

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEİYONİZE SU ÜRETİM TESİSİ'NİN
TERMODİNAMİK ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

YİĞİT KÜPÇÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEİYONİZE SU ÜRETİM TESİSİ'NİN
TERMODİNAMİK ANALİZİ VE
OPTİMİZASYONU**

**YİĞİT KÜPÇÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
PROF. DR. MAHMUT RAHİM BAYRAMOĞLU**

**GEBZE
2019**

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THERMODYNAMIC ANALYSIS AND
OPTIMIZATION OF THE DEIONIZED
WATER PRODUCTION PLANT**

YİĞİT KÜPÇÜ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. MAHMUT RAHİM BAYRAMOĞLU

GEBZE
2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.../01.../2019 tarih ve 2019.../...02... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15.../01.../2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan "J.İ.B.İ.T. KÜP.Ş.V."'ın tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Mahmut Bayraktar

ÜYE

: Dr. Öğr. Üy. Cigdem Tabakcı Yücedağ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÇİBELOĞLU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışmada ilaç sanayinin en önemli donanımlarından biri olan, Besleme Sistemi, Deiyonize Su Üretim Sistemi ve Depolama ve Dağıtım Sistemi'nden oluşan Deiyonize Su Üretim Tesisi'nin simülasyon modeli bir proses simülatör programı kullanılarak hazırlandı. Sistemin yaz mevsimi koşullarında ekserji analizi yapılarak ekserji veriminin optimizasyonu yapıldı. Simülasyon çalışmasının sonucunda elde edilen entalpi ve entropi değerlerini doğrulamak amacıyla kütle, enerji ve ekserji değerleri hesaplandı. Elde edilen veriler kullanılarak sistemin enerji verimi incelendi. Sonuçlar incelendiğinde RO Ünitesi hariç tüm ekipmanların enerji verimlerinin % 90 ile % 95 arasında olduğu görüldü. Bu sonuç ekserji verimleri ile kıyaslandığında iki değer arasında korelasyon olmadığı görüldü. Tezin sonraki aşamasında proses kış mevsimi koşullarında incelendi ve yaz mevsimi koşullarıyla karşılaştırıldı. Yaz mevsimi koşullarında ekserji verimi % 38 olarak hesaplanan RO Ünitesi, kış mevsimi koşullarında ekserji verimi % 47 olarak hesaplandı. Ayrıca yine yaz mevsim koşullarında membranların performansında önemli bir rol oynayan Corrected Flux değeri 1.95 olarak hesaplanırken kış mevsim koşullarında bu değer 1.90 olarak hesaplandı. Bu amaçla sistemde yapılmak istenen iyileştirme çalışmaları kapsamında, sistemin ilk aşaması olan Besleme Sistemi'nin modernizasyonu ile sistemde genel olarak değişen ekserji verimi tekrar incelendi ve eski durumla karşılaştırıldı. Yeni durumda da en verimsiz ekipmanın RO Ünitesi olduğu bulundu. Tezin optimizasyon bölümünde 3 adet değişken, 2 adet kısıtlayıcı kullanılarak amaç fonksiyonu olarak belirlenen ekserji veriminin maksimizasyonu hedeflendi.

Anahtar Kelimeler: Deiyonize Su, Optimizasyon, Enerji, Ekserji, Simülasyon.

SUMMARY

In this study, the simulation model of the Deionized Water Production Plant consisting of Feeding System, Deionized Water Production System and Storage and Distribution System, which is one of the most important equipment of the pharmaceutical industry, was prepared by using a process simulator program. Exergy analysis was performed by analyzing exergy in summer season conditions. In order to verify the enthalpy and entropy values obtained as a result of the simulation study, mass, energy and exergy values were calculated. Energy efficiency of the system was investigated by using the data obtained. When the results were examined, it was seen that the energy efficiency of all equipments except RO Unit was between 90 % and 95 %. There was no correlation between the two values compared to the exergy yields. In the next step of the thesis, the process was examined under winter conditions and compared with summer conditions. Exergy efficiency was calculated as 38 % in summer season. Exergy efficiency was calculated as 47 % in winter conditions. Corrected Flux value, which plays an important role in the performance of membranes in summer seasons, was calculated as 1.95 and this value was calculated as 1.90 in winter conditions. Within the scope of the improvement works to be carried out in the system for this purpose, the modernization of the Feeding System, which is the first stage of the system, has been revised and the exergy efficiency in general has been re-examined and compared with the old situation. In the new case, the most inefficient equipment was found to be the RO Unit. In the optimization section of the thesis, using 3 variables, 2 constraints as the aim was to maximize the efficiency of exergy.

Key Words: Deionized Water, Optimization, Energy, Exergy, Simulation.

TEŞEKKÜR

Tüm hayatım boyunca bana maddi-manevi her türlü desteği veren aileme, Yüksek lisans eğitimime başlamama vesile olan ve eğitimim süresince göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim Ayça Küpçü'ye,

Akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışman hocam Prof. Dr. Mahmut Rahim Bayramoğlu'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. DEİYONİZE SU ÜRETİM PROSESİ	2
2.1. Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması	7
2.1.1. Ultra Filtrasyon Ünitesi	7
2.1.2. Ham Su Tankı ve Pompası	8
2.1.3. Aktif Karbon Kolonları	9
2.2. Deiyonize Su Üretim Sistemi	10
2.2.1. Yumuşatıcı Kolonları	10
2.2.2. 5 µ Kartuş Filtre	11
2.2.3. Çok Amaçlı Ara Tank	12
2.2.4. Ters Ozmoz Pompası ve Membranları	12
2.2.5. Degazör Membranları	14
2.2.6. Sürekli Elektro Deiyonizasyon Ünitesi	15
2.2.7. UV Lamba	15
2.3. Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi	17
2.3.1. Deiyonize Su Ana Stok Tankı	17
2.3.2. Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı	17
2.3.3. Dağıtım pompaları	18
2.3.4. UV Lamba	18
2.3.5. Eşanjör	18

3. SİMULASYON ÇALIŞMASI	20
3.1. Komponent Seçimi	20
3.2. Akışkan Paket Seçimi ve Hal Denklemleri	21
3.3. Reaksiyon Tanımı	22
3.4. Proses Simülasyon Çalışması	22
3.4.1. Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması Simülasyon Modeli	22
3.4.2. Deiyonize Su Üretim Sistemi Simülasyon Modeli	24
3.4.3. Deiyonize Su Depolama-Dağıtım Sistemi Simülasyon Modeli	26
3.5. Kütle, Enerji ve Ekserji Denklikleri	28
3.5.1. Enerji Denklikleri	28
3.5.2. Ekserji Denklikleri	28
4. SİMULASYON ÇALIŞMASI SONUÇLARI	29
4.1. Kütle ve Enerji Denklikleri	29
4.2. 2018 Yaz Dönemi Özet Akım Tablosu	30
4.3. 2018 Yaz Dönemi Özet Ekipman Tablosu	38
4.4. 2018 Kış Dönemi Özet Akım Tablosu	40
4.5. 2018 Kış Dönemi Özet Ekipman Tablosu	48
4.6. RO Ünitesi'nde Yaz-Kış Aylarındaki Hesaplanmış Akı Değerleri	51
5. OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI SONUÇLARI	52
5.1. Optimize Edilen Sistemin Simülasyonu	52
5.2. Optimizasyonda Kullanılan Parametreler ve Özellikleri	53
5.3. Optimizasyonun Amaç Fonksiyonu	54
5.4. Optimizasyonda Kullanılan Kısıtlamalar	54
5.5. Optimizasyon Değişkenleri	54
5.6. Optimizasyon Sonuçları	55
6. GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	60
EKLER	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

$\mu\text{S/cm}$: MikroSiemens/santimetre
CEDI	: Continous Electro Deionization, Sürekli Elektro Deiyonizasyon
EP	: European Pharmacopoeia, Avrupa Farmakopesi
Fr	: Fransız sertliği
GMP	: Good Manufacturing Practices, İyi İmalat Uygulamaları
NTU	: Bulanıklık birimi, Nephelometric Turbidity Unit
ppm	: Milyonda bir kısım (Parts per million)
RO	: Reverse Osmosis, Ters Ozmoz
USP	: United States Pharmacopeia, Amerika Birleşik Devletleri Farmakopesi
UV	: Ultraviyole ışınım
WPU	: Water for Pharmaceutical Use, Deiyonize su

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Akış diyagramı.	3
2.2: Ultra filtrasyon Ünitesi genel görünümü.	7
2.3: Ultra filtrasyon Ünitesi şematik görünümü.	8
2.4: Ham Su Tankı ve Pompası şematik görünümü.	8
2.5: Aktif Karbon Kolonları şematik görünümü.	9
2.6: Yumuşatıcı Kolonları şematik görünümü.	10
2.7: Tuz Tankları şematik görünümü.	11
2.8: 5 µ Kartuş filtre şematik görünümü.	11
2.9: Çok Amaçlı Ara Tank şematik görünümü.	12
2.10: Ters Ozmoz Pompası ve Membranları şematik görünümü.	13
2.11: Ters Ozmoz teorisi şematik görünümü.	14
2.12: Degazör Membranları şematik görünümü.	14
2.13: Sürekli Elektro Deiyonizasyon Ünitesi şematik görünümü.	15
2.14: UV Lamba şematik görünümü.	16
2.15: UV Işınım şematik görünümü.	16
2.16: UV Lamba şiddet değerleri görünümü.	16
2.17: Deiyonize Su Stok Tankları görünümü.	17
2.18: Deiyonize Su Dağıtım Pompaları görünümü.	18
2.19: Eşanjörlerin şematik görünümü.	19
3.1: Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması akış şeması.	23
3.2: Deiyonize Su Üretim Sistemi akış şeması.	26
3.3: Deiyonize Su Dağıtım ve Depolama Sistemi akış şeması.	27
4.1: Grassmann Diyagramı.	39
4.2: Ekserji kayıp dağılımı.	40
4.3: Ekserji kayıp dağılımı.	49
4.4: Grassmann Diyagramı.	50
5.1: Optimize edilen sistemin akış diyagramı.	53
B1.1: Hach Lange Seyyar İletkenlik Cihazı.	65

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Proseste tanımlanan özellikler.	4
3.1: Seçilen komponentler.	20
3.2: Tuzu oluşturan iyonlar.	21
3.3: Seçilen hal denklemleri paketi.	22
4.1: Simülasyon çalışması kütle denkliği sonuçları.	29
4.2: Simülasyon çalışması enerji denkliği sonuçları.	29
4.3: Akım değerleri.	31
4.4: Akım değerleri.	32
4.5: Akım değerleri.	33
4.6: Akım değerleri.	34
4.7: Akım değerleri.	35
4.8: Akım değerleri.	36
4.9: Akım değerleri.	37
4.10: Ekipman ekserji hızı sonuçları.	38
4.11: Ekserji kayıp sıralaması.	38
4.12: Akım değerleri.	41
4.13: Akım değerleri.	42
4.14: Akım değerleri.	43
4.15: Akım değerleri.	44
4.16: Akım değerleri.	45
4.17: Akım değerleri.	46
4.18: Akım değerleri.	47
4.19: Ekipman ekserji hızı sonuçları.	48
4.20: Ekserji kayıp sıralaması.	48
4.21: Yaz ve kış aylarında ölçülen Hesaplanmış Akı Değerleri.	51
5.1: Optimizasyonda kullanılan proses parametreleri.	53
5.2: Optimizasyonda kullanılan özellikler.	54
5.3: Optimizasyonda kullanılan kısıtlamalar.	54
5.4: Optimizasyon değişkenleri.	55

1. GİRİŞ

Suyun içerisinde Na^+ , K^+ , Fe^{3+} gibi pozitif ve Cl^- , SO_4^{2-} gibi negatif yüklü iyonlar yer almaktadır. Deiyonize su, suyun organik ve inorganik bileşenlerden arındırılmış hali olarak tanımlanır. Deiyonizasyon işlemi, sudaki iyonların giderilme işlemidir [1].

Saf su olarak da ifade edilen deiyonize suyun kullanım alanı başta sağlık sektörü olmak üzere kataforez, kaplama, döküm, tekstil, otomotiv sanayi gibi birçok alanda da su arıtma teknolojileri ile yaygınlaşmıştır.

İlaç sanayinde deiyonize su kullanımı ele alındığında, birinci dereceden hammadde olarak kullanılması ve ekipman/sistem temizliğinde ana bileşen olan en yaygın kullanım ve katkı maddesi olması ilaç sanayinde temel unsuru oluşturur. Bu temel unsur, literatürde tanımlanan ve uygulanmakta olan belirli farmakopi kurallarına göre (EP, USP farmakopileri) uygulanır [2]. Deiyonize suyun bu farmakopiler dahilinde istenilen kalitede üretilmesi sırasında büyük miktarda enerji (elektrik, ısı) ve su tüketilmektedir. Kaynakların azalması ve tüketimin artmasıyla birlikte, daha az enerji tüketimi ile yeterli miktarlarda su, ısı ve elektrik sağlamak amacıyla uygun ve ekonomik bir üretim sistemi kurmak gerekmektedir [3].

Proses tasarımı ve optimizasyonu ile ekserji analizleri yapılarak ilgili sistemler için iyileştirmeler yapılabilmektedir. Ekserji; bir sistemden alınabilecek maksimum iş miktarıdır. Sistem, çevresiyle termodinamik dengeye geldiğinde sistemden daha fazla iş alamaz. Günümüze uzanan çalışmalarda ekserji, fiziksel ve kimyasal olarak iki bölümde incelenmiştir. Sistemin sıcaklık ve basıncına bağlı olan özellikler fiziksel ekserji olarak ifade edilirken sistemin kompozisyonuna bağlı olan özellikler ise kimyasal ekserji olarak ifade edilmektedir [4].

2. DEİYONİZE SU ÜRETİM PROSESİ

Endüstriyel kullanım için gerekli olan deiyonize su, şehir şebeke sularının, yer altı sularının, kuyu sularının çeşitli işlemlerden geçirilerek iletkenliğinin kademe kademe düşürülmesi ile elde edilir. Birçok sektörde yer alan deiyonize su üretiminde, örneğin ilaç üretimini GMP kurallarına göre gerçekleştiren bir ilaç fabrikasında deiyonize su (saf su), diğer bir ifadeyle WPU, imalat süreçlerinde, laboratuvar çalışmalarında, ekipman temizliklerinde yardımcı madde ve çözücü olarak kullanılmaktadır.

İlaç endüstrisinde deiyonize suyun kullanılmasının amacı, safsızlıklardan arındırılmış olan su vasıtasıyla ilacın ana bileşeni olan etken maddelerin yapısının bozulmasını önlemektir.

EP'ye göre deiyonize su iletkenlik değeri 20 °C'de maksimum 4.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak tanımlanmaktadır. Deiyonize su, %100 olarak saf değildir, çünkü içerisinde hala eser miktarlarda iyonlar ve mineral tuzları bulunmaktadır.

Proseste açıklanacak olan yöntemlerle deiyonize suyun iletkenliği ancak 0.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerine kadar düşürülebilmektedir [5].

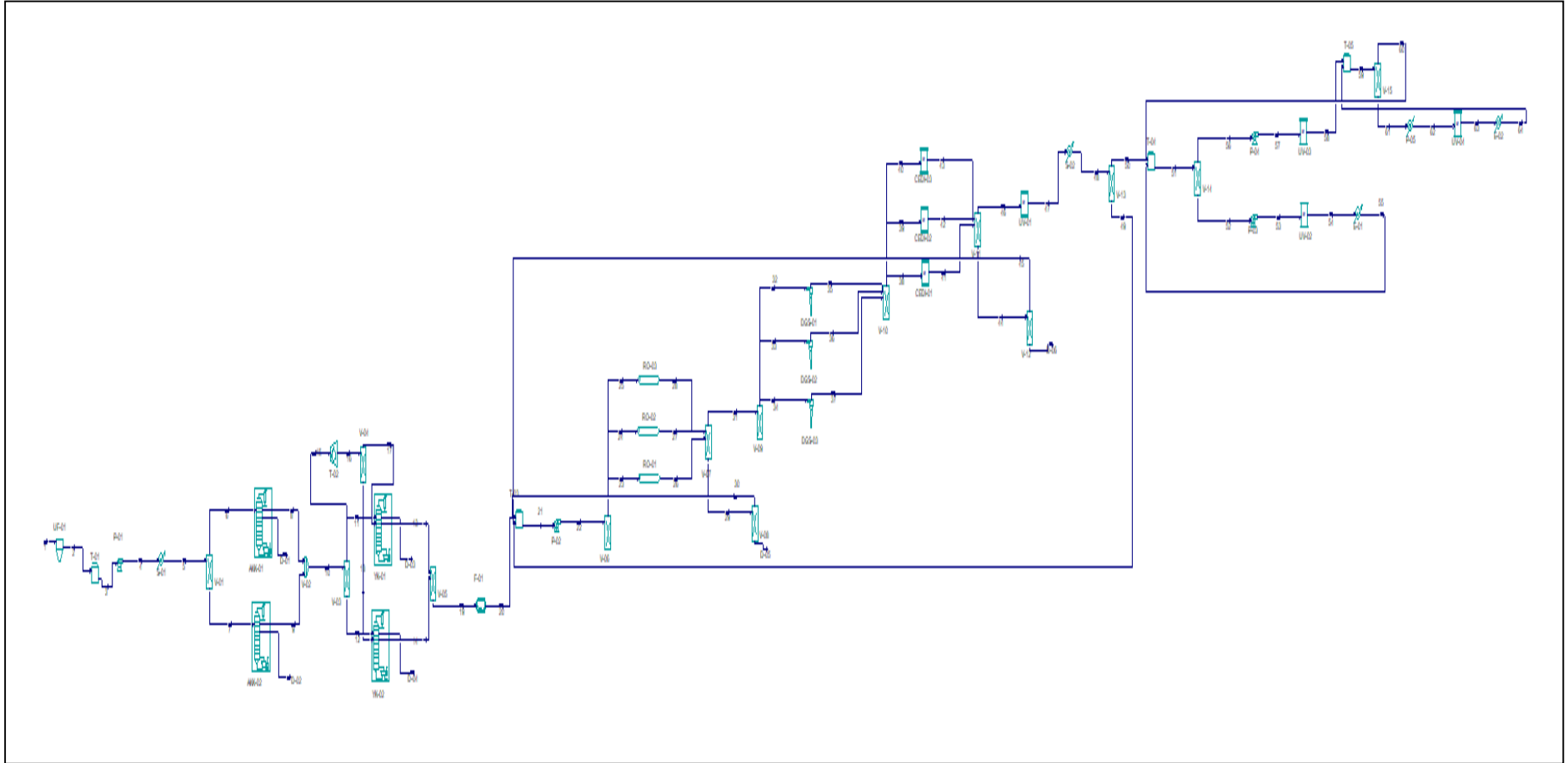
Deiyonize Su Üretim Prosesi genel olarak

- Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması,
- Deiyonize Su Üretim Sistemi,
- Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi

olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır.

