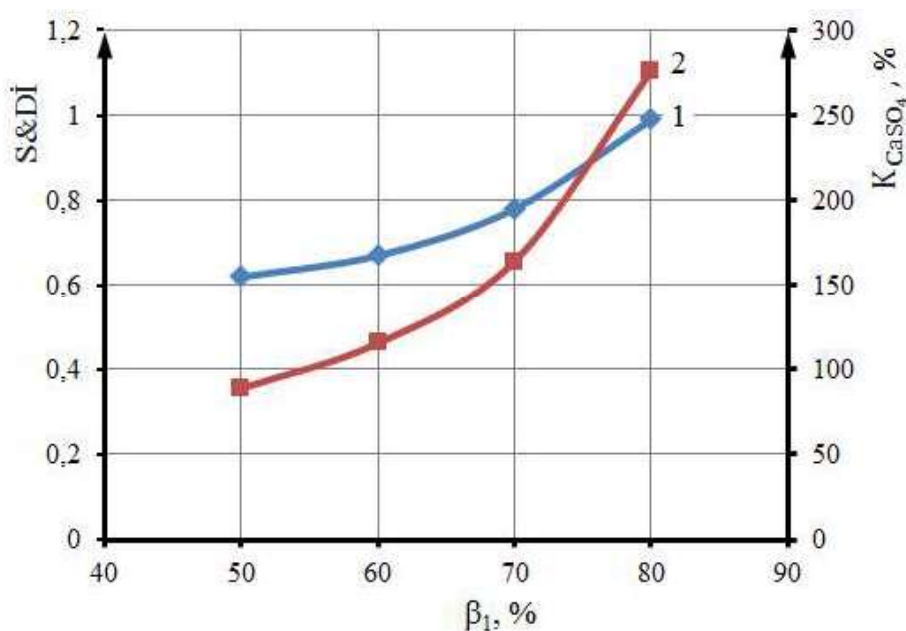
NF qurğusunun alınan suya görə məhsuldarlığı sabit – 50 m³/saat götürülmüşdür. Bunun üçün birpilləli NF qurğusunda 6 ədəd paralel qoşulmuş modul götürülmüşdür, hər modulda ardıcıl qoşulmuş 7 ədəd

NF90-400 elementinin yerləşdirilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Permeata görə ikipilləli sxemin tədqiqində əlavə olaraq birinci pillədə hər birində 7 element olan 9 ədəd paralel qoşulmuş modul götürülmüşdür.

Tədqiqatlarda Azərbaycan Respublikasının “Şimal ES”-də istifadə edilən Xəzər dənizi suyunun keyfiyyət göstəriciləri əsas götürülmüşdür – pH=8,0; ionların konsentrasiyaları (mq/dm³): Ca²⁺=320,9; Mg²⁺=729,9; Na⁺=3175; Cl⁻=5034; SO₄²⁻ = 3264; HCO₃⁻ = 244,0; TDS=12768.

3. Tədqiqatların nəticələri

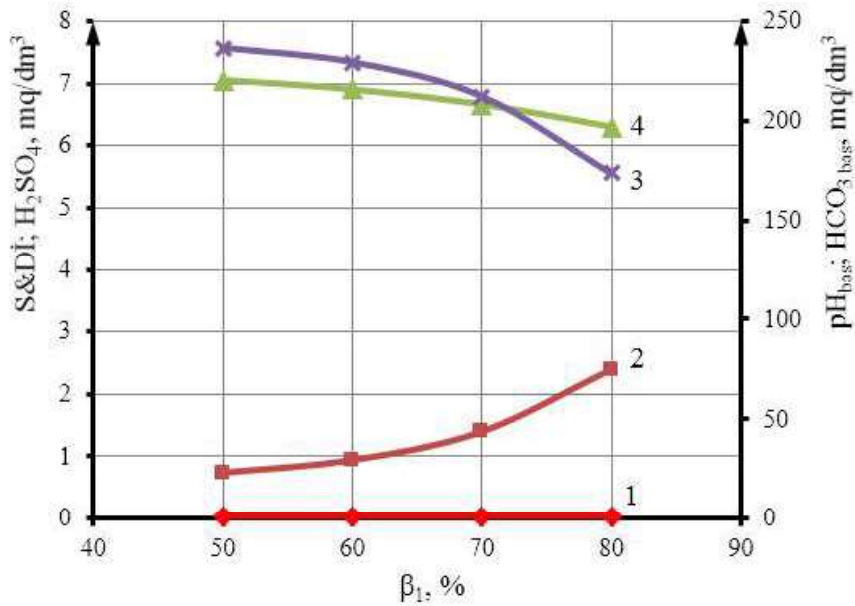
Tədqiqatların ilkin mərhələsində membran üzərində CaCO₃ və CaSO₄ ərplərinin yaranma ehtimalı araşdırılmışdır. Məlumdur ki, CaCO₃ ərpinin yaranması konsentrasiya S&Dİ göstəricisinin müsbət və CaSO₄ ərpinin yaranması həmin duza görə doyma dərəcəsinin (K_{CaSO₄}) 100%-dən artıq qiymətlərində baş verir. Hesablamaların nəticələrindən (Şək.3) görünür ki, konversiyanın (β₁) bütün qiymətlərində S&Dİ müsbət qiymətlər alır: 0,6÷1,0; və K_{CaSO₄} göstəricisi 89÷276% həddində artır.



