

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKO-YENİLİKÇİ ENTEGRE MEMBRAN SİSTEMLERİYLE
DENİZ SUYUNDAN EKONOMİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
İÇME SUYU ÜRETİMİ

DUYGU TOPALOĞLU
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKO-YENİLİKÇİ ENTEGRE MEMBRAN
SİSTEMLERİYLE DENİZ SUYUNDAN
EKONOMİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
İÇME SUYU ÜRETİMİ

DUYGU TOPALOĞLU
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ.DR. COŞKUN AYDINER

GEBZE
2018

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

**ECONOMIC AND SUSTAINABLE DRINKING
WATER PRODUCTION FROM SEAWATER WITH
ECO-INNOVATIVE INTEGRATED
MEMBRANE SYTEMS**

DUYGU TOPALOĞLU
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. COŞKUN AYDINER

GEBZE

2018

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30/05/2018 tarih ve 2018/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/06/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Duygu Topaloğlu'nun tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

Doç. Dr. Coşkun AYDINER

ÜYE :

Prof. Dr. Salim ÖNCEL

ÜYE :

Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN

ÜYE :

Doç. Dr. Yasemin KAYA

ÜYE :

Doç. Dr. Derya Yüksel İMER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışmada; ileri osmoz prosesiyle tatlı sulardan su temini ve arıtılmış evsel atıksulardan su geri kazanımı sağlanarak İleri osmoz/Membran distilasyon (İO/MD) sisteminde deniz suyu konsantresi üretmeksizin, tek başına MD prosesinin etkinliğinin teknik ve ekonomik olarak artırılması amaçlanmıştır.

İO/MD sisteminin farklı besleme suları (göl suyu, yeraltı suyu ile II. ve III. evsel arıtma çıkış suları) için teknik performansları, lab-pilot ölçekli sistemde sürekli işletimlerle tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda, I.İO'da deniz suyu, farklı besleme sularıyla önce seyreltilmiş, sonrasında seyreltilmiş deniz suyu MD proseste işlenerek içme suyu eldesi sağlanmıştır. MD konsantresi, I.İO konsantre beslemesi ile, ya II.İO proseste işlenerek ya da arıtma çıkış sularıyla doğrudan karıştırılarak, deniz suyu tuzluluk seviyesine seyreltilmiştir. Bu sayede, tatlı su kaynaklarından çekilecek suların, sistemde temiz su üretimine dahil edilerek denize deşarjla kaybı önlenmiş, arıtılmış evsel sular ise I.İO sonrası sistem dışına alınarak denize deşarj edileceği kabul edilmiştir.

Elde edilen teknik performanslar proses modelleme ve maliyet analiz yazılımında gerçek ölçeğe benzeştirilerek, İO/MD sistemine ait farklı senaryoların tekno-ekonomik uygulanabilirlikleri incelenmiştir. İO prosesi ile seyreltilmiş deniz suyu MD proseste kullanıldığında, proses daha yüksek su akısıyla işletilmiştir. İO/MD sistemi tatlı kaynak sularıyla beslendiğinde, birim su arıtma maliyetinin iyileştirilebildiği belirlenmiştir. Ancak, sistem arıtılmış evsel sularla beslendiğinde, herhangi bir ekonomik iyileşmenin elde edilemeyeceği tespit edilmiştir. Deniz suyundan içme suyu eldesinde MD prosesi, seyreltme amaçlı harici tatlı su kaynağı kullanılan İO prosesle birleştirilerek, denize deşarj konsantre akım üretmeksizin, tekno-ekonomik olarak başarıyla uygulanabilmektedir. Son olarak MD ve İO/MD desalinasyon tesislerinin analitik hiyerarşi prosesiyle teknik ekonomik ve çevresel kriterler dikkate alınarak en uygun desalinasyon tesislerinin seçimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İleri Osmoz, Membran Distilasyon, İçme Suyu Üretimi, Eko-Yenilikçi Deniz Suyu Desalinasyonu, Çevresel Maliyet Analizi.

SUMMARY

In this study, it was aimed to increase the efficiency of MD process technically and economically without generating seawater concentration with forward osmosis/membrane distillation (FO/MD) process by providing water from fresh waters and gained of treated wastewaters with FO process.

Technical performances of the FO/MD system for different feed waters (lake water, groundwater and treated domestic wastewaters) were determined by operation in lab-pilot scale system. Seawater was diluted with feed waters in I.FO, then diluted seawater was processed in MD to produced drinking water. The MD concentrate was diluted to the seawater salinity either diluting with concentrated feed stream of I.FO in II.FO or mixing with treated wastewaters.