Proseste yer alan ana bölümler ise her biri kendi içerisinde alt ünitelerden oluşmakta ve bu alt üniteler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

Prosesin genel akış diyagramı Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Tablo 2.1'de ise prosesi oluşturan tüm bileşenler listelenmektedir.



Şekil 2.1: Akış diyagramı.

Tablo 2.1: Proseste Tanımlanan Özellikler.

Tanım	Açıklama
1	Şebeke suyu
UF-01	Ultra filtrasyon Ünitesi
2	Ham su
T-01	2300 litre Ham su tankı
3	Ham su
P-01	Ham su pompası
4	Ham su
S-01	Soğutucu
5	Soğutulmuş ham su
V-01	Valf
6	Soğutulmuş ham su
7	Soğutulmuş ham su
AKK-01	Aktif Karbon Kolonu
AKK-02	Aktif Karbon Kolonu
8	Soğutulmuş ham su
9	Soğutulmuş ham su
D-01	Drenaj
D-02	Drenaj
V-02	Valf
10	Soğutulmuş ham su
V-03	Valf
11	Soğutulmuş ham su
12	Soğutulmuş ham su
YK-01	Yumuşatıcı Kolon
YK-02	Yumuşatıcı Kolon
13	Yumuşak su
14	Yumuşak su
D-03	Drenaj
D-04	Drenaj
15	Soğutulmuş ham su
T-02	Tuz tankı
16	Tuzlu su
V-04	Valf
17	Tuzlu su
18	Tuzlu su
V-05	Valf
19	Yumuşak su
F-01	5 µ filtre
20	Yumuşak su
T-03	Çok Amaçlı Ara Tank
21	RO Besleme suyu

Tablo 2.1: Devam.

Tanım	Açıklama
P-02	RO pompası
22	RO Besleme suyu
V-06	Valf
23	RO Besleme suyu
24	RO Besleme suyu
25	RO Besleme suyu
RO-01	RO membranı
RO-02	RO membranı
RO-03	RO membranı
26	İletkenliği düşürülmüş su
27	İletkenliği düşürülmüş su
28	İletkenliği düşürülmüş su
V-07	Valf
29	Konsantre su
V-08	Valf
D-05	Drenaj
30	Konsantre su
31	İletkenliği düşürülmüş su
V-09	Valf
32	İletkenliği düşürülmüş su
33	İletkenliği düşürülmüş su
34	İletkenliği düşürülmüş su
DGS-01	Degazör membranı
DGS-02	Degazör membranı
DGS-03	Degazör membranı
35	İçilebilir su
36	İçilebilir su
37	İçilebilir su
V-10	Valf
38	İçilebilir su
39	İçilebilir su
40	İçilebilir su
CEDI-01	Elektro deiyonizasyon Ünitesi
CEDI-02	Elektro deiyonizasyon Ünitesi
CEDI-03	Elektro deiyonizasyon Ünitesi
41	Deiyonize su
42	Deiyonize su
43	Deiyonize su
V-11	Valf
44	Konsantre su
V-12	Valf
D-06	Drenaj

Tablo 2.1: Devam.

Tanım	Açıklama
45	Konsantre su
46	Deiyonize su
UV-01	UV lamba
47	Deiyonize su
S-02	Soğutucu
48	Deiyonize su
V-13	Valf
49	Deiyonize su
50	Deiyonize su
T-04	13000 litre Deiyonize su Stok Tankı
51	Deiyonize su
V-14	Valf
52	Deiyonize su
P-03	1 numaralı hat pompası
53	Deiyonize su
UV-02	UV lamba
54	Deiyonize su
E-01	Eşanjör
55	Deiyonize su
56	Deiyonize su
P-04	2 numaralı hat pompası
57	Deiyonize su
UV-03	UV lamba
58	Deiyonize su
T-05	1000 litre Deiyonize su Stok Tankı
59	Deiyonize su
V-15	Valf
60	Deiyonize su
61	Deiyonize su
P-05	3 numaralı hat pompası
62	Deiyonize su
UV-04	UV lamba
63	Deiyonize su
E-02	Eşanjör
64	Deiyonize su

2.1. Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması

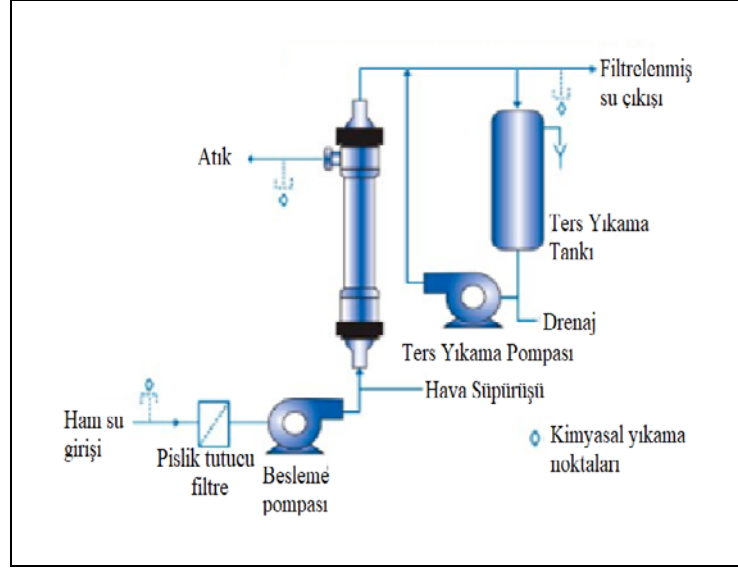
2.1.1. Ultra filtrasyon Ünitesi

Ultra filtrasyon Ünitesi, endüstriyel veya proses sularının parlatılması gibi düşük bulanıklık işlemleri için ideal olan bir membran filtrasyon işleminden oluşan etkili ve kolaylık sağlayan su arıtma ünitesidir. Bu ünite Kristalin poliviniliden florürden (PVDF) üretilen fiber membran modüllerine sahip ve uzun servis ömrüne bağlı mekanik ve kimyasal dirençli membranlardan oluşmaktadır. Sahip olduğu bu özellikler sayesinde askıda katı maddeler, bulanıklık, Giardia kistleri ve Cryptosporidium ookistleri, bakteriler, virüsler ve oksitlenmiş demir ve manganez de dahil olmak üzere farklı su kirleticileri arıtılabilmektedir. Otomatik mod özelliği ile yarı kesikli olarak çalışan ünite, aktif operasyon süresini tamamladıktan sonra ters yıkamaya geçiş yaparak membranlarda birikmiş olan partikülleri drene eder ve yeniden filtrasyon aşamasına başlamaktadır.

Ünite ile ilgili ayrıntılı çizimler Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir [6].



Şekil 2.2: Ultra filtrasyon Ünitesi genel görünümü.

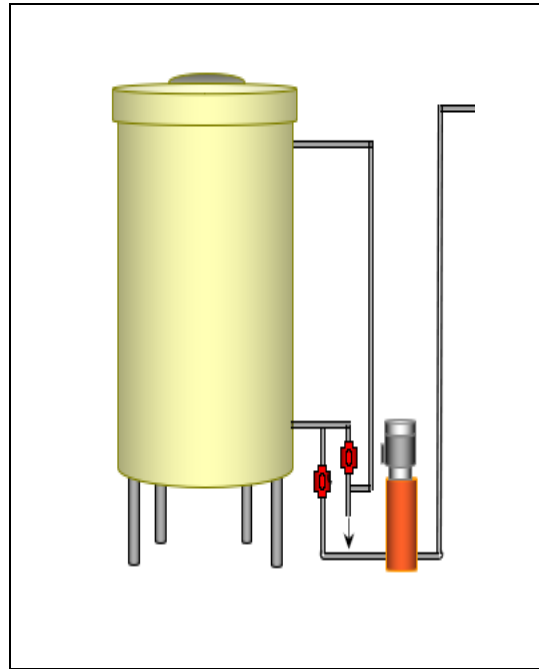


Şekil 2.3: Ultra filtrasyon Ünitesi şematik görünümü.

2.1.2. Ham Su Tankı ve Pompası

Ultra filtre edilmiş ham su, Deiyonize Su Üretim Sistemi ihtiyacına göre Ham Su Tankı'nda hazır edilir ve tank çıkışındaki dikey pompa vasıtasıyla Aktif Karbon Kolonları'na ulaştırılır.

Şekil 2.4'te Ham Su Tankı ve Pompası'na ait çizim gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Ham Su Tankı ve Pompası şematik görünümü.

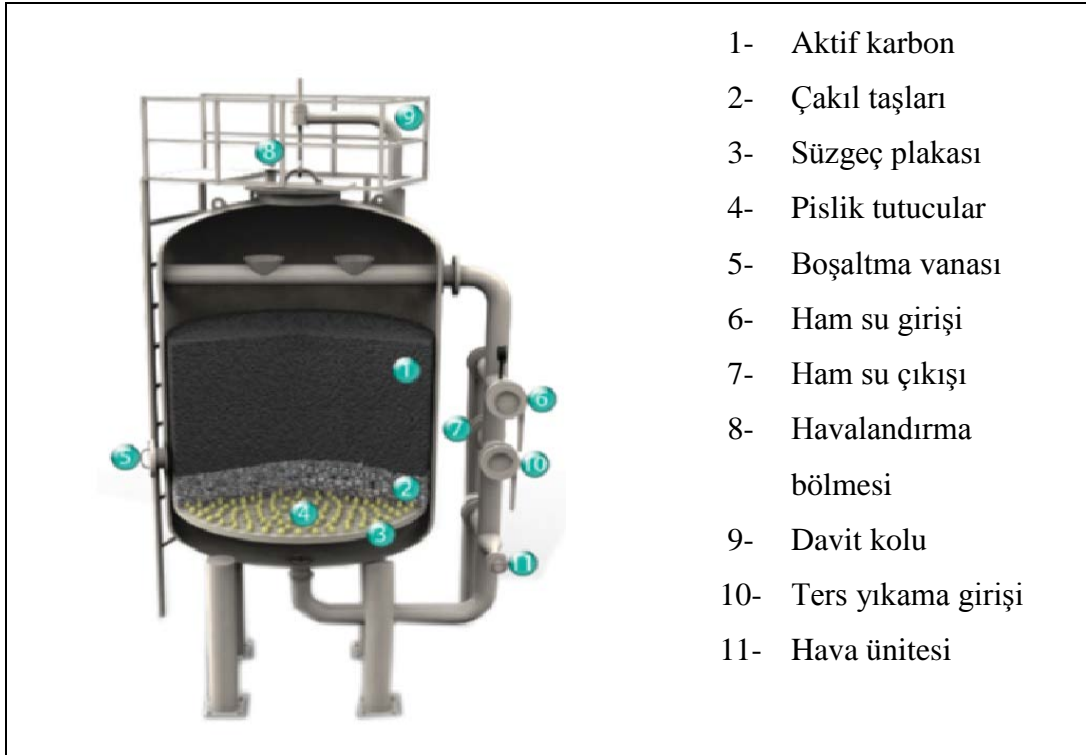
2.1.3. Aktif Karbon Kolonları

Aktif Karbon Kolonları'nın kullanım amacı suya renk, koku, tat ve bulanıklık veren bütün düşük molekül ağırlıklı çözünmüş organik maddeler ile özellikle suda serbest halde bulunan kloru ve kloramini tutmaktır. Aktif karbon, gram ağırlığı başına yaklaşık 600-1500 m² yüzey alanına sahip oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir [7]. Aktif karbonlar hindistan cevizi kabuğu, odun, petrol atığı ve kömür içeriğinde ve su arıtma proseslerinde genellikle granül şeklinde bulunmaktadır.

Aktif Karbon Kolonları'nda proses tasarımı yapılırken aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmaktadır:

- Suyun detaylı analizinin yapılması,
- Suyun Aktif Karbon ile olan temas süresi,
- Suyun Aktif Karbon Kolonları'ndan geçiş hızı ve tank çapı,
- Suyun debisine göre gereken Aktif karbon mineral miktarı [8].

Aktif Karbon Kolonları'na ait görsel Şekil 2.5'te gösterilmektedir [9].



Şekil 2.5: Aktif Karbon Kolonları şematik görünümü.

2.2. Deiyonize Su Üretim Sistemi

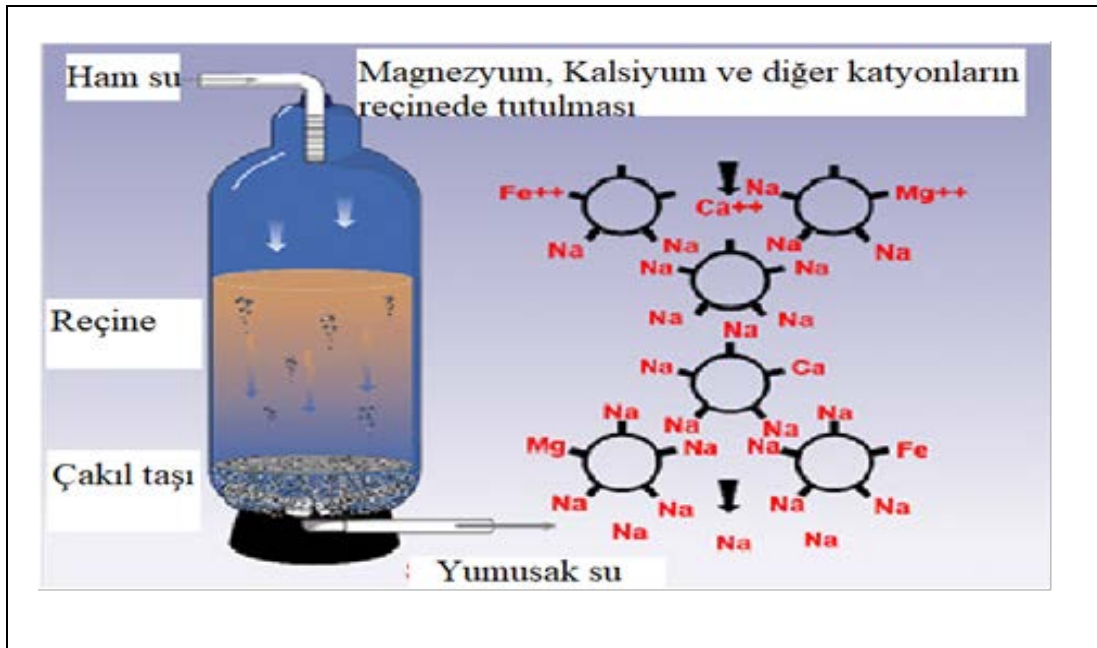
2.2.1. Yumuşatıcı Kolonları

Yumuşatıcı Kolonları'nda, kation değiştirici reçine vasıtasıyla suya sertlik veren (+2) değerlikli iyonların (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , vb.) tutulması ve suya Na^+ iyonlarını verilmesi geręekleřir. Geğici sertlik ve kalıcı sertlik toplamı olarak ifade edilen Toplam su sertliği, genel olarak mg/l (ppm) CaCO_3 veya Fr cinsinden ölçülerek su içerisindeki sertlik iyonlarının tanımlanmasında kullanılır.

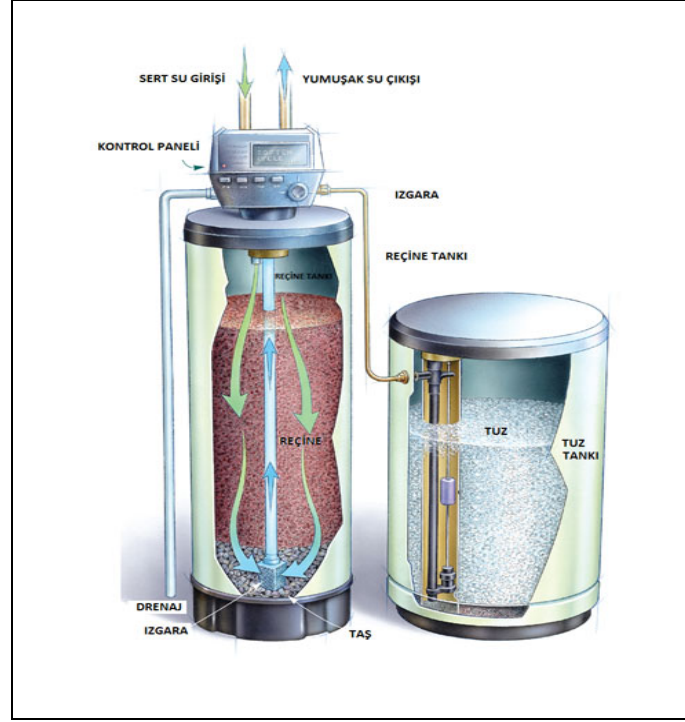
Suyun sertlik sınıflandırması aşağıdaki şekilde verilmektedir [10].