Şək.3. Çevrilmə əmsalının S&Dİ (1) və K_{CaSO₄} (2) göstəricilərinə təsiri (T=25°C)

Başqa sözlə, praktiki olaraq, xəzər suyunun birpilləli NF-texnologiyası ilə şirinləşdirilmə prosesində membranlar üzərində kalsium karbonat və kalsium sulfat ərpinin yaranması qaçılmazdır. Bu onunla izah olunur ki, permeatın payı artdıqca konsentrasiya payı azalır və xam su ilə daxil olan duzların əsas hissəsi konsentrasiya tərkibində qaldığı üçün çətin həll olan duzların (ərplərin) konsentrasiyası həllolma qabiliyyətindən daha yüksək qiymət alır.

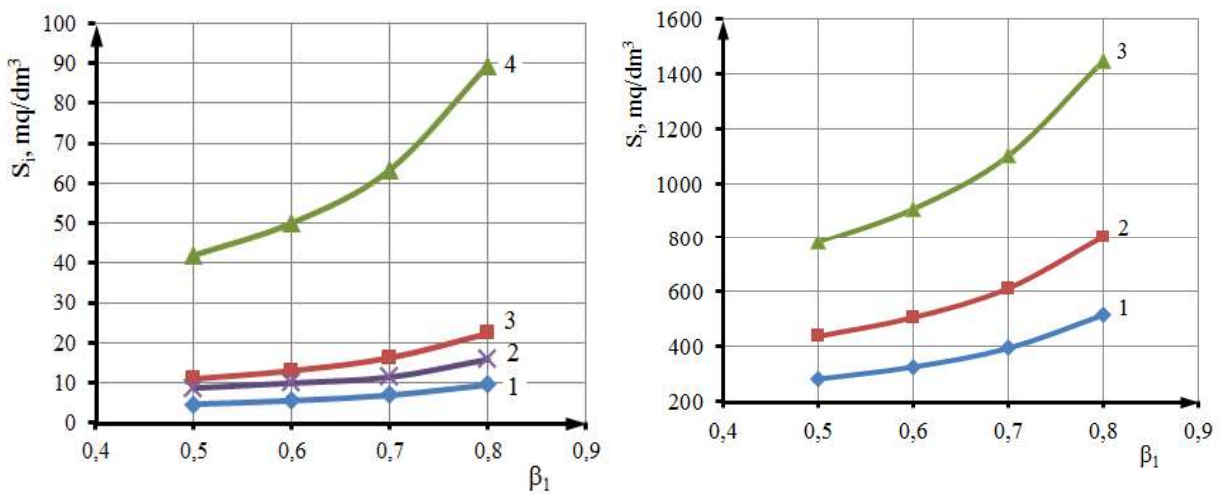
Girişdə göstəriləyi kimi membran qurğularında CaCO₃ ərpinin qarşısının alınması üçün ən geniş istifadə edilən üsul xam suyunu sulfat turşusu ilə emal etməklə HCO₃⁻ ionlarının parçalanması və pH-nın aşağı salınmasıdır. Müvafiq hesablamaların nəticələri (Şək.4) göstərir ki, bu halda S&Dİ göstəricisinin qiyməti sifira endirilə bilər. Bunun üçün β₁-in qiymətindən asılı olaraq xam suya verilən turşunun dozası (D) 23÷75 mq/dm³ həddində artırılmalıdır. Uyğun olaraq xam suyun pH-ı 8,0-dan 6,3÷7-dək azaldılmalıdır.



Şək.4. Konversiyanın S&DI (1), H_2SO_4 (2), HCO_3^{bas} (3), pH_{bas} (4) göstəricilərinə təsiri

$CaSO_4$ ərpinə gəldikdə, onun qarşısını almaq üçün ən sadə və geniş istifadə edilən üsul xam suya antiərlərin verilməsi və konversiyaya məhdudiyətlərin qoyulmasıdır, daha dəqiq bu əmsalın kiçik qiymətlərindən istifadə edilməsidir. Amma ikinci yanaşma texniki-iqtisadi baxımdan əlverişli hesab olunmur. Antiərlərin istifadəsinə gəldikdə nəzərə almaq lazımdır ki, (Panteleev, 2012:210)-da göstəriləyi kimi bu duzun doyma dərəcəsi çox yüksək olduqda ($K_{CaSO_4} > 2,3$) antiərp üsulunun səmərəliliyi azalır. Baxılan halda bu şərt $\beta > 75\%$ olduqda müşahidə olunur (Şək.3).