The technical performances of FO/MD process was simulated to the real scale in process modeling and cost analysis software to investigate the techno-economic feasibility of the systems. When the seawater diluted with the FO process is treated with MD, the process is operated with higher water flux. It has been determined that when the FO/MD system is fed with fresh water, unit treatment cost can be improved. However, when the system was fed with treated wastewaters, it was determined that no economic improvement could be obtained. Drinking water production can be successfully applied techno-economically without generating seawater concentrate by combining MD with FO process using external fresh water sources for dilution. Finally, the selection of the most appropriate desalination plants has been made taking into account the technical economical and environmental criteria with analytical hierarchy process of MD and FO/MD desalination plants.

Key Words: Forward Osmosis, Membrane Distillation, Drinking Water Production, Eco-Innovative Seawater Desalination, Environmental Cost Analyses.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının oluşmasının yolunu açan ve tez çalışmam boyunca bilgi birikimi ve yardımlarıyla tezimde yol gösteren saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Coşkun AYDINER'e,

Tez çalışmam süresince deniz suyu, yeraltısuyu, göl suyu ve arıtma çıkış suları temini ile metal analizlerinde yardımcı olan ve aynı zamanda tez izleme komitesi üyesi olarak tez çalışmamı yakından izleyen Prof. Dr. Salim ÖNCEL'e

Tez izleme komitesi üyesi olarak tez çalışmamı yakından izleyen Doç. Dr. Esra Can DOĞAN'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda geri yıkama ve su kalitesi analizlerinde yardımcı olan proje çalışma arkadaşım Şeyda Aksu'ya, maliyet hesaplarında bilgi ve deneyimleriyle yardımcı olarak SuperPro Designer programını kullanmamda yardımcı olan Yasemin Melek Tilki'ye, metal analizlerinde yardımcı olan proje çalışma arkadaşım Tuğba Nur Yılmaz'a,

Bu tezin deneysel çalışmaları, 111Y279 numaralı ve “İleri Osmoz/Direk Temas Membran Distilasyon Bütünleşik Membran Sistemi ile Deniz Suyundan İçme Suyu Eldesinin Tekno Ekonomik Analizi” başlıklı TÜBİTAK Projesi kapsamında gerçekleştirilmiş çalışmalardan elde edilmiş sonuçlardan üretilmiş olup; bu tezin oluşmasında finansal olarak destek olan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince beni destekleyen ve karşılaştığım zorluklarda beni motive eden sevgili arkadaşım Banu Nazlı Kerimoğlu'na çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi ve manevi desteğini esirgemeyerek her zaman yanımda olan ve tez çalışmam süresince de beni destekleyerek motive eden ve güçlendiren canım anneme ve canım babama teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Kapsam	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1. Deniz Suyu Desalinasyonu	4
2.1.1. Mevcut Durum ve Teknolojik Gelişmeler	4
2.1.2. Desalinasyon Konsantreleri	9
2.1.3. Desalinasyon Ekonomisi	12
2.2. İleri Osmoz Prosesi	13
2.2.1. Membran Kirlenmesi ve Temizleme	15
2.2.2. Deniz Suyu Arıtımı Uygulamaları	17
2.2.3. Su ve Atıksu Arıtımında Uygulamalar	19
2.2.4. Proses Ekonomisi	20
2.3. Membran Distilasyon Prosesi	21
2.3.1. Membran Distilasyon Teknolojileri	23
2.3.1.1. Direkt Temas Membran Distilasyonu (DTMD)	24
2.3.1.2. Hava Boşluklu Membran Distilasyonu (HBMD)	25
2.3.1.3. Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu (SGMD)	25
2.3.1.4. Vakum Membran Distilasyonu (VMD)	26
2.3.1.5. Sıvı Boşluklu Membran Distilasyonu	26
2.3.1.6. Termostatik Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu	26
2.3.2. Deniz Suyu Arıtımı Uygulamaları	27