- Çok yumuşak: 0-5 Fr
- Yumuşak: 5-10 Fr veya 0-75 mg/l
- Orta sert: 10-20 Fr veya 75-100 mg/l
- Sert: 20-30 Fr veya 100-300 mg/l
- Çok sert: >20 Fr veya >300 mg/l.

şekil 2.6 ve şekil 2.7'de Yumuşatıcı Kolonları'na [11] ve Tuz Tankları'na [12] ait görseller gösterilmektedir.



şekil 2.6: Yumuşatıcı Kolonları şematik görünümü.



Şekil 2.7: Tuz Tankları şematik görünümü.

2.2.2. 5 μ Kartuş Filtre

5 μ Kartuş filtre, Reverse Osmosis, Ters Ozmoz (RO) modüllerini yumuşatıcı reçinelerinden gelebilecek reçine partiküllerinden korumak amacıyla kullanılmaktadır.

5 μ Kartuş filtre'ye ait görsel Şekil 2.8'de gösterilmektedir [13].



Şekil 2.8: 5 μ Kartuş filtre şematik görünümü.

endüstriyel su arıtımında kullanılan çözülmüş anorganik ve organik maddelerin sudan uzaklaştırılması amacıyla yüksek basınç uygulanan bir yöntemdir.

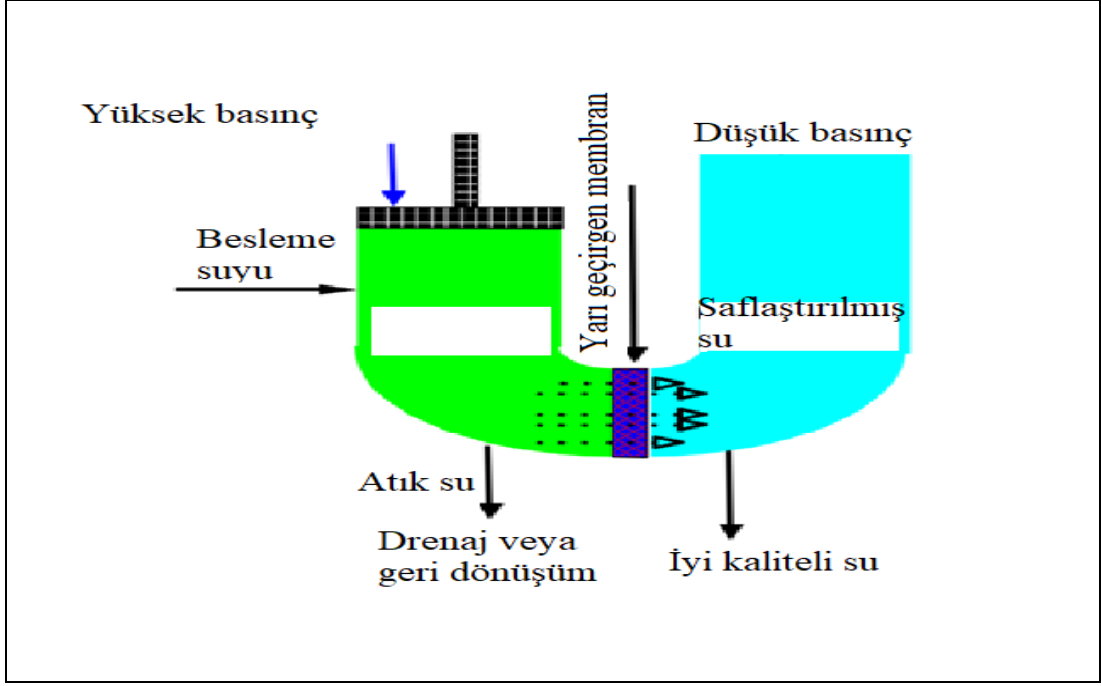
Ters ozmoz işlemi esnasında yüksek bir basınca ihtiyaç duyulur ve bu basınç bir pompa vasıtası ile sağlanır. Ters ozmoz ünitenin içereceği membran sayısı, membran tipi, uygulanacak basınç, geri kazanım oranı gibi bilgiler, ancak ham su karakterinin çok iyi analiz edilmesi ile elde edilebilir [15]. Kullanılan özel membranlar sayesinde besleme suyunun içindeki bütün mineral tuzları (sodyum, potasyum, bikarbonatlar) % 95 oranında, bütün ağır metaller (alüminyum, çinko, bakır) % 98-99 oranında uzaklaştırılır ve bütün bakteri, virüs ve pirojenler yok edilmektedir [2].

Ters Ozmoz Pompası ve Membranları'na ait görsel Şekil 2.10'da gösterilmektedir [16].

Ters Ozmoz teorisine ait görsel ise Şekil 2.11'de gösterilmektedir [17].



Şekil 2.10: Ters Ozmoz Pompası ve Membranları şematik görünümü.

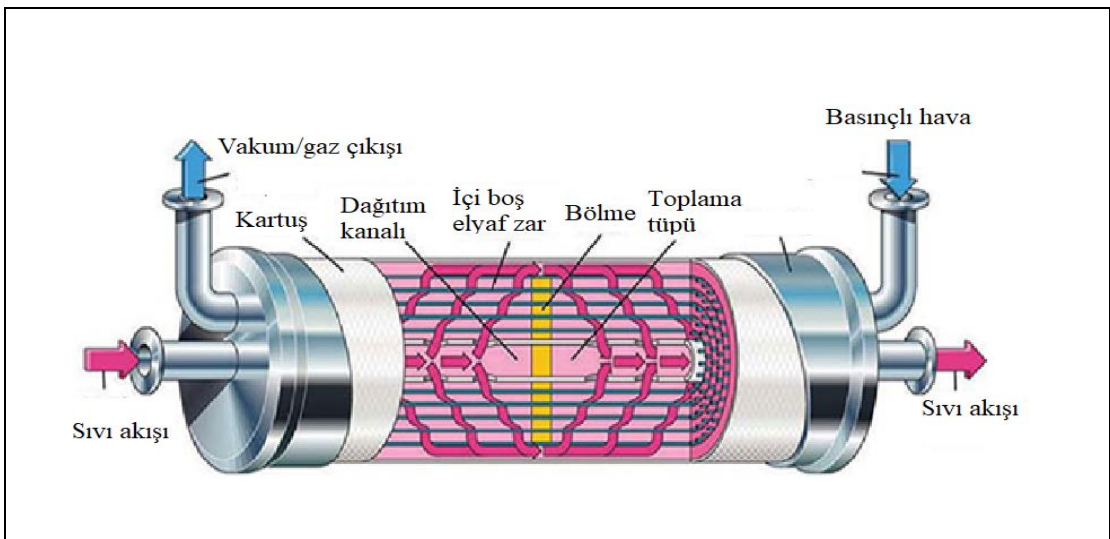


Şekil 2.11: Ters Ozmoz teorisi şematik görünümü.

2.2.5. Degazör Membranları

Degazör membranları, RO membranlarından çıkan iyi kalitedeki suyun içinde var olan çözünmüş gazların, özellikle CO₂ moleküllerinin sudan uzaklaştırılmasını ve ileride doğabilecek bir korozyon etkinin azaltılmasında kullanılır [2].

Şekil 2.12'de Degazör Membranları'na ait görsel gösterilmektedir [18].

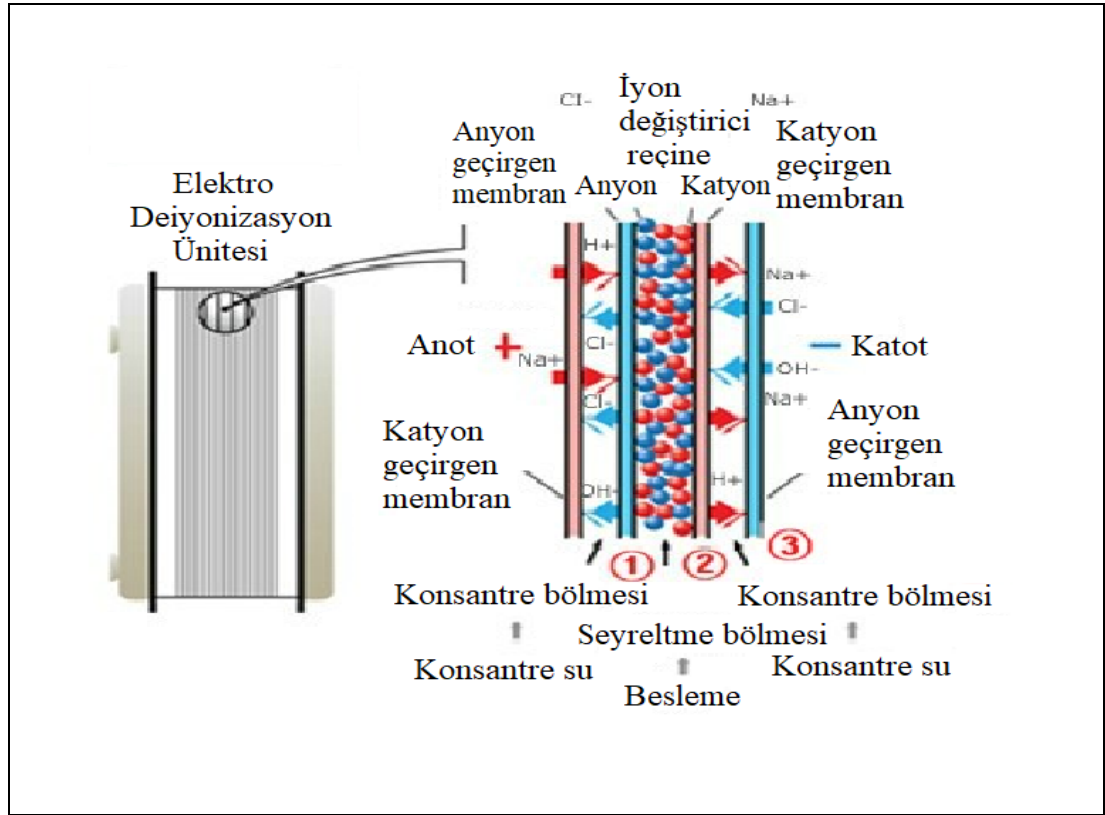


Şekil 2.12: Degazör membranları şematik görünümü.

2.2.6. Sürekli Elektro Deiyonizasyon Ünitesi

Sürekli Elektro Deiyonizasyon Ünitesi, iki gözenekli karbon elektrot üzerinde bir elektrik potansiyeli farkının uygulanmasıyla RO Sistemi'nden gelen su içerisindeki tuz atımını $> \% 99$ oranında sağlar ve suyun iletkenliğini $0.06 \mu\text{S}/\text{cm}$ değerine kadar düşürebilmektedir [2].

Sürekli Elektro Deiyonizasyon Ünitesi'ne ait görsel Şekil 2.13'te gösterilmektedir [19].



Şekil 2.13: Elektro Deiyonizasyon Ünitesi şematik görünümü.

2.2.7. UV Lamba

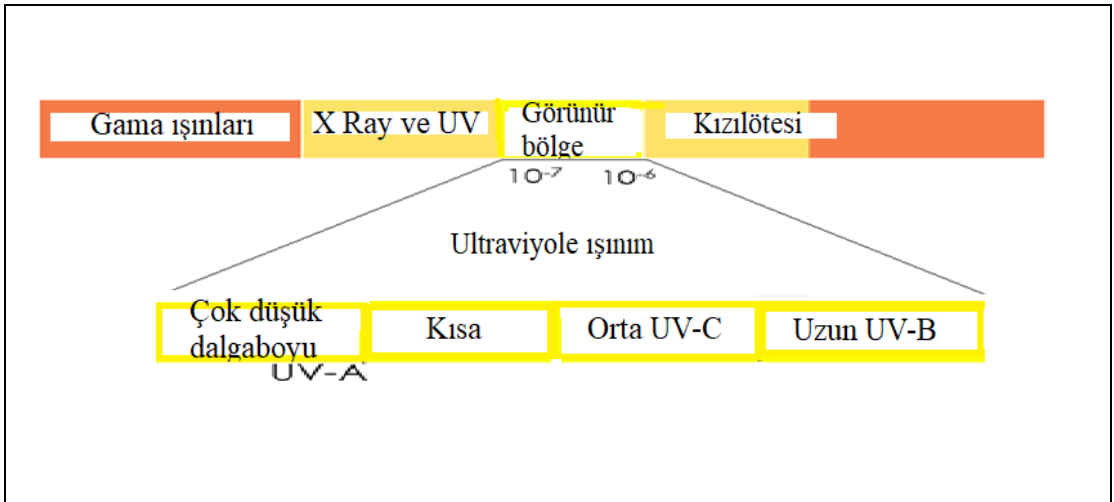
RO Ünitesi çıkışında kullanılan Ultra viyole ışınım, UV Lamba, suda bulunabilecek bakteri, mantar, küf sporları ve virüs gibi tüm patojen mikroorganizmaları yok etmek veya üreme imkanlarını sona erdirmek amacıyla kullanılmaktadır [2].

Şekil 2.14'te UV Lamba'ya ait görsel gösterilmektedir [20].

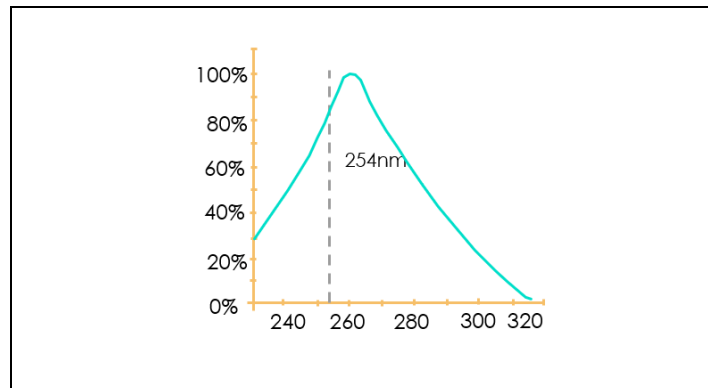


Şekil 2.14: UV Lamba şematik görünümü.

Şekil 2.15'te UV Işınım'a ait ve Şekil 2.16'da UV Lamba şiddet değerine ait görseller gösterilmektedir [17].



Şekil 2.15: UV Işınım şematik görünümü.



Şekil 2.16: UV Lamba şiddet değerleri görünümü.

2.3. Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi

2.3.1. Deiyonize Su Ana Stok Tankı

Deiyonize Su Ana Stok Tankı, ana dağıtım sistemi hattına/hatlarına gönderilecek olan deiyonize suyun depolanmasını sağlayan, 316L paslanmaz çelik malzemenen imal edilen tanktır [2].

Deiyonize Su Stok Tankları'na ait görsel Şekil 2.17'de gösterilmektedir [21].



Şekil 2.17: Deiyonize Su Stok Tankları görünümü.

2.3.2. Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı

Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı, yardımcı dağıtım sistemi hattına/hatlarına gönderilecek olan deiyonize suyun depolanmasını sağlayan, 316L paslanmaz çelik malzemenen imal edilen tanktır [2].

2.3.3. Dağıtım Pompaları

Deiyonize Su Stok Tankları çıkışında yer alan Dağıtım Pompaları, stok tanklarında depo edilen deiyonize suyu ilgili kullanım noktalarına ulaştırmak amacıyla kullanılır [2].

Şekil 2.18’de Dağıtım Pompaları’na ait görsel gösterilmektedir [22].



Şekil 2.18: Deiyonize Su Dağıtım Pompaları görünümü.

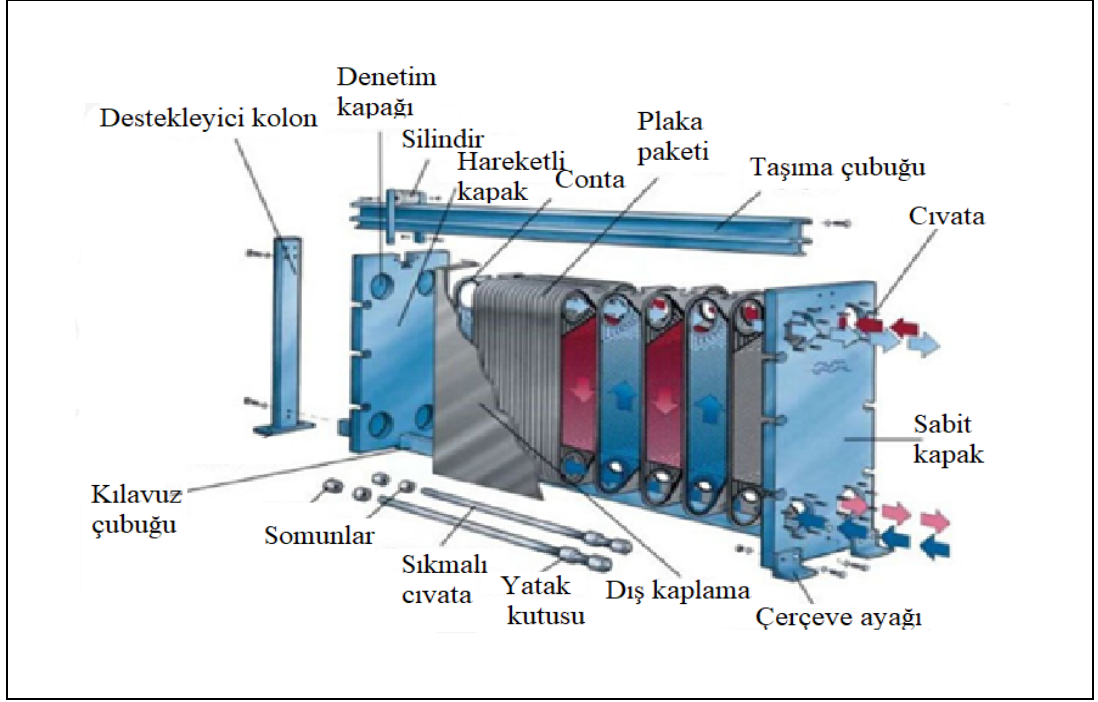
2.3.4. UV Lamba

Deiyonize Su Dağıtım Pompaları çıkışında kullanılan UV Lambalar, deiyonize suyun ilgili kullanım noktalarına gönderilmeden önce suda bulunabilecek bakteri, mantar, küf sporları ve virüs gibi tüm patojen mikroorganizmaları yok etmek veya üreme imkanlarını sona erdirmek amacıyla kullanılmaktadır [2].