Şəkil 5-dən görüldüyü kimi permeatın tərkibində qalıq ionların konsentrasiyası kəskin azalır, xüsusən iki valentli ionların: Ca^{2+} , Mg^{2+} və SO_4^{2-} konsentrasiyaları uyğun olaraq $5 \div 10$; $11 \div 22$ və $42 \div 90$ mq/dm³ həddində azalır. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi nanosüzülmə membranların selektivliyi bir valentli ionlara görə kiçik olur. Ona görə Na^+ və Cl^- ionlarının qalıq konsentrasiyaları yüksək alınır: uyğun olaraq orta hesabla 630 və 920 mq/dm³. HCO_3^- ionlarının konsentrasiyasının kiçik olması ($9 \div 14$ mq/dm³) onun xam suda az olması və turşulaşdırmadan sonra bir qədər də azalması ilə izah olunur. Ən vacib göstərici permeatın TDS-dir. Qrafikdən görüldüyü kimi bu göstərici $780 \div 1450$ mq/dm³ həddində dəyişir. Başqa sözlə, permeatın TDS-i orta hesabla 90% azalır. Bütün hallarda β_1 -in artırılması permeatda ionların konsentrasiyasını artırır. Belə asılılıq konsentrasiyalarının azalması səbəbindən onun tərkibində duzların konsentrasiyasının artması ilə izah olunur.



a) Ca^{2+} (1), Mg^{2+} (2), HCO_3^- (3), SO_4^{2-} (4); b) Na^+ (1), Cl^- (2), TDS (3).

Göstəriciləri yüksək olduğuna görə NF90-400 markalı membran ən geniş istifadə edilən membrandır. Bunu nəzərə alaraq alınan qrafiki asılılıqları əks etdirən approksimasiya ifadələri alınmışdır. MS Excel proqramında müəyyən edilmişdir ki, permeatın keyfiyyət göstəricilərinin β_1 -dən (payla götürüldükdə) asılılıqları eyni struktura malik üstlü tənliklə ifadə oluna bilər:

$$S_i = a \cdot \beta^b,$$

burada a və b - empirik əmsallardır. Onların qiymətləri, eləcə də müvafiq determinasiya əmsalları cədvəl 1-də verilmişdir.

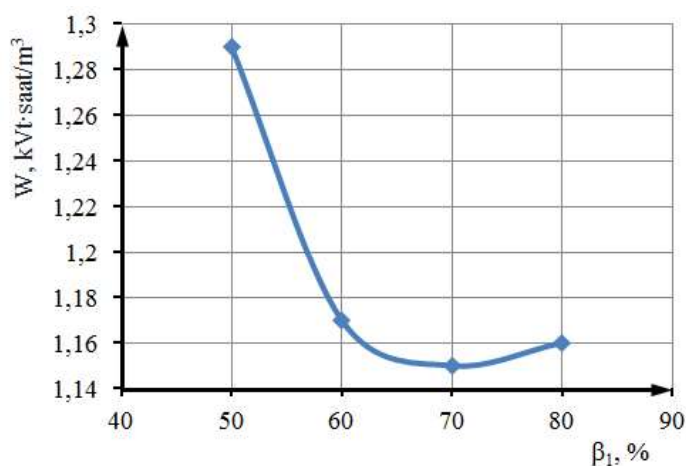
Hesab edirik ki, mühəndis praktikasında ROSA proqramından istifadə etmədən, Xəzər dənizi suyunun birpilləli NF texnologiyası ilə alınan şirinləşdirilmiş suyun keyfiyyət göstəriciləri gətirilən düstur və cədvəl istifadə etməklə hesablanabilir.

Cədvəl 1

Permeatın keyfiyyət göstəriciləri (NF90-400, T=25°C)

	Xəzər dənizi		
	a	b	R ²
S _{Ca}	12,425	1,4574	0,9548
S _{Mg}	29,212	1,4738	0,9559
S _{Na}	648,72	1,2735	0,9585
S _{Cl}	1011,4	1,2746	0,9583
S _{SO₄}	118,71	1,5762	0,952
S _{HCO₃}	19,267	1,2097	0,9106
TDS	1835	1,2912	0,9581

Tədqiq edilən texnologiyanın vacib göstəricilərindən biri xüsusi enerji sərfidir (W , kVt·saat/m³ permeat). Şəkil 6-dan görüldüyü kimi bu göstərici 1,16÷1,29 kVt·saat/m³ həddində dəyişir və β_1 -in qiymətinin 65÷70%-də minimum əldə edilir – təxminən 1,15 kVt·saat/m³. İlk baxışda β_1 -in böyük qiymətləri əlverişli deyil. Amma β_1 -in minimal və maksimal qiymətlərinə uyğun enerji sərfi arasında fərq kifayət qədər kiçikdir. Nəzərə alsaq ki, suyun ilkin emalına müəyyən xərclər çəkilir və qurğudan atılan konsentratın miqdarı azaldıqca utilizasiyası sadələşir, onda aydın olur ki, bir qədər yüksək enerji xərci həlledici deyil. Bu məsələlər texnologiyanın optimallaşdırılması ilə əlaqədardır və gələcək tədqiqatlarda onlara baxılacaq. Odur ki, enerji sərfi baxımından da $\beta_1=70\div75\%$ qəbul edilə bilər.