2.3.3. Su ve Atıksu Arıtımında Uygulamalar	29
2.3.4. Membran Kirlenmesi ve Temizleme	30
2.3.5. Proses Ekonomisi	31
2.4. Literatür Değerlendirmesi	33
3. MATERYAL ve METOD	36
3.1. Deniz Suyu ve Besleme Suları	36
3.2. Membranlar ve Özellikleri	37
3.3. Analitik Yöntemler	38
3.4. Deneysel Çalışma Düzeneği ve Çalışma Esasları	40
3.5. Proses Performans Hesaplamaları	42
3.5.1. İleri Osmoz Performans Hesaplamaları	42
3.5.2. Membran Distilasyon Performans Hesaplamaları	43
3.6. Saha Ölçeğe Benzeştirme ve Sistem Tasarımları	44
3.6.1. MD Proses Senaryoları	46
3.6.2. İO/MD Yenilikçi Entegre Sistem Senaryoları	47
3.6.2.1. Tatlı Su Kaynağı Beslemeli İO/MD Senaryoları	47
3.6.2.2. Evsel Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli MD ve İO/MD Senaryoları	51
3.7. Maliyet Hesaplamaları	54
3.7.1. Karbon Maliyetinin Hesaplanması	56
3.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tercih Edilebilirlik Analizi	57
3.8.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinde Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi	60
3.8.2. MD ve Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinde Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi	63
3.8.3. Kriterlerin Önceliklerinin Sınıflamaları	64
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	66
4.1. Tatlı Su Kaynağı Beslemeli İO/MD Sisteminin Sürekli İşletimine Ait Deneysel Sonuçlar	66
4.1.1. İleri Osmoz Deneyleri	66
4.1.1.1. Deniz Suyunu Yeraltısuyu ile Seyreltme	66
4.1.1.2. Deniz Suyunu Göl Suyu ile Seyreltme	70
4.1.2. Membran Distilasyonu Deneyleri	71

4.1.2.1. Ham Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi	71
4.1.2.2. Yeraltısuyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi	71
4.1.2.3. Göl Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi	71
4.2. Kentsel Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Sisteminin Sürekli İşletimine Ait Deneysel Sonuçlar	75
4.2.1. İleri Osmoz Deneyleri	75
4.2.1.1. Deniz Suyunu II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyreltme	75
4.2.1.2. Deniz Suyunu III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyreltme	79
4.2.2. Membran Distilasyon Deneyleri	80
4.2.2.1. Ham Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi	80
4.2.2.2. II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi	80
4.2.2.3. III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi	84
4.3. Saha Uygulanabilirlik Maliyet Analiz Sonuçları	84
4.3.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD	84
4.3.1.1. Birim Arıtma Maliyeti	84
4.3.1.2. Geri Ödeme Süresi	88
4.3.1.3. Maliyet Bileşenleri	91
4.3.1.4. Karbon Maliyetleri	93
4.3.1.5. Hassasiyet Analizi	96
4.3.1.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik	98
4.3.2. MD ve II. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD	103
4.3.2.1. Birim Arıtma Maliyeti	103
4.3.2.2. Geri Ödeme Süresi	105
4.3.2.3. Maliyet Bileşenleri	107
4.3.2.4. Karbon Maliyetleri	109
4.3.2.5. Hassasiyet Analizi	112
4.3.2.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik	114
4.3.3. MD ve III. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD	118
4.3.3.1. Birim Arıtma Maliyeti	118

4.3.3.2. Geri Ödeme Süresi	120
4.3.3.3. Maliyet Bileşenleri	122
4.3.3.4. Karbon Maliyetleri	124
4.3.3.5. Hassasiyet Analizi	127
4.3.3.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik	129
4.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Desalinasyon Tesislerinin Tercih Edilebilirlik Analizi	133
4.4.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri	133
4.4.1.1. Hassasiyet Analizi	157
4.4.2. MD ve II. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri	166
4.4.2.1. Hassasiyet Analizi	174
4.4.3. MD ve III. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri	182
4.4.3.1. Hassasiyet Analizi	190
4.5. Gerçek Ölçek Uygulamalardaki Fırsatlar ve Karşılaşılabilecek Zorluklar	199
5.SONUÇ ve ÖNERİLER	201
KAYNAKLAR	204
ÖZGEÇMİŞ	210
EKLER	211

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
c	Öz ısı
CO ₂ -e	Karbondioksit eşdeğeri
Ec	İletkenlik
J _s	Ters tuz akısı
J _w	Su akısı
kW	: Kilowatt
L	Litre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Q	Debi
R	Gaz sabiti
Re	Reynolds sayısı
sa	: Saat
T	Sıcaklık
u	Verim
AÇS	Arıtma Çıkış Suyu
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AKM	Askıda Katı Madde
ÇOK	: Çözünmüş Organik Karbon
DIK	Dahili Isı Kazanımı
DTMD	: Direkt Temas Membran Distilasyonu
DS	Deniz Suyu
EPA	Çevre Koruma Ajansı
HBMD	Hava Boşluklu Membran Distilasyonu
HIK	Harici Isı Kazanımı
IK	Isı Kazanımsız
İO	İleri Osmoz
İS	İçme Suyu
KAÇS	Kazanılan Arıtma Çıkış Suyu