2.3.5. Eşanjör

Deiyonize suyun dağıtım hatlarındaki sirkülasyonu esnasında deiyonize su sıcaklığını içinden geçen soğutma suyu ile 18 ± 2 °C arasında sabit tutmak ve belirli periyotlarda yapılan Sıcak su sanitasyonu (sterilizasyon) işlemi için içinden geçen buhar ile 85 ± 3 °C arasında sabit tutmak amacıyla kullanılır [2].

Şekil 2.19’da Eşanjörlere ait görsel gösterilmektedir [23].



Şekil 2.19: Eşanjörlerin şematik görünümü.

3. SİMULASYON ÇALIŞMASI

Tez kapsamındaki Deiyonize Su Üretim Prosesi'nin simüle edilmesi için bir proses simülatör programı kullanılmıştır. Ekserji dengelerinin ve kayıplarının hesaplanmasında simülasyon çalışması sonuçlarından faydalanılmıştır.

3.1. Komponent Seçimi

Deiyonize Su Üretim Prosesi'nde kullanılan ve işlenilen madde genellikle şehir şebeke suyudur. Tez çalışmasındaki deiyonize su elde edilme prosesinde şehir şebeke suyunda ihtiva eden anyonların ve katyonların, organik ve anorganik bileşiklerin, tuzların, minerallerin, ağır metallerin miktarları Mikrobiyoloji Laboratuvarı'nın günlük olarak aldığı numune sonuçlarına göre baz alınmıştır. Prosesin her bir numune alma noktasında yer alan farklı iletkenliklerdeki suların iletkenlik değerleri ise anlık olarak Ek-B'de belirtilen seygar iletkenlik cihazı ile ppm cinsinden ölçülerek belirlenmiştir.

Hesaplamalar ve simülasyon çalışması yapılırken şehir şebeke suyunda ihtiva eden tüm bileşenlerin ppm cinsinden miktarları, hesaplamaları daha kolay bir hale getirmek için tuz (NaCl) olarak kabul edilmiş ve suyun iletkenlik değerinin bir ölçüsü olan $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye dönüştürülerek hesaplanmıştır.

Tablo 3.1'de proses simülasyon programına girilen komponentler gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Seçilen komponentler.

	Seçilen Komponentler	Semboller
1	Su	H ₂ O
2	Tuz	NaCl

Tablo 3.2'de ise proses simülasyon programında toplam miktarları tuz olarak kabul edilen ve şehir şebeke suyunda bulunan komponentler gösterilmektedir [24].

Tablo 3.2: Tuzu oluşturan iyonlar.

	Komponentler	Değerler (ppm CaCO ₃ olarak)
1	Kalsiyum (Ca ⁺²)	175.0
2	Magnezyum (Mg ⁺²)	30.0
3	Sodyum (Na ⁺)	40.0
4	Potasyum (K ⁺)	5.0
5	Hidronyum (H ⁺)	0.0
Toplam Katyon		250.0
6	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	150.0
7	Karbonat (CO ₃) ⁻²	0.0
8	Hidroksit (OH) ⁻	0.0
9	Sülfat (SO ₄) ⁻²	50.0
10	Klorür (Cl) ⁻	50.0
11	Nitrat (NO ₃) ⁻	2.0
Toplam Anyon		252.0
12	Silika (ppm SiO ₂ olarak)	18.3
13	Karbondioksit (CO ₂)	9.4
14	Toplam Demir (ppm)	0.008
15	Toplam Sertlik	140 Fr
16	İletkenlik	502.8 µS/cm
Renk		Renksiz
Bulanıklık (NTU)		Saptanmadı
pH		7.7

3.2. Akışkan Paketi Seçimi ve Hal Denklemleri

Proses simülasyon programında kullanılacak olan akışkan özellikleri paket program olarak seçilmektedir. Seçilen bu pakete göre programın veri tabanındaki katsayılar kullanılmıştır.

Tablo 3.3'te programa girilen akışkan özellik paketi ve kullanılan yöntemler belirtilmiştir.

Tablo 3.3: Seçilen hal denklemleri paketi.

Hal Denklemi Paketleri		
Seçilen Paket	Yoğunluk	Hal Denklemi Çözüm Metodu
Peng-Robinson	Costald	Kubik Analitik

3.3. Reaksiyon Tanımı

Proseste yer alan mekanizmalarda kimyasal reaksiyonlar mevcut olmadığından simülasyon programına herhangi bir kimyasal reaksiyon tanıtılmamıştır.

3.4. Proses Simülasyon Çalışması

Deiyonize Su Üretim Prosesi; Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması, Deiyonize Su Üretim Sistemi ve Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi olmak üzere 3 ana bölümde simüle edilmiştir.

3.4.1. Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması Simülasyon Modeli

Deiyonize Su Üretim Prosesi'nin ilk aşaması olan Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması, 3 parça halinde simüle edilmiştir:

- Ultra Filtrasyon Ünitesi,
- Ham Su Tankı ve Pompası ve
- Aktif Karbon Kolonları.

Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması'nın ilk ekipmanı olan Ultra Filtrasyon Ünitesi, ham su depolarında bulunan ortalama $502.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlikteki şehir şebeke suyunu sahip olduğu 4 adet özel membran vasıtasıyla 1.1 bar değerinden 0.3 bar değerine düşürerek $16 \text{ m}^3/\text{h}$ suyu filtrelemektedir. Şehir şebeke suyunun üniteye giriş ve ünitiden çıkış basınçları ünite üzerindeki sensörler yardımıyla görüldüğünden entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri bu değerlere göre hesaplanmıştır.

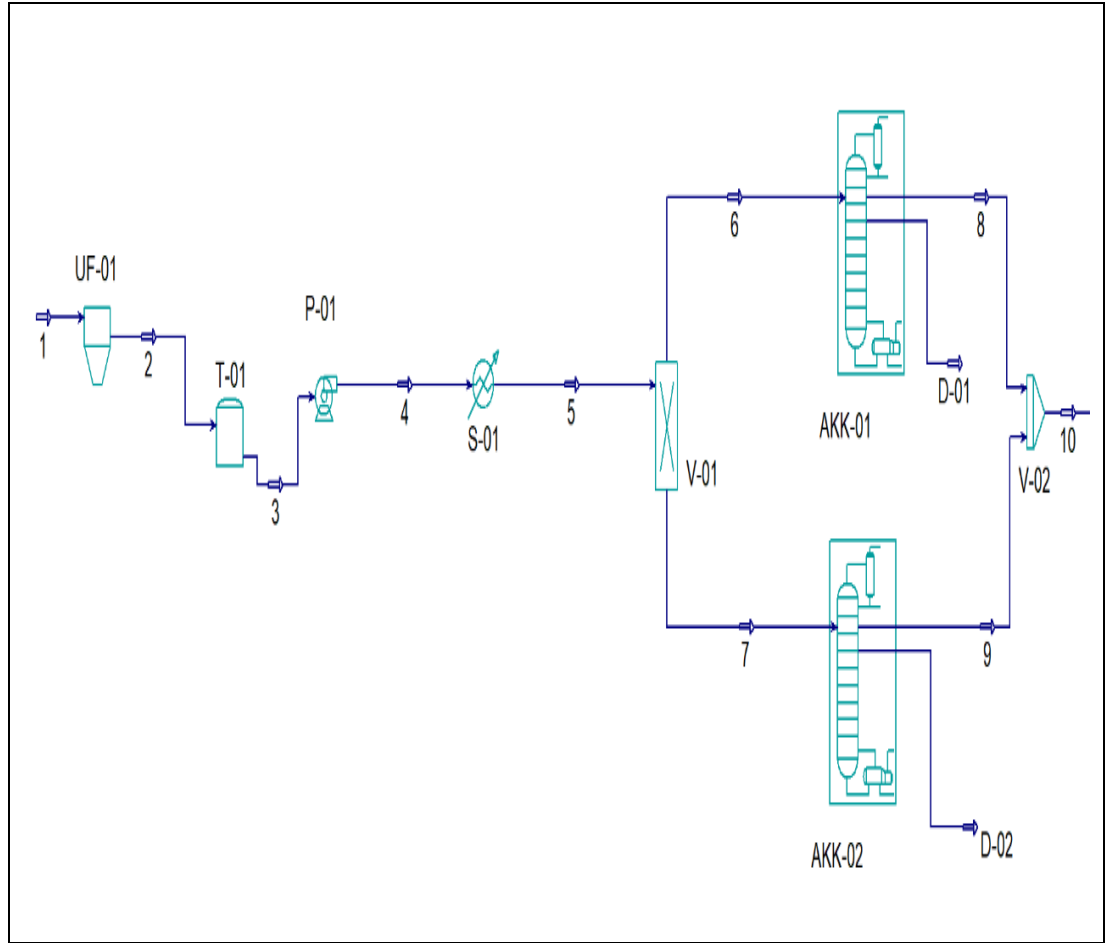
2300 litre kapasiteli Ham Su Tankı, yarı kesikli olarak çalışan Ultra Filtrasyon Ünitesi'nden gelen filtrelenmiş suyu tank çıkışındaki dikey pompa vasıtasıyla 4.0 bar

değerine basınçlandırmaktadır. Pompa saatte yaklaşık 5.5 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir. Pompanın çıkışındaki sıcaklık bilindiğinden verimi bu değere göre hesaplanmıştır.

Aktif Karbon Kolonları'ndan hemen önce yer alan soğutucu eşanjöre ait ekserji değerleri, Enerji dairesinden gelen soğutma suyunun giriş ve eşanjörden çıkış sıcaklıkları ile eşanjördeki ham su giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki ilişkiye göre hesaplanmıştır.

% 50 kapasite ile tek bir kolon gibi çalışan 2 adet Aktif Karbon Kolonu'na bir adet soğutucu eşanjörden geçerek gelen soğutulmuş ham su, sudaki organik maddeler ile kloru alındıktan sonra Yumuşatıcı Kolonları'na girmektedir. Aktif Karbon Kolonları'ndaki giriş-çıkış basınçları bilindiğinden üniteadaki entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri bu değere göre hesaplanmıştır.

Şekil 3.1'de Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması'na ait akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması akış şeması.

3.4.2. Deiyonize Su Üretim Sistemi Simülasyon Modeli

Deiyonize Su Üretim Prosesi'nin ikinci aşaması olan Deiyonize Su Üretim Sistemi 7 parça halinde simüle edilmiştir:

- Yumuşatıcı Kolonları ve Tuz Tankı,
- 5 μ Kartuş filtre,
- Çok Amaçlı Ara Tank,
- Ters Ozmoz Pompası ve Membranları,
- Degazör Membranları,
- Elektro Deiyonizasyon Ünitesi ve
- UV Lamba.

Aktif Karbon Kolonları'ndan gelen 14 m³/h debili ham su, suya sertlik veren iyonların alınması amacıyla Deiyonize Su Üretim Sistemi'nin ilk ekipmanı olan 2 adet kationik reçineli Yumuşatıcı Kolonları'na giriş yapar. Belirli bir süre sonra doyumluğa ulaşan reçinelerin rejenerasyonu için kullanılan Tuz Tankı'nda herhangi bir enerji kullanımı bulunmamaktadır.

Yumuşatıcı Kolonları'ndaki giriş-çıkış basınçları bilindiğinden üitedeki entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri bu değere göre hesaplanmıştır.

Yumuşatıcı Kolonları'nda yumuşatılan ham su, RO membranlarını koruma amaçlı olarak kullanılan 5 μ Kartuş Filtre'ye 12 m³/h debide 2.0 bar basınçta girer ve 1.8 bar basınçta çıkış yapar. Filtredeki giriş-çıkış basınçları bilindiğinden filtredeki entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri bu değere göre hesaplanmıştır.

Ham su iletkenliğin ilk aşamada düşürülmesini sağlayan RO Ünitesi'nin simülasyon çalışması bu bölümde yapılmıştır. 5 μ Kartuş Filtre'den gelen ham su öncelikle 650 litrelik Çok Amaçlı Su Tankı'nı doldurur. Bu tankta hazır edilen su, yaklaşık 424.1 μ S/cm iletkenliktedir. Tanktaki suyun RO Membranlarına bir adet pompa vasıtasıyla ortalama 17.8 bar değerinde basınçlandırılması ile iletkenlik değeri 11.40 μ S/cm olan 8 m³/h debili süzüntü elde edilir. Pompa saatte yaklaşık 18.5 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir.

RO membranlarından çıkan su, konsantre su (kötü kaliteli su) ve süzüntü (iyi kaliteli su) olmak üzere iki bölüme ayrılır. Süzüntü, deiyonize su elde edilmesi amacıyla diğer ünitelerden sırasıyla geçmektedir.

Konsantre su ise, üniteye tanımlanan debilerde bir kısmı drene edilmek üzere atılırken bir kısmı da tekrar RO membranlarından geçmek üzere Çok Amaçlı Su Tankı'na alınır. Bu şekilde tek geçişli RO Ünitesi'nde atık sudan maksimum % 99.5 geri kazanım yapılır.

Üniteye ait debi, basınç farkı, sıcaklık, oransal akış, iyileştirme oranı gibi değerler kullanılarak sisteme ait entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri hesaplanmıştır.

RO membranlarından çıkan iyi kalitedeki suda çözülmüş CO₂'in giderilmesi degazör membranlarında gerçekleştirilir. Membranlarda tutulan CO₂ moleküllerinin suyun akışına ters yönde basınçlı hava ile atmosfere atımı için yaklaşık 2.3 kW/h enerji tüketilmektedir. Sistemde tanımlanan 3 adet Degazör membranlardaki giriş-çıkış basınçları bilindiğinden membranlardaki entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri bu değere göre hesaplanmıştır.

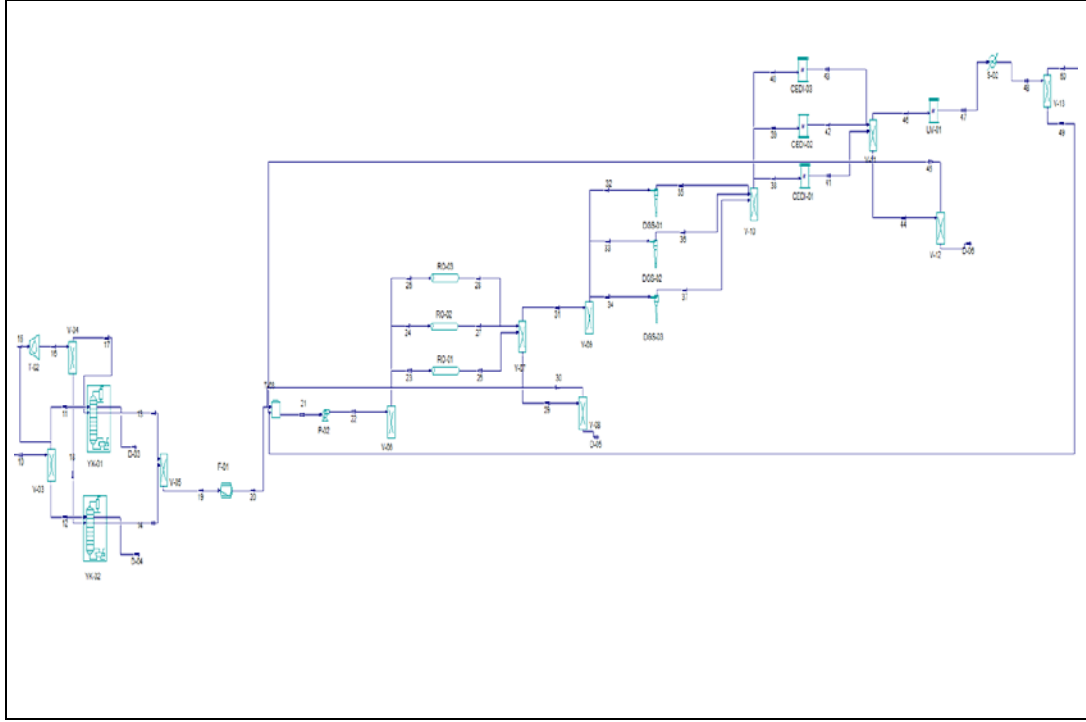
Deiyonize su kriterleri için iletkenliğin (0.06 μ S/cm) elde edilmesinde kullanılan son aşama, parlatma evresi de denilen CEDI Ünitesi'nde meydana gelir. Proseste yer alan 3 adet CEDI Ünitesi için toplamda 2.68 kW/h enerji tüketilmektedir. Bu ünite de RO membranları çıkışında olduğu gibi süzüntü ve konsantre su içeren iki bölüme ayrılır. Süzüntü yani prosesin ürünü olan deiyonize su, saatte 8 m³/h'lik debi ile UV Lamba'dan geçerek kullanım noktalarına iletmek üzere Deiyonize Su Stok Tankı'nda depolanır.