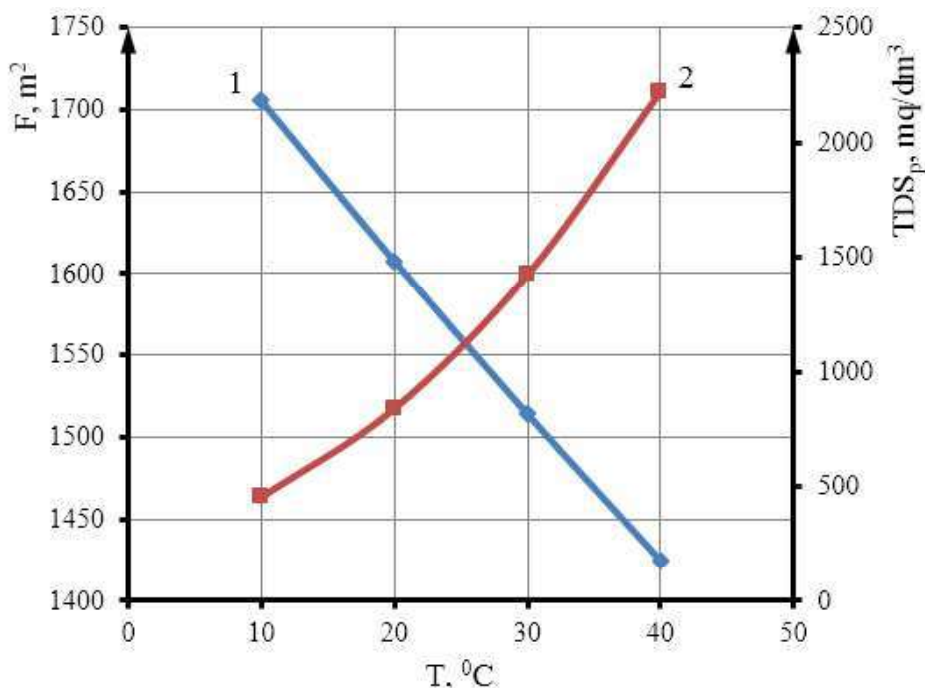
Şəkil 6. Konversiyanın xüsusi enerji sərfinə təsiri (T=25°C)

Xam suyun temperaturunun permeatın TDS-inə təsiri $\beta_1=70\%$ üçün şəkil 7-də gətirilən qrafikdə verilmişdir. Həmin qrafikdə qurğunun eyni məhsuldarlığında (50 m³/saat) membranların ümumi səthinin sahəsi əsas gətirilmişdir. Onun hesablanması nəzərə alınmışdır ki, xam suyun temperaturunun hər 5°C

artırılması membranın məhsuldarlığını 3% artırır, çünki temperatur artdıqca membranın məsamələrinin ölçüləri artır. Amma bu səbəbdən membrandan keçən ionların da miqdarı artır (Cardona, 2007:10).

Bu nəticələrdən gördüyü kimi ən sadə – birpilləli NF texnologiyası ilə Xəzər dənizi suyunu kifayət qədər dərin şirinləşdirmək olar. Qalıq duzlarının konsentrasiyası baxımından alınan su əlavə emal edilmədən kənd təsərrüfatında əkin sahələrinin suvarılması məqsədi ilə istifadə oluna bilər. Çünki qəbul edilmiş normalarda suvarma suyunun TDS-i $<2 \text{ q/dm}^3$ həddində normalaşdırılır.

Nəzəri olaraq az miqdarda dəniz suyunu alınan şirinləşdirilmiş suya qarışdırmaqla içməli su hazırlana bilər (Şəkl.2,b). Bu məsələnin araşdırılması ilə əlaqədar cədvəl 2-də müqayisə xarakterli bəzi məlumatlar gətirilmişdir.



Şəkl.7. Xam suyun temperaturunun membranın səthinə və permeatın TDS-nə təsiri ($\beta_1=70\%$)

Cədvəl 2

Dəniz, şirinləşdirilmiş və içməli suların keyfiyyət göstəriciləri

Göstəricilər	Xəzər dənizi	Şirinləşdirilmiş su*	İçməli su
pH	8,0	5,86 (6,02)	6,0÷9,0
TDS, mq/dm ³	12768	782 (1000)	≤1000
Codluq, mq-ekv/dm ³	76	1,2 (2,63)	≤7
Cl ⁻ , mq/dm ³	5034	436 (525)	≤350
SO ₄ ²⁻ , mq/dm ³	3294	42 (105,3)	≤500
HCO ₃ ⁻ , mq/dm ³	244	8,75 (13,1)	-

Qeyd: *mötərizədə – qarışığın göstəriciləri.