KTS	Kaybedilen Tatlı Su
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MED	: Çok Etkili Distilasyon
MD	: Membran Distilasyonu
MSF	: Çok Aşamalı Flash Distilasyon
NF	Nanofiltrasyon
SBMD	: Sıvı Boşluklu Membran Distilasyonu
SGMD	Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu
SO	Seyrelme Oranı
SUVA	Spesifik UV Absorbansı
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TO	: Ters Osmoz
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
TS	Tatlı Su
TSGMD	Termostatik Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu
UVA	UV Absorbansı
VMD	Vakum Membran Distilasyonu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YAS	Yeraltısuyu
ZLD	Sıfır Sıvı Deşarjı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Dünya su stresi haritası.	6
2.2: Proses tipine göre dünya geneli deniz suyu ve acı su desalinasyon tesislerinin günlük su üretim kapasiteleri.	7
2.3: İO/TO kombine sistemi.	14
2.4: İleri Osmoz prosesinde geri yıkama mekanizması.	17
2.5: Membran distilasyon prosesinin şematik gösterimi.	22
2.6: MD teknolojilerinin gösterimi (a) DTMD, (b) SGMD, (c) VMD, (d) HBMD, (e) SBMD, (f) TSGMD.	24
3.1: Deniz suyu ve besleme suları numune alma noktaları.	36
3.2: İleri osmoz/membran distilasyon (İO/MD) bütünleşik membran sistemi.	41
3.3: MD senaryoları akım şeması (a) ısı kazanımsız, (b) ısı kazanımı uygulaması.	47
3.4: Tatlı su kaynağı beslemeli ve konsantre akımlı İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Açık mavi akım: tatlı su; Siyah akım: denize deşarj).	48
3.5: Tatlı su kaynağı beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Açık mavi akım: tatlı su).	49
3.6: MD ve arıtma çıkışı beslemeli konsantresiz MD senaryoları (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Kahverengi akım: atıksu; Siyah akım: denize deşarj).	51
3.7: Evsel arıtma çıkışı beslemeli İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Kahverengi akım: atıksu; Siyah akım: denize deşarj).	52
3.8: AHP hiyerarşik yapısının şematik gösterimi.	58
4.1: İleri osmoz prosesi deneysel performans sonuçları (a) su akısı, J_w ($L/m^2.sa$), (b) tuz akısı, J_s ($L/m^2.sa$), (c) seyrelme oranı $SO(\%)$, (d) toplam çözünmüş madde $TÇM$ (g/L).	67

4.2:	Tatlı su kaynağı beslemeli İO/MD prosesinin MD deneysel performansları (I) Ham deniz suyu beslemeli, (II) Yeraltısuyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli, (III) Göl suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli.	72
4.3:	İleri osmoz prosesi deneysel performans sonuçları (a) su akısı, J_w ($L/m^2.sa$); (b) tuz akısı, J_s ($L/m^2.sa$); (c) seyrelme oranı SO (%); (d) toplam çözünmüş madde TÇM (g/L).	76
4.4:	Evsel atıksu arıtma çıkışı beslemeli İO/MD prosesinin MD deneysel performansları (I) Ham deniz suyu beslemeli, (II) II. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli, (III) III. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli.	81
4.5:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	86
4.6:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının atılısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	87
4.7:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	89
4.8:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının atılısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	90
4.9:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.	92
4.10:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 $\$/kWsa$ elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.	94
4.11:	MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 $\$/kWsa$ elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.	95

4.12:	MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi.	97
4.13:	MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.	102
4.14:	MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	104
4.15:	MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	106
4.16:	MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.	108
4.17:	MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.	110
4.18:	MD ve en ekonomik II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.	111
4.19:	MD ve II arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi.	113
4.20:	MD ve en ekonomik II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.	117
4.21:	MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	119
4.22:	MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.	121
4.23:	MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.	123

4.24:	MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.	125
4.25:	MD ve en ekonomik III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.	126
4.26:	MD ve III arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi.	128
4.27:	MD ve en ekonomik III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.	132
4.28:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.	135
4.29:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.	136
4.30:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	139
4.31:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	140
4.32:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	143
4.33:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	144

4.34:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.	147
4.35:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.	148
4.36:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	151
4.37:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	152
4.38:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	155
4.39:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.	156
4.40:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	159
4.41:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.	160
4.42:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	161
4.43:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	163
4.44:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	164
4.45:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	165
4.46:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.	168