Konsantre su ise üniteye tanımlanan debilerde bir kısmı drene edilmek üzere atılırken bir kısmı da tekrar RO membranlarından geçmek üzere Çok Amaçlı Su Tankı'na alınır. Bu şekilde CEDI Ünitesi'nde atık sudan maksimum % 90.0 geri kazanım yapılır.

Üniteye ait debi, basınç farkı, sıcaklık, oransal akış, iyileştirme oranı gibi değerler kullanılarak sisteme ait entalpi, entropi ve toplam ekserji değerleri hesaplanmıştır.

Deiyonize suda bulunabilecek zararlı mikroorganizmaları yok eden UV Lamba'da ise yaymış olduğu UV-C ışınım ile 0.14 kW/h enerji tüketilmektedir.

Şekil 3.2'de Deiyonize Su Üretim Sistemi'ne ait akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Deiyonize Su Üretim Sistemi akış şeması.

3.4.3. Deiyonize Su Depolama-Dağıtım Sistemi Simülasyon Modeli

Deiyonize Su Üretim Prosesi'nin üçüncü ve son aşaması olan Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi, 5 parça halinde simüle edilmiştir:

- Deiyonize Su Ana Stok Tankı,
- Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı,
- Dağıtım pompaları,
- UV Lamba ve
- Eşanjör.

Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi'nin ilk ekipmanı olan Deiyonize Su Stok Tankları, üretilen deiyonize suyun depo edilerek dağıtım pompalarıyla ilgili kullanım noktalarına iletilmesi amacıyla simüle edilmiştir.

Deiyonize Su Ana Stok Tankı çıkışındaki aynı özellikteki iki adet dağıtım pompası, 50 bar basınç ile 40 m³/h debide deiyonize suyu kullanım noktalarına taşımakta ve loop dönüşlerinden tekrar Deiyonize Su Stok Tankı'na beslemektedir. Pompalar saatte yaklaşık 22 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir.

Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı çıkışındaki bir adet dağıtım pompası, 7 bar basınç ile 8 m³/h debide deiyonize suyu ilgili kullanım noktalarına taşımakta ve loop dönüşlerinden tekrar Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı'na beslemektedir. Pompa saatte yaklaşık 7.5 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir.

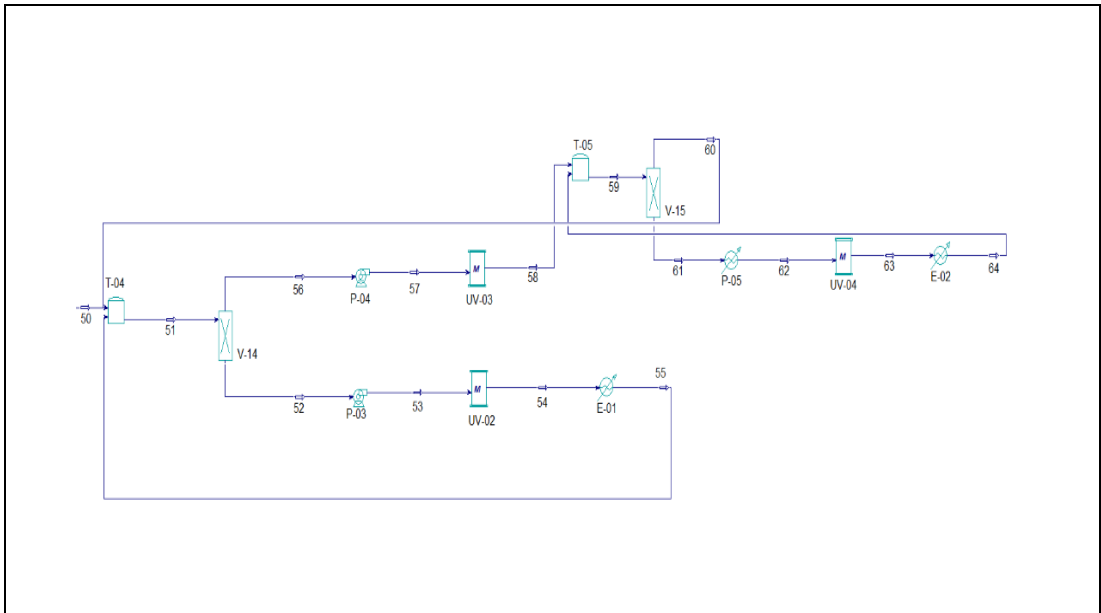
Deiyonize Su Ana Stok Tankı çıkışındaki aynı özellikteki iki adet UV Lamba, deiyonize suyu kullanım noktalarına iletmeden hemen önce mikrobiyal tedbirlerin alınmasını sağlarken saatte yaklaşık 0.27 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir.

Deiyonize Su Yardımcı Stok Tankı çıkışındaki bir adet UV Lamba ise, deiyonize suyu ilgili kullanım noktalarına iletmeden hemen önce mikrobiyal tedbirlerin alınmasını sağlarken saatte yaklaşık 0.08 kW/h elektrik enerjisi tüketmektedir.

Deiyonize Su Stok Tankları'nın dağıtım pompaları çıkışlarında yer alan soğutucu eşanjörlere ait ekserji değerleri, tesisin Enerji dairesinden gelen soğutma suyunun giriş ve eşanjörden çıkış sıcaklıkları ile eşanjördeki deiyonize su giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki ilişkiye göre hesaplanmıştır.

Simülasyonda eşanjörlerde Sıcak su sanitasyonu (sterilizasyon işlemi) sırasında kullanılan buhara yer verilmemiştir. Simülasyon sadece 7/24 çalışan bir Deiyonize Su Üretim Tesisi'nin kullanım noktalarına deiyonize suyu iletmesi şeklinde dizayn edilmiştir.

Şekil 3.3'te Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi'ne ait akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Deiyonize Su Dağıtım ve Depolama Sistemi akış şeması.

3.5. Kütle, Enerji ve Ekserji Denklikleri

Tez çalışmasının amacında seçilen prosesin Dilovası/Kocaeli’de bulunan Gebkim Organize Sanayi Bölgesi’ndeki 2018 yaz (Haziran-Temmuz-Ağustos) ve kış (Ocak-Şubat-Mart) mevsim koşullarının baz alınarak simüle edilmesi ve simülasyon çalışması sonuçları yardımıyla ekserji denkliklerinin kurulması hedeflenmiştir. Tezin ilerleyen bölümünde ise proses simülasyon programı tarafından kurulan kütle ve enerji denklikleri açıklanmıştır. Bu bölümde ise kütle ve enerji denkliği denklemleri kullanılarak el ile yapılan hesaplamalar verilmiştir.

Kütle, enerji ve ekserji için kurulan denklikler Ek A’da belirtilmiştir.

3.5.1. Enerji Denklikleri

Tez çalışmasında yer alan proste genel enerji denkliği formülü kullanılarak enerji analizleri yapılmıştır. Bu analizle çıkan sonuçlar ile simülasyon çalışmasında bulunan sonuçlar kıyaslanarak yakın bulunmuştur. Analiz sonrasında ünitelerin enerji verimleri hesaplanarak yapılan hesaplar ilerleyen bölümlerde ekserji analizleriyle kıyaslanmıştır.

3.5.2. Ekserji Denklikleri

Tez çalışmasında enerji denklikleri ve analizleri yapıldıktan sonra proses simülasyon programından elde edilen entalpi ve entropi değerleri kullanılarak ekserji denklikleri ve analizleri yapılmıştır.

Ekserji analizi yapılırken kabul edilmesi gereken çevre sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 1 atm ve 25 °C olarak baz alınmıştır. Ekserji denklikleri için kullanılan formüller Ek A’da belirtilmiştir.

Tezin önceki bölümlerinde yapılan simülasyon çalışması, hazırlanan kütle, enerji ve ekserji denklikleri kullanılarak proste yer alan akımların enerji ve ekserji değerleri hesaplanmış, ardından bu değerler kullanılarak verim analizleri yapılmıştır.

4. SİMULASYON ÇALIŞMASI SONUÇLARI

4.1. Kütle ve Enerji Denklikleri

Proses simülatörü kullanılarak hazırlanan ünite modellerine sahada alınan ölçümler girilmiştir. Bu sayede modelin güvenilirliği sistemden farklı yüklerde alınan saha ölçümleri ile simülasyon çalışmasının sonuçları kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Proses simülasyon programında tüm bileşenlerin kütle ve enerji denkliği hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de belirtilmiştir. İlave olarak, kütle ve enerji denklikleri teorik olarak tekrar hesaplanıp sonuçlar kıyaslanmıştır. İlgili sonuçlar arasında fark bulunmadığından alınan entalpi ve entropi değerleri kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Simülasyon çalışması kütle denkliği sonuçları.

Girdiler (l/h)			Çıktılar (l/h)		
1	Şebeke suyu	16000	D-01	Drenaj	1000
			D-02	Drenaj	1000
			D-03	Drenaj	1000
			D-04	Drenaj	1000
			30	Konsantre su	2000
			D-05	Drenaj	1000
			D-06	Drenaj	300
			44	Konsantre su	700
			46	Deiyonize su	8000
Toplam		16000	Toplam		16000

Tablo 4.2: Simülasyon çalışması enerji denkliği sonuçları.

Girdiler (kW)			Çıktılar (kW)		
1	Şebeke suyu	338.08	46	Deiyonize su	174.60
SG-01	Soğutma suyu	3211.89	30	Geri kazanım suyu	44.51
SG-02	Soğutma suyu	3211.89	45	Geri kazanım suyu	15.27

Tablo 4.2: Devam.

Girdiler (kW)			Çıktılar (kW)		
EG-01	Soğutma suyu	1605.94	D-01	Atık su	10.31
EG-02	Soğutma suyu	1605.94	D-02	Atık su	10.31
			D-03	Atık su	20.60
			D-04	Atık su	20.60
			D-05	Atık su	22.25
			D-06	Atık su	6.55
			CEDI	CEDI	12.32
			U-01	UV lamba	0.14
			U-02	UV lamba	0.27
			U-03	UV lamba	0.27
			U-04	UV lamba	0.08
			SÇ-01	Soğutma suyu geri dönüş	3211.89
			SÇ-02	Soğutma suyu geri dönüş	3211.89
			EÇ-01	Soğutma suyu geri dönüş	1605.94
			EÇ-02	Soğutma suyu geri dönüş	1605.94
Toplam		9973.74	Toplam		9973.74

4.2. 2018 Yaz Dönemi Özet Akım Tablosu

Tezde çalışılan proses simülasyon modeli kurularak yaz aylarında sahadan alınan ölçümler kullanılmış ve model çözülmüştür.

Simülasyon çalışması kapsamında olan akımların iletkenlik, mol kesri, basınç, sıcaklık, kütleli akış, entalpi, entropi, fiziksel ve kimyasal ekserji sonuçları özet akım tablosu olarak Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da verilmiştir. Proseste tanımlanan iletkenlik değerleri, sahadaki numune alma noktalarından Ek B’de belirtilen iletkenlik cihazı ile ölçülmüştür.

Tablo 4.3: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	502.8	502.7	502.7	502.7	502.7	502.7	502.7	452.8	452.8
Mol kesri	x	1.0	0.962	0.962	0.962	0.962	0.962	0.962	0.837	0.837
Basınç	bar	1.1	0.3	4.0	4.0	3.8	3.8	3.8	3.6	3.6
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	18.1	18.1	18.7	18.7	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
Kütlesel akış	kg/h	16020	16020	16020	16020	16020	8010	8010	7510	7510
Entalpi	kJ/kg	76.069	75.993	78.85	78.85	74.232	74.232	74.232	74.2128	74.2128
Entropi	kJ/kgK	0.2693	0.2693	0.2778	0.2778	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	1.394	1.055	2.497	2.497	2.899	1.45	1.45	1.319	1.319
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	0	-0.0032	-0.0032	-0.0032	-0.0032	-0.0016	-0.0016	-0.0052	-0.0052
Toplam Ekserji Hızı	kW	1.394	1.052	2.494	2.494	2.896	1.448	1.448	1.314	1.314

Tablo 4.4: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	10	11	12	13	14	15	16	17	18
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	452.8	452.8	452.8	312.8	312.8	452.8	-	-	-
Mol kesri	x	0.837	0.837	0.837	0.576	0.576	0.576	-	-	-
Basınç	bar	3.6	3.6	3.6	3.1	3.1	-	-	-	-
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	-	-	-
Kütlesel akış	kg/h	14020	7000	7000	6000	6000	20	20	10	10
Entalpi	kJ/kg	74.2128	74.2128	74.2128	74.165	74.165	-	-	-	-
Entropi	kJ/kgK	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	-	-	-	-
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	2.463	1.229	1.229	0.974	0.974	-	-	-	-
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0097	-0.0048	-0.0048	-0.0061	-0.0061	-0.000029	-	-	-
Toplam Ekserji Hızı	kW	2.453	1.224	1.224	0.978	0.978	-	-	-	-

Tablo 4.5: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	19	20	21	22	23	24	25	26	27
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	312.8	312.8	424.1	424.1	424.1	424.1	424.1	11.4	11.4
Mol kesri	x	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.142	0.142
Basınç	bar	2.0	1.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.3	17.3
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	17.6	17.6	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
Kütlesel akış	kg/h	12000	12000	12000	12000	5000	4000	3000	3000	3000
Entalpi	kJ/kg	74.061	74.042	80.1576	80.1576	80.1576	80.1576	80.1576	80.11	80.11
Entropi	kJ/kgK	0.2621	0.2621	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	1.602	1.539	6.031	6.031	2.513	2.01	1.508	1.468	1.468
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.0051	-0.0041	-0.0031	-0.0007	-0.0007
Toplam Ekserji Hızı	kW	1.589	1.529	6.018	6.018	2.508	2.001	1.505	1.467	1.467

Tablo 4.6: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	28	29	30	31	32	33	34	35	36
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	11.4	412.7	412.7	11.4	11.4	11.4	11.4	2.0	2.0
Mol kesri	x	0.142	0.434	0.434	0.142	0.142	0.142	0.142	0.115	0.115
Basınç	bar	17.3	17.3	17.3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
Kütlesel akış	kg/h	3000	3000	2000	9000	3000	3000	3000	3000	3000
Entalpi	kJ/kg	80.11	80.11	80.11	78.67	80.11	80.11	80.11	78.66	78.66
Entropi	kJ/kgK	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	1.468	1.468	0.978	0.804	1.468	1.468	1.468	0.259	0.259
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0007	-0.0026	-0.0018	-0.002	-0.0007	-0.00066	-0.00066	-0.0005	-0.0005
Toplam Ekserji Hızı	kW	1.467	1.465	0.976	0.802	1.467	1.467	1.467	0.259	0.259

Tablo 4.7: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	37	38	39	40	41	42	43	44	45
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	2.0	2.0	2.0	2.0	0.06	0.06	0.06	1.94	1.94
Mol kesri	x	0.115	0.115	0.115	0.115	0.0001	0.0001	0.0001	0.00093	0.00093
Basınç	bar	2.0	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
Kütlesel akış	kg/h	3000	3000	3000	3000	2670	2670	2670	1000	700
Entalpi	kJ/kg	78.66	78.6088	78.6088	78.6088	78.571	78.571	78.571	78.543	78.543
Entropi	kJ/kgK	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	0.259	0.241	0.241	0.241	0.187	0.187	0.187	0.062	0.044
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0005	-0.00001	-0.00001	-0.00001	-0.00000001	-0.00000001	-0.00000001	-0.0005	-0.003
Toplam Ekserji Hızı	kW	0.259	0.241	0.241	0.241	0.187	0.187	0.187	0.0575	0.041

Tablo 4.8: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	46	47	48	49	50	51	52	53	54
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.58	0.58	0.58	0.58
Mol kesri	x	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.001
Basınç	bar	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	2.8	2.8	2.8	2.8
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	18.7	18.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7
Kütlesel akış	kg/h	8000	8000	8000	8000	8000	80000	40000	40000	40000
Entalpi	kJ/kg	78.571	78.571	74.375	74.375	74.375	74.555	74.555	74.555	74.555
Entropi	kJ/kgK	0.278	0.278	0.2635	0.2635	0.2635	0.2635	0.2635	0.2635	0.2635
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	0.561	0.561	0.772	0.772	0.772	11.724	5.862	5.862	5.862
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-0.00004	-0.00002	-0.00002	-0.00002
Toplam Ekserji Hızı	kW	0.561	0.561	0.772	0.772	0.772	11.724	5.862	5.862	5.862

Tablo 4.9: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	0.58	0.58	0.58	0.58	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
Mol kesri	x	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Basınç	bar	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	0.9	1.9	1.9	1.9	1.3
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	16.7	17.7	17.7	17.7	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	17.1
Kütlesel akış	kg/h	40000	40000	40000	40000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Entalpi	kJ/kg	70.3691	74.555	74.555	74.555	76.2298	76.0499	76.145	76.145	76.145	71.90
Entropi	kJ/kgK	0.2491	0.2635	0.2635	0.2635	0.2692	0.2693	0.2693	0.2693	0.2693	0.255
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	7.032	5.862	5.862	5.862	1.12	0.653	0.865	0.865	0.865	0.97
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-2E-05	-2E-05	-2E-05	-2E-05	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07
Toplam Ekserji Hızı	kW	7.032	5.862	5.862	5.862	1.12	0.653	0.865	0.865	0.865	0.97

4.3. 2018 Yaz Dönemi Özet Ekipman Tablosu

Yapılan çalışmada verilen Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da bulunan sonuçlar ve tezin 3.5.2 bölümünde anlatılan ekserji denkliği formülleri kullanılarak proseste yer alan ekipmanların ekserji dengeleri ve ekserji verimleri hesaplandı. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.10’da belirtilmiştir.