Cədvəlin 3-cü sütununda NF texnologiyası ilə alınan ($\beta_1=50\%$, $T=25^\circ\text{C}$) şirinləşdirilmiş suyun keyfiyyət göstəriciləri gətirilmişdir (mötərizəsiz). Hesablamalar göstərmişdir ki, içməli suyun keyfiyyətinə yaxın su 1:50-yə nisbətində dəniz suyu ilə şirinləşdirilmiş suyun qarışdırılması nəticəsində alınabilir və mötərizədə qarışığın keyfiyyət göstəriciləri verilmişdir. Dördüncü sütunda MDB ölkələrində istifadə olunan içməli suyun normativ göstəriciləri gətirilmişdir (13). Üçüncü və dördüncü sütunların müqayisəsindən görünür ki, ancaq xlorid ionlarına görə normativ göstəricilər gözlənilir – faktiki konsentrasiya (525 mq/dm^3) buraxıla bilən konsentrasiyadan böyük alınır. Araşdırmalar göstərir ki, bu

məsələnin həlli üçün NF prosesində alınan permeatın təxminən 10%-ni RO modulunda dərin şirinləşdirdikdən sonra NF modulunun qalan permeatı ilə qarışdırmaq kifayətdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, cədvəl 2-də verilən içməli suyun keyfiyyət göstəriciləri ilə bərabər çox kiçik konsentrasiyalı bir neçə digər qeyri-üzvi və üzvi maddələrə görə də normalar tətbiq olunur (dəmir, bor və s.). Bundan əlavə, içməli suyun mikrobioloji, parazitoloji və orqanoleptik xassələri də normalaşdırılır. Ümumiyyətlə şirinləşdirilmiş dəniz suyu əsasında içməli suyun hazırlanması xüsusi tədqiqat istiqamətidir. Onlardan yalnız biri yuxarıda baxılan şirinləşdirilmiş suyun az miqdarda dəniz suyu ilə qarışdırılmasına əsaslanır. Amma bütün hallarda ən vacib və böyük xərclər tələb edən mərhələ şirinləşdirilmiş suyun alınması hesab olunur.

Tədqiqatın növbəti mərhələsində $\beta_1=70\%$ -ə uyğun birinci pillədə alınan permeatın ikinci pillədə β_2 -in 70, 80 və 90% qiymətlərində emalı məsələsi araşdırılmışdır. Alınan əsas nəticələr cədvəl 3-də verilmişdir.

Bu məsələ iki variantda araşdırılmışdır: ikinci pillənin konsentratını kənarlaşdırmaqla, yəni resirkulyasiyasız - Şək.2,c və bu konsentratı birinci pilləyə verilən dəniz suyu ilə qarışdırmaqla (resirkulyasiyalı – Şək.2,d).

Nəticələrin analizindən görünür ki, modulların giriş və çıxışlarında axınların səflərinin eyni qiymətində resirkulyasiyalı sxemdə birinci pillənin girişinə resirkulyasiya olunan konsentratın hesabına sistemə verilən dəniz suyunun sərfi 7÷21% azalır. Bu müsbət haldır, çünki suyun ilkin emal xərcləri azalır. Birinci və ikinci pillələrə görə xüsusi enerji sərfinin müqayisəsi göstərir ki, ikinci pillə üçün bu göstərici $0,31\div 0,33$ kVt·saat/m³ təşkil edir ki, bu da birinci pilləyə nisbətən təxminən 3,2 dəfə azdır. Belə kiçik enerji sərfi ikinci pillənin bəsləyici suyunun sərfinin və TDS-nin (osmotik təzyiqinin) azalması ilə izah olunur. Bütövlükdə sistem üçün ümumi enerji sərfinə gəldikdə isə cədvəldən görüldüyü kimi o, $1,47\div 1,97$ kVt·saat/m³ həddində dəyişir və resirkulyasiyalı variant daha kiçik enerji sərfi ilə xarakterizə olunur, xüsusən β_2 -nin kiçik qiymətində. Bunun səbəbi resirkulyasiya edilən konsentratın müəyyən təzyiqlə malik olmasıdır.