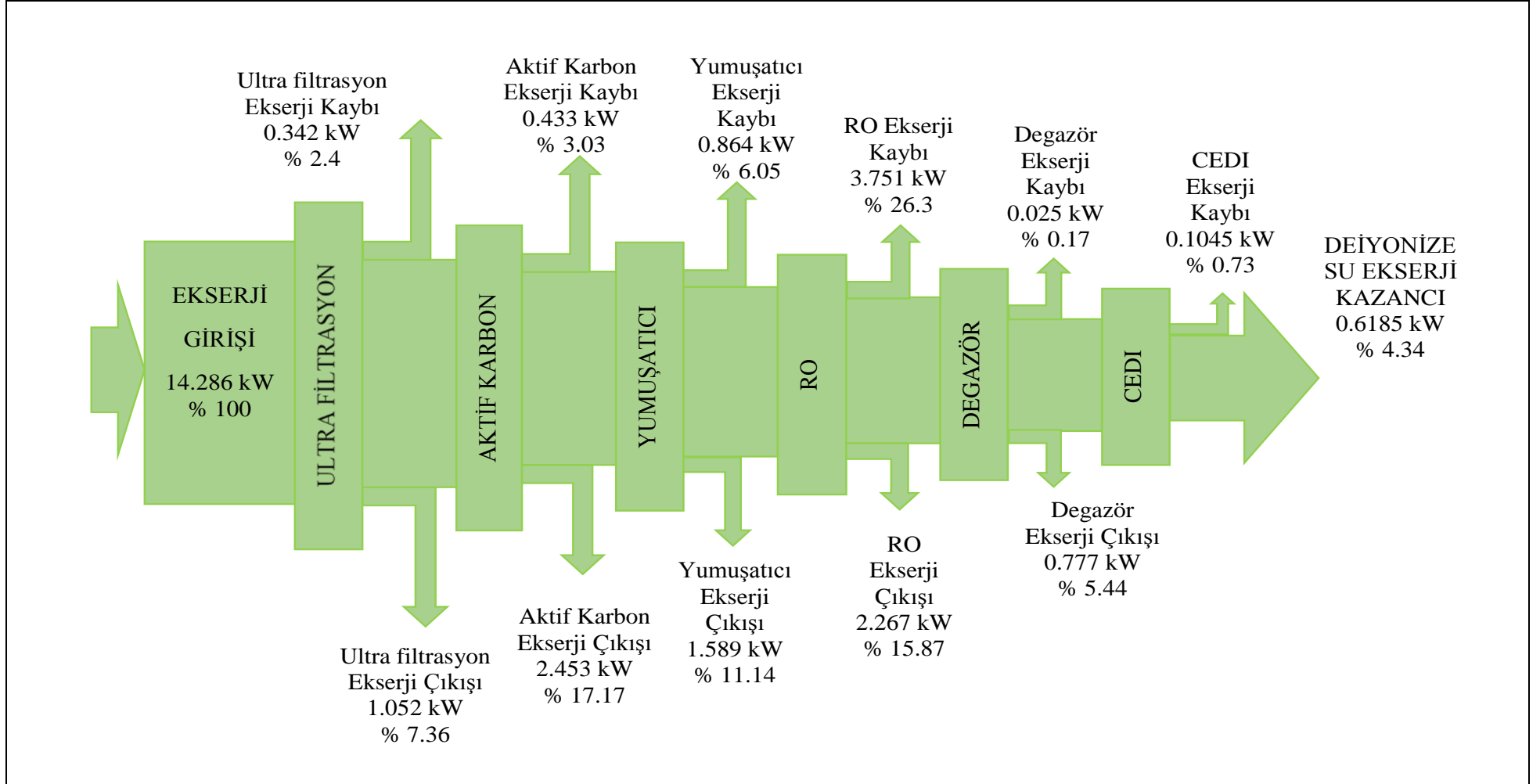
Tablo 4.10: Ekipman ekserji hızı sonuçları.

Üniteler	Ekserji Giriş Hızı (kW)	Ekserji Çıkış Hızı (kW)	Kayıp (kW)	Verim (%)
Ultra filtrasyon Ünitesi	1.394	1.052	0.342	75.47
Aktif Karbon Kolonları	2.896	2.453	0.443	84.7
Yumuşatıcı Kolonları	2.453	1.589	0.864	64.78
RO	6.018	(0.802) + (1.465)	3.751	37.67
Degazör	0.802	3 x (0.259)	0.025	96.88
CEDI Ünitesi	3 x (0.241)	(0.561) + (0.0575)	0.1045	85.5

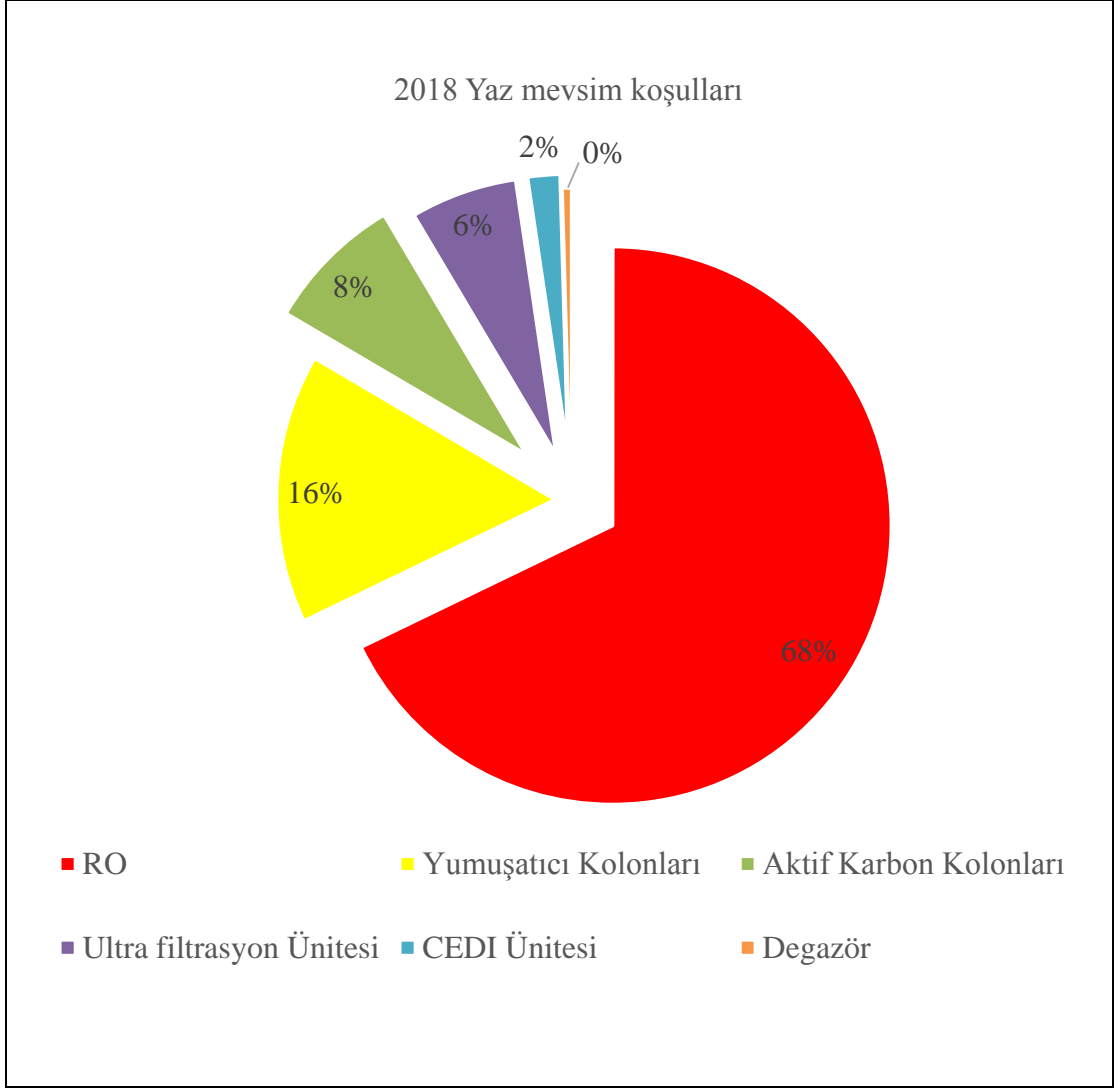
Yukarıdaki tabloda verilen ekserji kayıpları ve ekserji verimleri incelendiğinde prosesteki verimin en düşük olduğu ünitenin % 37.67 ile RO Ünitesi olduğu görülmüştür. Hesaplamalarla ilgili daha basit yorum yapılabilmesi amacıyla sistemdeki toplam ekserji kaybı Tablo 4.11’de belirtilmiştir. Literatür çalışmalarında tanımlanan ‘Grassmann Diyagramı’ aracılığıyla proseste yapılan ekserji analizi Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekil 4.2’de ise ekserji kayıp dağılımları gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Ekserji kayıp sıralaması.

Üniteler	Ekserji Kayıp Hızı (kW)	Ekserji Kayıp Hızı Yüzde Dağılımı (kW)
RO	3.751	67.84 %
Yumuşatıcı Kolonları	0.864	15.63 %
Aktif Karbon Kolonları	0.443	8.01 %
Ultra filtrasyon Ünitesi	0.342	6.19 %
CEDI Ünitesi	0.1045	1.89 %
Degazör	0.025	0.44 %
Toplam	5.5295	100.0 %



Şekil 4.1: Grassmann Diyagramı.



Şekil 4.2: Ekserji kayıp dağılımı.

4.4. 2018 Kış Dönemi Özet Akım Tablosu

Tezde çalışılan proses simülasyon modeli üzerinden kış aylarında sahadan alınan ölçümler kullanılarak model çözülmüştür.

Simülasyon çalışması kapsamında olan akımların sahadan alınan ölçümler ile iletkenlik, mol kesri, kütleli akış değerleri aynı olduğu görülmüş; sadece basınç ve sıcaklık değerleri farklılık gösterdiğinden entalpi, entropi, fiziksel ve kimyasal ekserji sonuçları özet akım tablosu olarak Tablo 4.12, Tablo 4.13, Tablo 4.14, Tablo 4.15, Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	502.8	502.7	502.7	502.7	502.7	502.7	502.7	452.8	452.8
Mol kesri	x	1.0	0.962	0.962	0.962	0.962	0.962	0.962	0.837	0.837
Basınç	bar	1.0	0.3	4.0	4.0	3.8	3.8	3.8	3.6	3.6
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	13.4	13.3	14.2	14.2	14.1	14.1	14.1	14.4	14.4
Kütlesel akış	kg/h	16020	16020	16020	16020	16020	8010	8010	7510	7510
Entalpi	kJ/kg	56.374	55887	60014	60014	59576	59576	59576	60814	60814
Entropi	kJ/kgK	0.201	0.1996	0.213	0.213	0.211	0.211	0.211	0.216	0.216
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	4.334	4013	4608	4608	5312	2656	2656	1964	1964
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	0	-0.0032	-0.0032	-0.0032	-0.0032	-0.0016	-0.0016	-0.0052	-0.0052
Toplam Ekserji Hızı	kW	4334	4.0098	4605	4605	5308	2655	2655	1959	1959

Tablo 4.13: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	10	11	12	13	14	15	16	17	18
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	452.8	452.8	452.8	312.8	312.8	452.8	-	-	-
Mol kesri	x	0.837	0.837	0.837	0.576	0.576	0.576	-	-	-
Basınç	bar	3.6	3.6	3.6	3.0	3.0	-	-	-	-
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	14.4	14.4	14.4	14.6	14.6	14.6	-	-	-
Kütlesel akış	kg/h	14020	7000	7000	6000	6000	20	20	10	10
Entalpi	kJ/kg	60.814	60.814	60.814	61.594	61.594	-	-	-	-
Entropi	kJ/kgK	0.216	0.216	0.216	0.219	0.219	-	-	-	-
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	3.667	1.831	1.831	1.379	1.379	-	-	-	-
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0097	-0.0048	-0.0048	-0.0061	-0.0061	-0.000029	-	-	-
Toplam Ekserji Hızı	kW	3.657	1.826	1.826	1.373	1.373	-	-	-	-

Tablo 4.14: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	19	20	21	22	23	24	25	26	27
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	312.8	312.8	424.1	424.1	424.1	424.1	424.1	11.4	11.4
Mol kesri	x	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576	0.142	0.142
Basınç	bar	2.0	1.8	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20	20
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	14.6	14.6	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Kütlesel akış	kg/h	12000	12000	12000	12000	5000	4000	3000	3000	3000
Entalpi	kJ/kg	61.498	61.479	64.943	64.943	64.943	64.943	64.943	64.895	64.895
Entropi	kJ/kgK	0.2186	0.2186	0.2242	0.2242	0.2242	0.2242	0.2242	0.2242	0.2242
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	2.836	2.773	8.757	8.757	3.649	2.919	2.189	2.149	2.149
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.0051	-0.0041	-0.0031	-0.0007	-0.0007
Toplam Ekserji Hızı	kW	2.826	2.763	8.747	8.747	3.644	2.915	2.186	2.148	2.148

Tablo 4.15: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	28	29	30	31	32	33	34	35	36
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	11.4	412.7	412.7	11.4	11.4	11.4	11.4	2.0	2.0
Mol kesri	x	0.142	0.434	0.434	0.142	0.142	0.142	0.142	0.115	0.115
Basınç	bar	20	20	20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Kütlesel akış	kg/h	3000	3000	2000	9000	3000	3000	3000	3000	3000
Entalpi	kJ/kg	64.895	64.895	64.895	63.173	63.173	63.173	63.173	63.164	63.164
Entropi	kJ/kgK	0.2242	0.2242	0.2242	0.2244	0.2244	0.2244	0.2244	0.2244	0.2244
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	2.149	2.149	1.433	1.994	0.6645	0.6645	0.6645	0.657	0.657
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0007	-0.0026	-0.0018	-0.002	-0.0007	-0.0007	-0.0007	-0.0005	-0.0005
Toplam Ekserji Hızı	kW	2.148	2.146	1.431	1.992	0.664	0.664	0.664	0.657	0.657

Tablo 4.16: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	37	38	39	40	41	42	43	44	45
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	2.0	2.0	2.0	2.0	0.06	0.06	0.06	1.94	1.94
Mol kesri	x	0.115	0.115	0.115	0.115	0.0001	0.0001	0.0001	0.115	0.115
Basınç	bar	1.9	1.3	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Kütlesel akış	kg/h	3000	3000	3000	3000	2670	2670	2670	1000	700
Entalpi	kJ/kg	63.164	63.106	63.106	63.106	63.078	63.078	63.078	63.049	63.049
Entropi	kJ/kgK	0.2244	0.2245	0.2245	0.2245	0.2245	0.2245	0.2245	0.2245	0.2245
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	0.657	0.584	0.584	0.584	0.499	0.499	0.499	0.179	0.125
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-0.0005	-0.00001	-0.00001	-0.00001	-1E-08	-1E-08	-1E-08	-2E-07	-2E-07
Toplam Ekserji Hızı	kW	0.657	0.584	0.584	0.584	0.499	0.499	0.499	0.179	0.125

Tablo 4.17: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	46	47	48	49	50	51	52	53	54
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.55	0.55	0.55	0.55
Mol kesri	x	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.001
Basınç	bar	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	3.2	3.2	3.2	3.2
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	15.0	15.0	15.2	15.2	15.2	16.0	16.0	16.0	16.0
Kütlesel akış	kg/h	8000	8000	8000	8000	8000	80000	40000	40000	40000
Entalpi	kJ/kg	63.078	63.078	63.906	63.906	63.906	67.476	67.476	67.476	67.476
Entropi	kJ/kgK	0.2245	0.2245	0.2274	0.2274	0.2274	0.2389	0.2389	0.2389	0.2389
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	1.495	1.495	1.414	1.414	1.414	17.32	8.66	8.66	8.66
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-3E-08	-0,00004	-0,00002	-0,00002	-0,00002
Toplam Ekserji Hızı	kW	1.495	1.495	1.414	1.414	1.414	17.32	8.66	8.66	8.66

Tablo 4.18: Akım değerleri.

Spesifikasyon	Birimler	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	0.55	0.55	0.55	0.55	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Mol kesri	x	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Basınç	bar	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	1.4	2.4	2.4	2.4	2.3
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	16.0	16.0	16.0	16.0	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
Kütlesel akış	kg/h	40000	40000	40000	40000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Entalpi	kJ/kg	67.467	67.467	67.467	67.467	75.431	75.26	75.355	75.355	75.355	75.345
Entropi	kJ/kgK	0.2389	0.2389	0.2389	0.2389	0.2664	0.2664	0.2664	0.2664	0.2664	0.2664
Fiziksel Ekserji Hızı	kW	8.782	8.66	8.66	8.66	1.199	0.819	1.03	1.03	1.03	1.008
Kimyasal Ekserji Hızı	kW	-2E-05	-2E-05	-2E-05	-2E-05	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07	-4E-07
Toplam Ekserji Hızı	kW	8.782	8.66	8.66	8.66	1.199	0.819	1.03	1.03	1.03	1.008

4.5. 2018 Kış Dönemi Özet Ekipman Tablosu

Yapılan çalışmada verilen Tablo 4.12, Tablo 4.13, Tablo 4.14, Tablo 4.15, Tablo 4.16, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de bulunan sonuçlar ve tezin 3.5.2 bölümünde anlatılan ekserji denkliği formülleri kullanılarak proseste yer alan ekipmanların ekserji dengeleri ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.19’da belirtilmiştir.

Tablo 4.19: Ekipman ekserji hızı sonuçları.

Üniteler	Ekserji Giriş Hızı (kW)	Ekserji Çıkış Hızı (kW)	Kayıp (kW)	Verim (%)
Ultra filtrasyon Ünitesi	4.334	4.0098	0.324	92.5
Aktif Karbon Kolonları	5.308	3.657	1.651	68.89
Yumuşatıcı Kolonları	3.657	2.826	0.831	77.27
RO	8.747	(1.992) + (2.146)	4.609	47.31
Degazör	1.992	3 x (0.657)	0.021	98.95
CEDI Ünitesi	3 x (0.584)	(1.495) + (0.179)	0.078	95.5

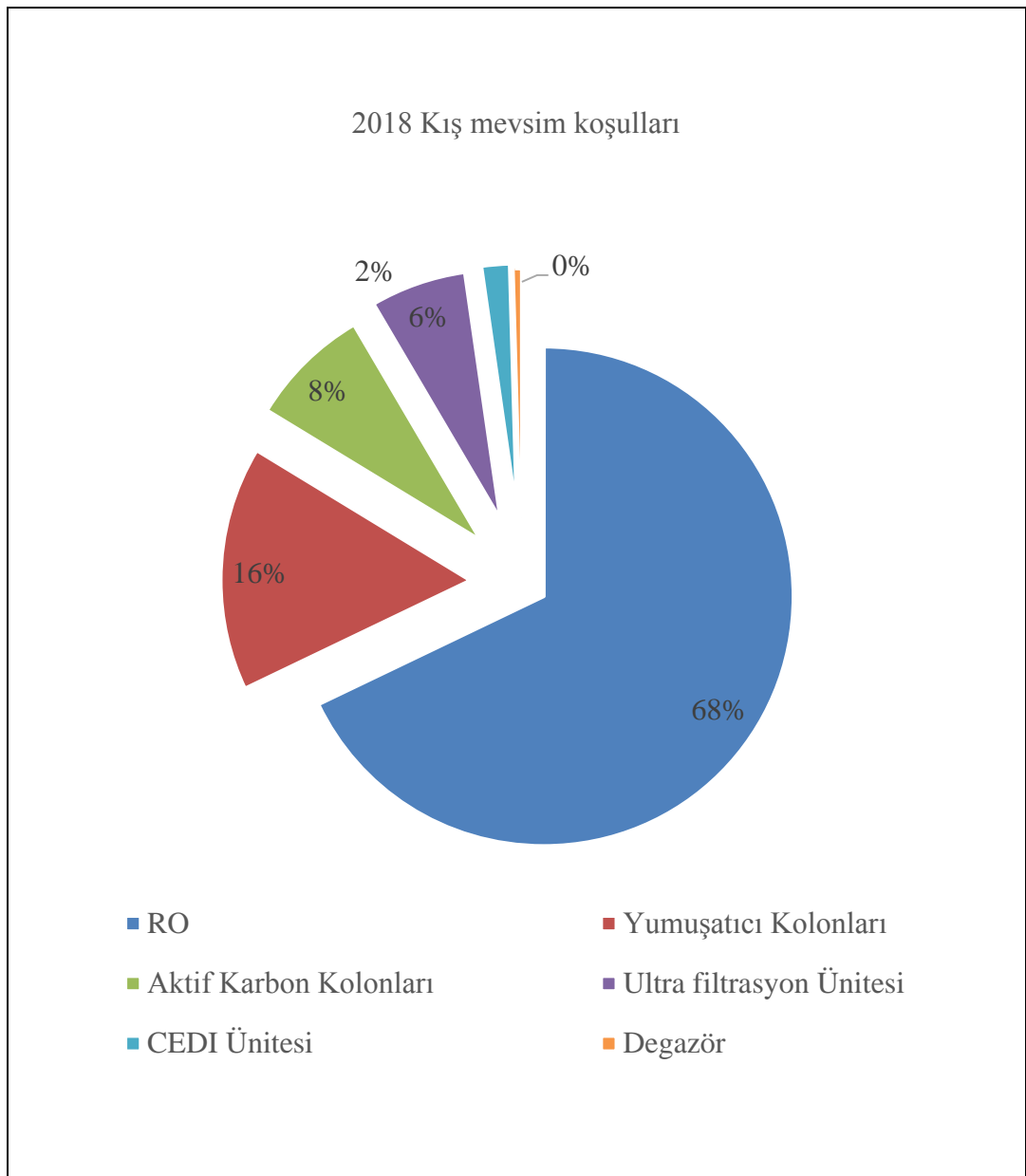
Yukarıdaki tabloda verilen ekserji kayıpları ve ekserji verimleri incelendiğinde yaz mevsiminde proseste en düşük verimli ünite olan RO Ünitesi’nin veriminin (% 37.67) kış mevsiminde % 47.31 olduğu görülmüştür. Hesaplamalarla ilgili daha basit yorum yapılabilmesi amacıyla sistemdeki toplam ekserji kaybı ve sisteme dağılımları Tablo 4.20’de ve Şekil 4.3’te belirtilmiştir. Literatür çalışmalarında tanımlanan ‘Grassmann Diyagramı’ aracılığıyla proseste yapılan ekserji analizi Şekil 4.4’te gösterilmektedir.

Tablo 4.20: Ekserji kayıp sıralaması.

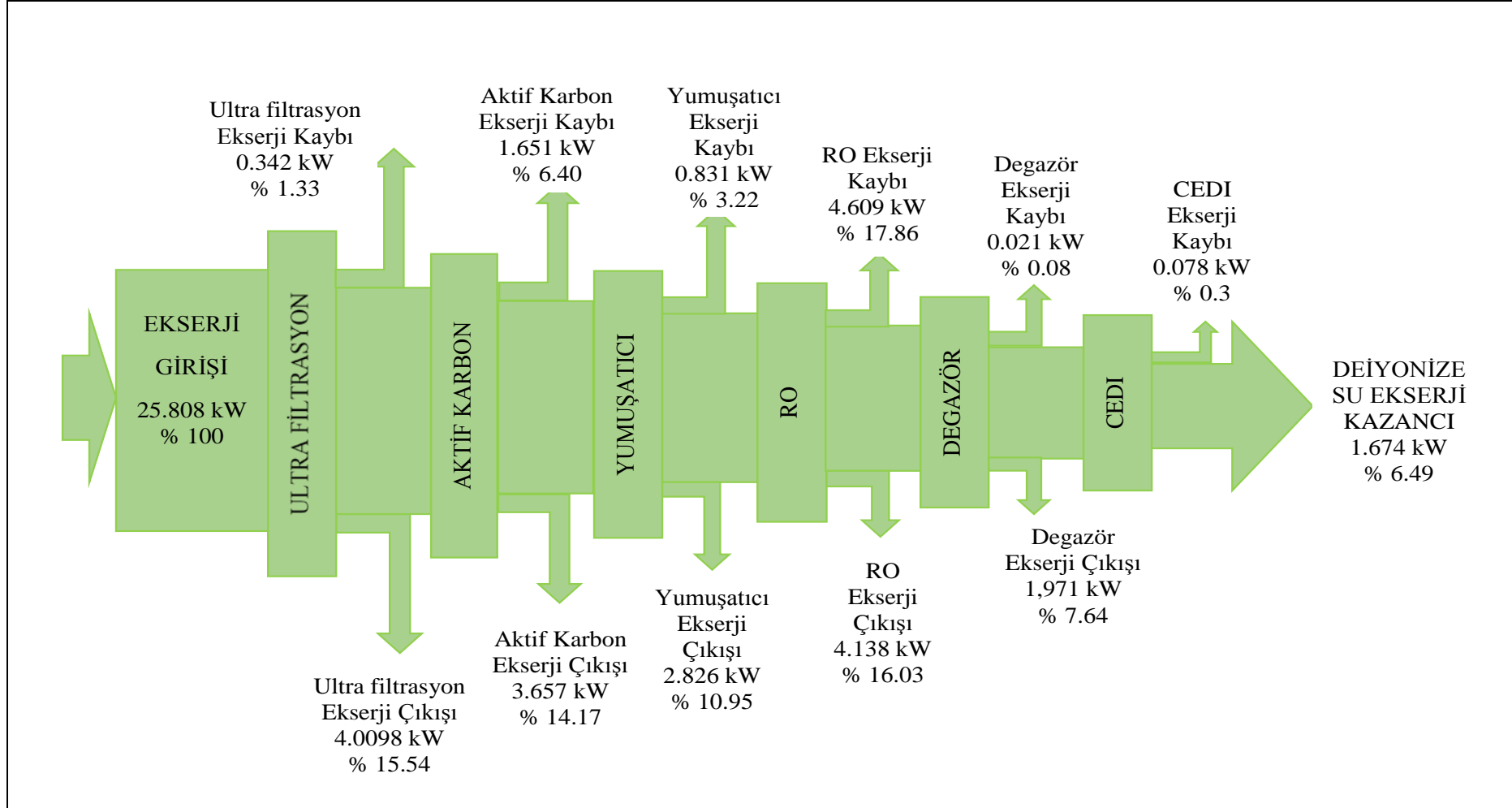
Üniteler	Ekserji Kayıp Hızı (kW)	Ekserji Kayıp Hızı Yüzde Dağılımı (kW)
RO	3.749	67.88 %
Yumuşatıcı Kolonları	0.874	15.82 %
Aktif Karbon Kolonları	0.433	7.84 %

Tablo 4.20: Devam.

Üniteler	Ekserji Kayıp Hızı (kW)	Ekserji Kayıp Hızı Yüzde Dağılımı (kW)
RO	3.749	67.88 %
Yumuşatıcı Kolonları	0.874	15.82 %
Aktif Karbon Kolonları	0.433	7.84 %
Ultra filtrasyon Ünitesi	0.342	6.19 %
CEDI Ünitesi	0.1	1.82%
Degazör	0.025	0.45 %
Toplam	5.523	100.0 %



Şekil 4.3: Ekserji kayıp dağılımı.



Şekil 4.4: Grassmann Diyagramı.

4.6. RO Ünitesi'nde Yaz-Kış Aylarındaki Hesaplanmış Akı Değerleri

Hesaplanmış akı (Corrected Flux) değeri, RO membranlarına gelen ham suyun iletkenliğinin RO membranlarından çıkan süzüntünün iletkenliğine oranının herhangi bir sıcaklıkta membranlara uygulanan yüksek basınç ile ilişkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu değer 1'e ne kadar yakın olursa membranların iletkenliği düşürmedeki performansı o kadar yüksek olmaktadır. Bu sayede membranların kullanım ömrü de uzamış olmaktadır. Hesaplanmış akının hesaplanmasında kullanılan formüller Ek C'de belirtilmiştir [25].

Prosesteki RO Ünitesi'nde anlık olarak ölçülen Hesaplanmış akı değerleri, 2018 yaz ile kış aylarındaki özet akım tabloları kullanılarak el ile tekrar hesaplanarak Tablo 4.21'de belirtilmiştir.

Tablo 4.21: Yaz ve Kış Ayları'nda Ölçülen Hesaplanmış Akı Değerleri

	Modül sayısı	Membran yüzey alanı (m ²)	Sistem iyileştirmesi	Corrected Flux
Yaz ayları	8	36	77 %	1.95
Kış ayları			75 %	1.90

5. OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI SONUÇLARI

Tez çalışması kapsamında yaz ve kış aylarında simüle edilen sistemler incelendiğinde, simülasyon programı kullanılarak kış aylarındaki değerlerle çalışılması hedeflenerek optimizasyonu yapılmıştır.

Optimizasyon kapsamında sadece Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması Simülasyon Modeli üzerinden parametrik optimizasyon yapılmıştır. Deiyonize su çekişlerinin tesis ihtiyacını karşılayacak şekilde ayarlanması ve bu ayarın optimizasyona açık olmaması nedeniyle Üretim Sistemi ile Depolama ve Dağıtım Sistemleri optimizasyon kapsamına alınmamıştır.

Optimizasyon çalışmasında,

- Programa sistemin genel ekserji dengesini hesaplayacak formül girilerek optimizasyonda hangi parametrelerin değiştirilebileceği,
- Bu değişkenlerin hangi limitlerde değiştirilebileceği ve
- Sistemdeki hangi parametrelerin limitleneceği

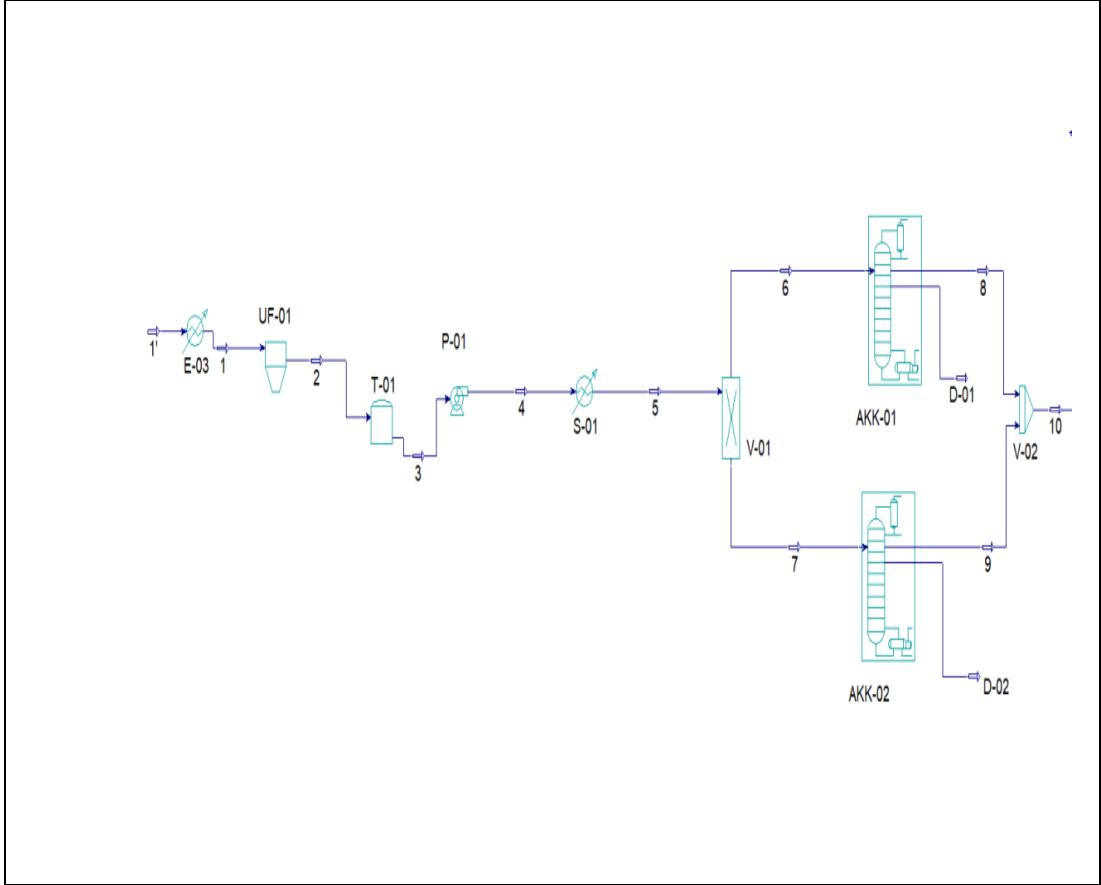
programa tanıtılarak belirtilmiştir.

5.1. Optimize Edilen Sistemin Simülasyonu

Tezin önceki bölümlerinde prosesi oluşturan tüm ekipmanlar simüle edilirken optimizasyon amacıyla simüle edilen sistem sadece Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması'nı kapsamaktadır. Bu proste ek olarak şebeke suyunun sıcaklığını ilk aşamada düşürmeyi sağlayan 1 adet eşanjör bulunmaktadır.

Simülasyon programında dizayn edilen sistem Şekil 5.1'de verilmektedir.

Simülasyon çalışması yapılırken 4.4 bölümünde ekserji analizi yapılan sistemde kullanılan parametreler aynı şekilde girilmiş ve devamında programın hangi parametreleri kullanarak optimizasyon yapacağı belirlenmiştir.



Şekil 5.1: Optimize edilen sistemin akış diyagramı.

5.2. Optimizasyonda Kullanılan Parametreler ve Özellikleri

Yapılan optimizasyon çalışması için programda bulunan optimizasyon paketi kullanılmadan 4.4 bölümünde daha önceden girilen değerler baz alınmıştır. Optimizasyonda kullanılan proses parametreleri ve özellikleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1: Optimizasyonda kullanılan proses parametreleri.

Parametre	İsim	Tanım	Birim
1'	CWF	Şebeke suyu debisi	l/h
	CWIT	Şebeke suyu giriş sıcaklığı	°C
2	RWT	Ham su sıcaklığı	°C
E-03	C01F	Soğutma suyu debisi	l/h
	C01IP	Soğutma suyu giriş basıncı	bar

Tablo 5.2: Optimizasyonda kullanılan özellikler.

Özellik	İsim	Tanım	Birim
1'	CWIE	Şebeke suyu giriş entalpisi	kJ/kg
	CWIE'	Şebeke suyu giriş entropisi	kJ/kgK
E-03	C01IE	Soğutma suyu giriş entalpisi	kJ/kg
	C01IE'	Soğutma suyu giriş entropisi	kJ/kgK
	C01OE	Soğutma suyu çıkış entalpisi	kJ/kg
	C01OE'	Soğutma suyu çıkış entropisi	kJ/kgK

5.3. Optimizasyonun Amaç Fonksiyonu

Tablo 5.1'te belirtilen parametreler kullanılarak optimize edilen sistem amaç fonksiyonu olarak tanıtılmıştır. Tezin Ek A bölümünde belirtilen denklemler kullanılarak RO Ünitesi'ndeki ekserji verimi tekrar hesaplanmıştır.

5.4. Optimizasyonun Kullanılan Kısıtlamalar

Amaç fonksiyonu olarak maksimize edilen değerler optimizasyon programına tanıtılırken aynı zamanda fonksiyon sonucunu kısıtlayan parametreler de tanıtılmıştır.

Tablo 5.3'te optimizasyonda kullanılan kısıtlamalar belirtilmiştir.