Cədvəl 3

Modulların ikipilləli qoşulma sxeminin tədqiqinin nəticələri ($\beta_1=70\%$, $T=25^{\circ}\text{C}$)

Göstəricilər	Ölçü vahidi	B ₂ , % (resirkulyasiyasız)			B ₂ , % (resirkulyasiyalı)		
		70	80	90	70	80	90
Bəsləyici suyun sərfi	m ³ /saat	102,2	89,4	79,5	102,1	89,4	79,5
		71,5	62,6	55,6	71,5	62,6	55,6
Permeatın sərfi	m ³ /saat	71,5	62,6	55,6	71,5	62,6	55,6
		50	50	50	50	50	50
Dəniz suyunun sərfi	m ³ /saat	102,2	89,4	79,5	80,7	76,9	73,9
Resirkulyasiya olunan konsentratın sərfi	m ³ /saat	0	0	0	1,4	12,5	5,6
β _{üm}	%	49	56	63	62	65	68
Xüsusi enerji sərfi	kVt·saat/m ³	1,13	1,07	1,02	0,99	1,01	1,03
		0,34	0,31	0,34	0,32	0,31	0,34
Ümumi enerji sərfi	kVt·saat/m ³	1,96	1,65	1,47	1,74	1,48	1,48
Bəsləyici suyun TDS-i	mq/dm ³	12784	12784	12784	10795	11771	12712
		1145	1274	1397	983	1196	1418
K _{CaSO₄}	%	165	165	165	122	136	150
		0,61	1,23	3,37	0,43	0,98	3
Permeat:							
Ca ²⁺	mq/dm ³	7,3	8,2	9,1	5,9	7,2	8,7
		0,17	0,24	0,44	0,14	0,22	0,42
Mg ²⁺	mq/dm ³	17,0	19,1	21,2	13,7	16,9	20,2
		0,41	0,59	1,06	0,33	0,52	1,02

Na ⁺	mq/dm ³	408 45,7	453 63,9	496 105,5	353 39,6	428 60,1	507 101,5
Cl ⁻	mq/dm ³	635 71,2	706 98,9	774 163,5	548 61,2	667 93,1	790 164,3
SO ₄ ²⁻	mq/dm ³	66,1 1,13	74,3 1,65	82,4 3,01	52,4 0,89	64,5 1,43	77,9 2,85
HCO ₃ ⁻	mq/dm ³	11,6 1,42	13,3 1,6	14,7 2,06	10,4 1,19	12,5 1,44	14,6 2,02
TDS	mq/dm ³	1145 120	1274 167	1397 276	983 103	1196 157	1418 272
pH	-	5,6 4,8	5,7 4,8	5,7 4,9	5,7 4,9	5,7 4,9	5,7 4,9

Qeyd: sürət – birinci pillə; məxrəc – ikinci pillə

Hesablamaların nəticələrindən o da nəzərə çarpır ki, ikinci pillənin konsentratının TDS-i dəniz suyunun TDS-dən kiçik alınır. Ona görə onun dəniz suyu ilə qarışdırılması nəticəsində birinci pillənin bəsləyici suyunun TDS-i azalır. Bu səbəbdən də enerji sərfi və permeatın TDS-i orta hesabla 5,7% azalır. Eyni zamanda birinci pillənin konsentratının CaSO₄ ərpinə görə doyma dərəcəsi 165%-dən 136%-ə düşür. Daha bir müsbət nəticə permeatın keyfiyyəti ilə əlaqədardır. Resirkulyasiyalı variantda bütün ionların konsentrasiyaları daha kiçik alınır, permeatın TDS-i orta hesabla 188 mq/dm³-dən 176 mq/dm³-dək azalır.

Birinci pillənin permeatına nisbətən ikinci pillənin permeatında qalıq ionların konsentrasiyası kəskin azalır: orta hesabla Ca²⁺, Mg²⁺ və SO₄²⁻ ionlarının konsentrasiyaları, uyğun olaraq, 28, 35 və 45 dəfə; bir valentli ionlar üçün bu göstərici 7-8 təşkil edir. Belə fərq yuxarıda qeyd edildiyi kimi NF90-400 markalı membranın iki valentli ionlara görə daha yüksək selektivliyə malik olması ilə izah olunur. Resirkulyasiyalı sxemin daha bir üstün cəhəti sistemə verilən dəniz suyunun şirinləşdirilmiş suya konversiyasının (β_{üm}) daha yüksək olmasıdır: 62-68%.

Hesablamalar göstərir ki, birpilləli sxemdən fərqli olaraq ikipilləli sxemlə daha dərin duzsuzlaşdırılmış su alındığına görə, dəniz suyunu 1:25 nisbətində ikinci pillədə alınan su ilə qarışdıraraq, pH istisna olmaqla, içməli suyun cədvəl 2-də gətirilən norma göstəricilərini təmin etmək olar. Qarışığın keyfiyyət göstəriciləri belə alınır: codluq – 3 mq-ekv/dm³, pH-5, xloridlər – 283 mq/dm³, sulfatlar – 127 mq/dm³. Suyun pH-nın kiçik olmasının səbəbi turşulaşdırma prosesində yaranmış CO₂ qazının konsentrasiyasının yüksək olmasıdır. Onun 6-6,5-dək artırılması üçün məlum üsullardan biri istifadə edilə bilər: aeratordan istifadə etməklə və ya az miqdarda NaOH verməklə. Beləliklə, texnoloji göstəricilərə görə resirkulyasiyalı sxem daha əlverişlidir.