Tablo 5.3: Optimizasyonda kullanılan kısıtlamalar.

Kısıtlayıcı	İşlem	Değer
Şebeke suyu debisi	Büyük veya eşittir	16000 l/h
Ham su tankı çıkış basıncı	Eşittir	4 bar

Optimizasyon için belirlenen kısıtlayıcılar, proseste ekserji kaybının en çok görüldüğü RO membranlarının veriminin artırılması kapsamında Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması'ndaki alarm ve çalışma limit değerlerine göre baz alınarak belirlendi.

5.5. Optimizasyon Değişkenleri

Proses optimizasyonunda amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar olarak giriş yapılan

değerler girildikten sonra en önemli bölüm olan değişkenlerin ne olduğu ve değişkenlerin hangi aralıklarda değiştirilebileceğinin tanımları yapılmıştır.

Tablo 5.4'te prosese ait optimizasyon değişkenleri belirtilmiştir.

Tablo 5.4: Optimizasyon değişkenleri.

Değişken Adı	Birim	Alt Limit	Üst Limit
Şebeke suyu son sıcaklığı	°C	8	13
Şebeke suyu giriş basıncı	bar	1	3.5
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	°C	5	11

5.6. Optimizasyon Sonuçları

Tezin optimizasyon bölümü olarak belirtilen 2018 Kış Özet Akım Tablosu ile bu bölümde açıklanan amaç fonksiyonu, kısıtlayıcılar ve değişkenler yardımıyla RO Ünitesi'ndeki ekserji verimi maksimize edilmiştir. Optimizasyon öncesi hesaplanan ekserji verimi % 37.67 olarak gerçekleşmişken optimizasyon sonrası bu verim % 47.31'e yükselmiştir. Aynı zamanda Aktif Karbon Kolonları hariç diğer ünitelerdeki verimlerin hepsinde artış olduğu görülmüştür.

6. GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında bir ilaç fabrikasındaki 7/24 çalışan Deiyonize Su Üretim Tesisi'nin simülasyon modeli çıkarılmış ve bir proses simülatör program kullanılarak proses simülasyonu yapılmıştır. Sahadan alınan ölçümler ile programa giriş yapılmıştır. Bu değerler sonucu programdan alınan entalpi, entropi gibi özellikleri doğrulamak amacıyla sistemin kütle, enerji ve ekserji denklilikleri el ile tekrar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar arasında fark bulunmadığından simülasyon programından elde edilen verilerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Simülasyon çalışmasının ve ilgili denkliliklerin çıkartılmasının ardından bütün akımların 2018 yaz mevsim koşullarına göre fiziksel ve kimyasal özelliklerinin olduğu özet akım tabloları hazırlanmıştır. Bu özellikler kullanılarak bütün ekipmanların enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. RO Ünitesi ve Yumuşatıcı Kolonları hariç tüm ekipmanların verimleri % 75 - % 97 arasında hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji ve ekserji verimleri kıyaslanarak aralarında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucu enerji ve ekserji verimi arasında bir korelasyon olmadığı görülmüştür.

Ekserji kaybı hesabı yapılan sistemde toplamda 5.53 kW ekserji kayıp hızı olduğu hesaplanmıştır. RO Ünitesi 3.751 kW ile ekserji kayıp hızının % 68'ini oluşturmuştur. Sisteme toplam giren, sistemden kaybedilen ve sistemden çekilen toplam ekserji hızının dağılımı Grassmann Diyagramı gösterimi ile belirtilmiştir.

Simülasyon çalışması 2018 kış mevsim koşullarına göre sahadan alınan ölçümlerle tekrarlanmıştır. Bu özellikler kullanılarak bütün ekipmanların ekserji verimleri yeniden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Aktif Karbon Kolonları hariç tüm ekipmanların verimlerinin arttığı görülmüştür. Yaz mevsim koşullarında performansı en düşük ünite olan RO Ünitesi'nin veriminin % 38'den % 47'ye çıkarıldığı görülmüştür. Ayrıca membranların performansının bir ölçüsü olan Corrected Flux değeri de 1.95'ten 1.90'a çekilmiştir.

Sistemde yapılan iyileştirme açısından yapılan değişiklik prosesin sürekli olarak kış mevsim koşullarına göre çalıştırılmasının istenmesidir. Bu amaçla Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması'nın önüne 1 adet soğutucu eşanjör konularak şebeke suyu sıcaklığı düşürülmüştür. İstenilen koşulların elde edilmesiyle sistemin devamında yer alan 4 adet soğutucu eşanjörün devre dışı bırakılması sağlanmıştır.

Enerji ve ekserji analizlerinin yapılmasının ardından sistemin ekserji verimi açısından optimizasyonu kış mevsim koşullarına göre yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin başlangıcında yer alan Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması ele alınarak optimizasyon çalışması için simülatör programı ile öncelikle şebeke suyu giriş değerleri tekrar modellenmiştir. Optimizasyonda ilk adım olarak amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Ekserji veriminin maksimizasyonu amaç fonksiyonu olarak seçilmiş ve ardından optimizasyonda kullanılacak değişkenler ve kısıtlayıcılar belirtilmiştir. Optimizasyon öncesinde % 38 olan ekserji verimi % 47'ye yükseltilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (2018), <http://www.vatekcevre.com/blog/endustriyel-su-aritma-sistemlerinden-saf-su-nedir-ne-ise-yarar>, (Erişim Tarihi: 14/09/2018).
- [2] ISPE, (2011), Approaches to Commissioning and Qualification of Pharmaceutical Water and Steam Systems, International Society for Pharmaceutical Engineering.
- [3] Xianli W. U., Yangdong H. U., Lianying W. U., Hong L. I., (2014), “Model and design of cogeneration system for different demands of desalination water, heat and power production”, Chinese Journal of Chemical Engineering, 22 (3), 330-338.
- [4] Yaylacı Ç., (2015), “Konvansiyonel ve Atık Isı Kazanlarında Buhar Üretimi Sürecinin Enerji ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [5] Web 2, (2018), <https://www.edqm.eu/en/european-pharmacopoeia-ph-eur-9th-edition>, (Erişim Tarihi: 19/09/2018).
- [6] Web 3, (2018), <http://pdf.directindustry.com/pdf/pall/pall-aria-lt-series/12558-259935.html#open>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [7] Web 4, (2018), <https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/LI6EPME4-aktif-karbon-kolon-adsorbsiyonu.pdf>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [8] Web 5, (2018), <https://www.rosuaritma.com/blog/su-aritma-cihazı-ve-aktif-karbon-teknolojisi-5227>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [9] Web 6, (2018), <https://www.indiamart.com/proddetail/activated-carbon-filter-7801791830.html>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [10] Web 7, (2018), <http://proses-tim.com/medya/su-kimyasi.pdf>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [11] Web 8, (2018), <https://www.veoliawatertechnologies.co.uk/products/ionsoft-softener>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [12] Web 9, (2018), <http://www.evseluaritma.com/more.html>, (Erişim Tarihi: 23/09/2018).
- [13] Web 10, (2018), <http://www.millennium-filters.com/pall.html>, (Erişim Tarihi: 26/09/2018).
- [14] Web 11, (2018), <https://www.ekinendustriyel.com/paslanmaz-tank-nedir/>, (Erişim Tarihi: 26/09/2018).

- [15] Mulder M. H. V., (1996), “Basic Principles of Membrane Technology”, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers.
- [16] Web 12, (2018), <http://kalehavuz.com/portfolio-item/ters-osmoz-sistemleri/>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [17] Web 13, (2018), <https://slideplayer.com/slide/7010595/>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [18] Web 14, (2018), <http://westerntechvn.com.vn/cong-nghe-khu-oxi-cho-nuoc-cap-xu-ly-nuoc-thai.htm>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [19] Web 15, (2018), <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [20] Web 16, (2018), <https://www.sateksuaritma.com/20-ultraviyole-lamba>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [21] Web 17, (2018), <https://www.gea.com/tr/products/storage-transportation-vessels.jsp>, (Erişim Tarihi: 27/09/2018).
- [22] Web 18, (2018), https://www.gea.com/en/productgroups/pumps_valves/index.jsp, (Erişim Tarihi: 29/09/2018).
- [23] Web 19, (2018), <https://teknolojiprojeleri.com/teknik/esanjor-nedir-nasil-calisir-ne-ise-yarar>, (Erişim Tarihi: 29/09/2018).
- [24] Web 20, (2018), <http://gebkim.org.tr/iletisim.html>, (Erişim Tarihi: 06/10/2018).
- [25] VWT, (2012), Orion II 500-10000 Operators Manuel Part No: DOMAON0100 Issue F, Veolia Water Technologies.
- [26] Szarjut J., Morris D. R., Steward F. R., (1988), “Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes”, 1st Edition, United States.
- [27] Perry R. H., (2000), “Perry’s Chemical Engineers Handbook”, 8th Edition, McGraw-Hill.

ÖZGEÇMİŞ

Yiğit KÜPÇÜ 1987 İzmit doğumludur. 2006 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Kimya Bölümü'nden 2012 yılında lisans diplomasını almıştır. 2016 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2014 yılından beri ilaç sektöründe sırasıyla Kalite Kontrol Analisti, Proje Proses Kalite Sorumlusu, Proses Sorumlusu olarak görev almış ve şu anda yine ilaç sektöründe Yarı Katı Form Üretim Sorumlusu olarak çalışmaktadır.

EKLER

Ek A: Kütle, Enerji ve Ekserji Denkliği ile Hesaplamaları

Simülasyon programı kullanılarak prosesin model simülasyon modeli oluşturulmuş ve sahadan alınan değerler kullanılarak kütle ve enerji denklikleri program tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Tez kapsamında kütle ve enerji denklikleri el ile tekrar hesaplanmıştır. Ekserji değerleri proses simülasyon programında hesaplanan entalpi ve entropi değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ekserji değerleri kullanılarak ekserji verimleri ve kayıpları hesaplanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde ise kütle, enerji ve ekserji ile ilgili yapılan hesaplamalara yer verilmiştir.

Ek A1. Kütle Denkliği

• Besleme Sistemi-Ön Hazırlık Aşaması Kütle Denkliği

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 \quad (A1.1)$$

$$m_5 = m_6 + m_7 \quad (A1.2)$$

$$m_6 = m_8 + D-01 \quad (A1.3)$$

$$m_7 = m_9 + D-02 \quad (A1.4)$$

$$m_8 + m_9 = m_{10} \quad (A1.5)$$

• Deiyonize Su Üretim Sistemi Kütle Denkliği

$$m_{10} = m_{11} + m_{12} + m_{15} \quad (A1.6)$$

$$m_{11} = m_{13} + D-03 \quad (A1.7)$$

$$m_{12} = m_{14} + D-04 \quad (A1.8)$$

$$m_{13} + m_{14} = m_{19} = m_{20} \quad (A1.9)$$

$$m_{20} = m_{21} = m_{22} \quad (A1.10)$$

$$m_{22} = m_{23} + m_{24} + m_{25} = m_{29} + m_{31} \quad (A1.11)$$

$$m_{29} = m_{30} + D-05 \quad (A1.12)$$

$$m_{31} = m_{32} + m_{33} + m_{34} = m_{35} + m_{36} + m_{37} \quad (A1.13)$$

$$m_{35} + m_{36} + m_{37} = m_{38} + m_{39} + m_{40} \quad (A1.14)$$

$$m_{38} + m_{39} + m_{40} = m_{44} + m_{46} \quad (A1.15)$$

$$m_{44} = m_{45} + D-06 \quad (A1.16)$$

$$m_{46} = m_{47} = m_{48} = m_{49} = m_{50} \quad (A1.17)$$

• Deiyonize Su Depolama ve Dağıtım Sistemi Kütle Denkliği

$$m_{51} = m_{52} + m_{56} \quad (A1.18)$$

$$m_{56} = m_{57} = m_{58} \quad (A1.19)$$

$$m_{52} = m_{53} = m_{54} = m_{55} \quad (A1.20)$$

$$m_{59} = m_{60} = m_{61} = m_{62} = m_{63} = m_{64} \quad (A1.21)$$

Ek A2. Enerji Denkliği

• Filtrelerin/Membranların Enerji Denkliği

Mekanik enerji dengesi;

$$\Delta E + \Delta E_p + \Delta H = Q + W \quad (A2.1)$$

Bu denklemde kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilirse;

$$\Delta H = Q + W \quad (\text{A2.2})$$

Filtrelerde/membranlarda iş yapılmadığı kabul edilirse;

$$\Delta H = Q \quad (\text{A2.3})$$

Tez kapsamında filtre/membran giriş ve çıkışlarındaki suyun özellikleri bilinmekte olup bu değerler kullanılarak hesaplamalar yapılabilmektedir.

Filtre/membran giriş ve çıkışlarındaki suyun entalpisini ve entropisini hesaplamak için “Perry’s Chemical Engineering Handbook”ta verilen cp tabloları kullanılmıştır.

$$\Delta H = m \text{ cp } T \quad (\text{A2.4})$$

• Besleme Suyu ve Deiyonize Su Besleme Pompaları Enerji Denkliği

Mekanik enerji dengesi;

$$\Delta E + \Delta E_p + \Delta H = Q + W \quad (\text{A2.5})$$

Bu denklemde kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilirse;

$$\Delta H = Q + W \quad (\text{A2.6})$$

Pompalardan ortama ısı kaybı olmadığı kabul edilirse;

$$\Delta H = W \quad (\text{A2.7})$$

$$m (H_{\text{son}} - H_{\text{ilk}}) = W \quad (\text{A2.8})$$

Pompaların verimleri sabit % 92 alınarak yukarıda hesaplanan shaft gücünden motor gücüne geçildi.

$$W_a = \frac{W_s}{\eta} \quad (\text{A2.9})$$

Ek A3. Ekserji Denkliği

Bu bölümde tezin esas amaçlarından biri olan ekserji dengesi için kullanılan formüller verilmiştir. Ekserji denkliğinde simülasyon programının hesapladığı entalpi ve entropi değerleri kullanılmıştır.

Sistemde kullanılan akışkanların toplam ekserjisi aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir.

$$E = E^{PH} + E^{CH} + E^{PT} + E^{KN} \quad (A3.1)$$

- E^{PH} : Fiziksel ekserji
- E^{CH} : Kimyasal ekserji
- E^{PT} : Potansiyel enerji
- E^{KN} : Kinetik enerji

Tez kapsamında kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilmiştir. Kararlı hal ekserji dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$E_0 - E_i + E_q - W - E_D = 0 \quad (A3.2)$$

- E_0 : Çıkış akışkanındaki ekserji
- E_i : Giriş akışkanındaki ekserji
- E_q : Çevreyle yapılan ısı transferinden kaynaklanan ekserji
- W : Ekipmanın yaptığı iş
- E_D : Yok edilen ekserji

Fiziksel ekserjinin hesaplanmasında kullanılan formül ise;

$$E^{PH} = m [(h - h_0) - T_0 (S - S_0)] \quad (A3.3)$$

Yukarıdaki formülde kullanılan h_0 , T_0 , ve S_0 değerleri referans seçilen çevre koşullarındaki parametrelerdir. Tez kapsamında çevre sıcaklığı 25 °C ve çevre basıncı 1 atm olarak alınmıştır.

Akışkanın sahip olduğu basınç ve sıcaklığa bağlı olan özellikler fiziksel ekserji olarak tanımlanırken akışkanın bileşimi ile ilgili olan özellikler ise kimyasal ekserji olarak tanımlanır.

Kimyasal ekserji denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$E^{CH} = m [xE_x^{CH} + RT_0 x \ln x] \quad (A3.4)$$

Bu denklemde;

- x : Mol fraksiyonu
- R : İdeal gaz sabiti
- T_0 : Referans sıcaklığı
- E^{CH} : Toplam kimyasal ekserji

Tez kapsamında simüle edilen sistemde kimyasal reaksiyon olmadığı için maddelerin kimyasal ekserjileri 0 olarak kabul edilmiştir. Proseste yer alan karışımların ekserjileri ise yukarıdaki formülden el ile hesaplanmıştır.

Ek B: Proseste Kullanılan Seyyar İletkenlik Cihazı

Proseste yer alan besleme suyu/ham su/deiyonize su iletkenlik değerleri, numune alma noktalarından Şekil B1.1'deki Hach Lange Seyyar İletkenlik Cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil B1.1: Hach Lange Seyyar İletkenlik Cihazı.

Ek C: Hesaplanmış Akı Değeri'nin Hesaplaması

Hesaplanmış Akı Değerleri, aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır:

$$- CF = \frac{QP}{MA \times AP} \quad (C1.1)$$

$$- QP = \frac{FS4}{TCF} \quad (C1.2)$$

$$- AP = \frac{PS1+PS2}{2} - AOP \quad (C1.3)$$

$$- TCF = [0.35 + (0.026 \times TS4)] \quad (C1.4)$$

$$- AOP = CS1 \times \frac{1 + \frac{1}{1-ROR1}}{4147} \quad (C1.5)$$

Yukarıda belirtilen formüllerde yer alan ifadeler için gerekli açıklamalar aşağıda belirtilmiştir:

- AOP: Ortalama osmotik basınç (bar)
- AP: Ortalama çalışma basıncı (bar)
- CF: Hesaplanmış akı (l/h.m².bar)
- CS1: RO giriş iletkenliği (μS/cm)
- FS4: RO ara akışı (l/h)
- MA: Membran yüzey alanı (m²)
- PS1: RO besleme basıncı (bar)
- PS2: RO konsantre basıncı (bar)
- QP: Hesaplanmış ara akışı (l/h)
- TCF: Sıcaklık düzeltme faktörü
- TS4: Ara tank sıcaklığı
- ROR1: RO % iyileştirmesi (0'dan % 100'e veya 0'dan 1.0'a)