Sonda bir və resirkulyasiyalı ikipilləli NF texnologiyasının texniki-iqtisadi göstəricilərinin müqayisəsi aparılmışdır (Cədvəl 5). Bu hesablamalarda birpilləli sxem üçün β₁=70%, ikipilləli sxem üçün – β₁=70%, β₂=80%, T=25°C qəbul edilmişdir.

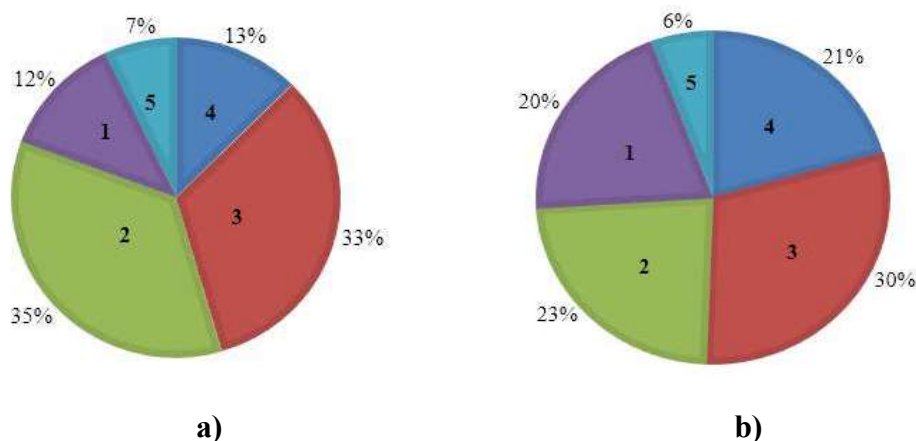
Göründüyü kimi nanosüzülmə texnologiyası ilə Xəzər dənizi suyundan maya dəyəri kifayət qədər kiçik olan (0,24-0,36 AZN/m³) şirinləşdirilmiş su almaq olar. Şəkil 8-də gətirilmiş diaqramdan aydın olur ki, birpilləli sxemdə xərclərin əsas hissəsi elektrik enerji və əmək haqqı xərclərinin payına düşür – 68,2%, ikipilləli sxemdə membran elementləri daha çox olduğu üçün (105 element 42-yə qarşı) amortizasiya xərcləri və membranların dəyişdirilməsi xərcləri də artır.

Cədvəl 5

Xəzər dənizi suyunun NF-texnologiyası ilə şirinləşdirilmə qurğusunun texniki-iqtisadi göstəriciləri

Göstəricilər	Ölçü vahidləri	Pillələrin sayı	
		Birpilləli	İkipilləli
Məhsuldarlıq	m/saat	50	50
Kapital xərcləri	man	114240	285600
Amortizasiya faktoru	%	10,2	10,2

İllik istismar xərcləri			
Amortizasiya	man	11636	29089
Elektrik enerjisi	man	30826	42085
Əmək haqqı	man	32960	32960
Membranların dəyişdirilməsi	man	11424	28560
Reagentlər	man	6600	8052
Ümumi	man	93446	140746
Maya dəyəri	man/m ³	0,237	0,357



Şək.8. Xərclərin paylanması diaqramları, %-lə: a) birpilləli; b) ikipilləli
1-Amortizasiya; 2- Əmək haqqı; 3- Elektrik enerjisi; 4- Membranların dəyişdirilməsi; 5 – Reagentlər.

NF texnologiyası ilə alınan şirinləşdirilmiş suyun istifadəsi məsələsinə qayıdaraq qeyd etmək lazımdır ki, dəniz sahilinə yaxın fermer təsərrüfatları ilə bərabər bu su təbii şirin su əvəzinə müxtəlif sənaye müəssisələrində də səmərəli istifadə oluna bilər. Məsələn, qapalı istilik şəbəkələrinin qidalandırıcı suyu kimi, çünki şirinləşdirilmiş suyun karbonat indeksi buraxıla bilən qiymətindən 10÷15 dəfə kiçik alınır. Bundan əlavə alçaq və orta təzyiqli buxar qazanlarının, eləcə də qazan-utilizatorlarının əlavə suyu hazırlana bilər. Qeyd edək ki, hal-hazırda dəniz sahilində yerləşən Bakı İEM-1-də qazan-utilizatorların bəsləyici suyu (~300 m³/saat) TDS-i 447 mq/dm³, codluğu 4,3 mq-ekv/dm³ olan təbii şirin suyunun ikipilləli Na-kationlaşdırma üsulu ilə hazırlanır – codluğu 5 mq-ekv/dm³-dək azaldılır və hər 1 mq-ekv codluq ionunu xaric etmək üçün 2÷2,5 q-ekv NaCl duzu istifadə edilir. İkipilləli sxemlə şirinləşdirilmiş dəniz suyunun codluğu orta hesabla 60 mq-ekv/dm³ təşkil edir. Ona görə tələb olunan NaCl duzunun sərfi 72 dəfə azalır. Bundan əlavə təbii şirin suyun insanların kommunal-məişət ehtiyaclarına yönəldilməsinə imkan yaranır.

Nəticə

1. İxtisaslaşdırılmış ROSA kompüter proqramı ilə aparılan araşdırmalar göstərir ki, NF90-400 markalı membran elementi istifadə etdikdə Xəzər dənizi suyu nanosüzülmə texnologiyası ilə kifayət qədər dərin şirinləşdirilə bilər. Qəbul edilmiş konversiyadan asılı olaraq modulların birpilləli qoşulma sxemində şirinləşdirilmiş suyun qalıq duzluluğu (TDS-i) 800÷1450 mq/dm³, ikipilləli qoşulma sxemində 120÷272 mq/dm³ həddində gözlənilir.
2. Membran üzərində CaCO₃ ərpinin yaranmasının qarşısını almaq üçün Stiff-Davis indeksinə əsaslanaraq sulfat turşusu ilə bəsləyici suyun pH göstəricisi 8,0-dan 6,3÷7,1-dək azaldılmalıdır. Konversiyadan və temperaturdan asılı olaraq turşunun dozası 22,8÷72,8 mq/dm³ təşkil edir. Konsentratın CaSO₄ ərpinə görə doyma dərəcəsi çox böyük olmadığı üçün onun çökməsinin qarşısı bəsləyici suya 5÷10 mq/m³ dozada geniş istifadə olunan antiərp maddələrin verilməsi tövsiyyə olunur.

3. Bir və ikipilləli sxemlərin müqayisəsi göstərir ki, sonuncu halda alınan şirinləşdirilmiş suyun keyfiyyəti daha yüksək olsa da, maya dəyəri də böyükdür. Çünki daha çox sayda membran elementi tələb olunur, enerji sərfi də böyükdür. Eyni zamanda şirinləşdirilmiş suya az miqdarda dəniz suyu qatmaqla içməli su alınması məsələsi qoyularsa, bu ancaq ikipilləli sxemin əsasında təmin oluna bilər. Birpilləli sxemin üstün cəhətləri kimi onun sadəliyini və daha yüksək konversiyanı da qeyd etmək lazımdır – 75%-dək.
4. Xəzər dənizi suyunun nanosüzülmə texnologiyası ilə şirinləşdirilməsi kiçik xərclərlə xarakterizə olunur: birpilləli sxemdə şirinləşdirilmiş suyun maya dəyəri 0,24 AZN/m³, ikipilləli sxemdə – 0,36 AZN/m³ gözlənilir. Şirinləşdirilmiş suyun keyfiyyət göstəriciləri onu dəniz sahilinə yaxın yerləşən fermer təsərrüfatlarında və sənaye müəssisələrində müxtəlif məqsədlər üçün istifadə olunmasını mümkün edir.
5. Tədqiqatlar analitik xarakter daşdığından alınan nəticələrin eksperimental üsulla yoxlanılması tövsiyyə olunur.

Ədəbiyyat

1. Cardona, E., Piacentino, A., (2007), Marchese F. Performance evaluation of CHP hybrid seawater desalination plants. Desalination.
2. Curto, D. Franzitta, V.;Guercio, A. A., (2021), Review of the Water Desalination Technologies. <https://doi.org/10.3390/app11020670>
3. Dong Zou, Lijing Zhu et al., (2015), Development of lower cost seawater desalination process using NF technologies – A review. Desalination.
4. El-Dessouky, H.T. Ettouney, H.M. (2002), Fundamentals of Salt Water. Desalination ELSEVIER, Amsterdam, Tokio.
5. Jiayu Tian et al., (2021), Progress in Research and Application of Nanofiltration (NF) Technology for Brackish Water Treatment. Membranes.
6. Mohamed, A. Dawoud et al., (2020), Towards sustainable desalination industry in Arab region: challenges and opportunities. Desalination and Water Treatment.
7. Panteleev, A.A. et al., (2012), Texnoloqii membrannoqo pazdeleniya v promishlennoy vodopodqotovke. – M.: DeLiplus.
8. Peter, G. et al., (2015), Seawater Desalination Technologies. Review Article. International Journal of Innovation Sciences and Research.
9. Sergio, G., Salinas-Rodriguez et al., (2021), Seawater Reverse Osmosis Desalination. Assessment and Pre-treatment of Fouling and Scaling. IWA PUBLISHING, London.
10. Talaeipour, M. et al., (2017), An investigation of desalination by nanofiltration, reverse osmosis and integrated (hybrid NF/RO) membranes employed in brackish water treatment. Journal of Environmental Health Science & Engineering.
11. Zi Yang et al., (2019), A Review on Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes for Water Purification. Polymers.
12. www.rosa9.software.informer.com
13. www.mirvodysk.ru. SanPin 2.1.4.1074-01

Göndərilib: 23.05.2022

Qəbul edilib: 22.06.2022