4.47:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.	170
4.48:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	175
4.49:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.	177
4.50:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	178
4.51:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	178
4.52:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	180
4.53:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	181
4.54:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.	184
4.55:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.	186
4.56:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	191
4.57:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.	193
4.58:	Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	194

4.59:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.	196
4.60:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	197
4.61:	Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.	198

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Desalinasyon konsantre akımlarının bertaraf yöntemleri, çevresel etkileri ve iyileştirme metodları.	10
2.2: Desalinasyon konsantre akımları bertarafı yapılan bazı ülkelerde uygulanan bertaraf yöntemleri.	11
2.3: Farklı büyüklüklerdeki acı su ve deniz suyu TO desalinasyon tesislerinin üretim kapasiteleri ve su maliyetleri.	12
2.4: MD su üretim maliyetleri.	32
3.1: Ham deniz suyu ve besleme suları karakterizasyonu.	36
3.2: İO membranının özellikleri.	38
3.3: Membran distilasyon membranının özellikleri.	38
3.4: Su kalitesi analiz parametreleri için kullanılan ölçüm yöntemleri.	39
3.5: MD ve İO/MD tasarım kriterleri.	45
3.6: MD ve tatlı su kaynağı beslemeli İO/MD senaryolarının su bilançoları.	50
3.7: MD ve arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının su bilançoları.	53
3.8: Tesis bileşenleri, ekipman ömür ve maliyetleri.	55
3.9: Maliyet bileşenlerini hesaplama denklemleri.	56
3.10: AHP önem skalası.	57
3.11: Rassal tutarlılık indeksi.	60
3.12: AHP analizinde belirlenen kriterler ve alt kriterler.	61
3.13: (KTS/İS) ve (TS/DS) oranlarının ekosistem üzerindeki etkileri.	61
3.14: (KTS/İS) ve (TS/DS) oranlarının çevresel etkileri.	62
3.15: AHP analizinde belirlenen kriterler ve alt kriterler.	63
3.16: (KAÇS/İS) ve (AÇS/DS) oranlarının ekosistem ve halk üzerindeki etkileri.	64
3.17: (KAÇS/İS) ve (AÇS/DS) oranlarının çevresel etkileri.	64
3.18: Ana kriterlerin birbirlerine göre karşılaştırma matrisi.	65
3.19: Alt kriterlerin birbirlerine göre karşılaştırma matrisi.	65

4.1:	Deniz suyunun İO prosesiyle seyreltmesinde elde edilen konsantre yeraltısuyu ve göl suları ile seyreltilmiş deniz suyunun su kalite analizleri.	68
4.2:	Ham ve I.İO prosesiyle seyrelmiş deniz suyunun arıtıldığı MD prosesinin su kalitesi sonuçları.	73
4.3:	Deniz suyunun İO prosesiyle seyreltmesinde elde edilen konsantre II. arıtma ve III. arıtma çıkış suları ile seyreltilmiş deniz suyunun su kalite analizleri.	77
4.4:	Ham ve I.İO prosesiyle seyrelmiş deniz suyunun arıtıldığı MD prosesinin su kalitesi sonuçları.	82
4.5:	Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	100
4.6:	Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	101
4.7:	Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	115
4.8:	Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	116
4.9:	Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	130
4.10:	Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).	131

- 4.11: Tatlı su beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar. 157
- 4.12: II. arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar. 173
- 4.13: III. arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar. 189

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Bu tez ile ulaşılmak istenen temel amaç, membran distilasyon (MD) prosesi öncesinde ön arıtma amaçlı ileri osmoz (İÖ) prosesi (I. Kademe İÖ prosesi) kullanılarak deniz suyundan içme suyu eldesinde MD prosesinin daha ekonomik olarak işletileceği, sonrasında ikinci bir İÖ prosesi (II. Kademe İÖ prosesi) kullanılarak deniz suyu konsantre akımlarının deniz suyu ortamına verilmesini önleyerek deniz ekolojisi ve biyotasının korunmasının sağlanacağı bir ekonomik ve çevresel kazanım yaklaşımını deniz suyunun MD ile desalinasyonuna uygulamaktır.

Çalışmada, amacın gerçekleştirilmesinde kullanılan İÖ/MD bütünleşik membran sistemi (I.İÖ+MD+II.İÖ), farklı sistem besleme suları ile deniz suyundan içme suyu elde edilmesi temeli üzerine inşa edilmiştir. I. Kademe İÖ prosesinde çekme suyu olarak kullanılan deniz suyu farklı besleme sularıyla seyreltilerek MD prosesi ile içme suyu eldesi sağlanmıştır. MD konsantre deniz suyu akımı II. Kademe İÖ prosesine alınarak, I. Kademe İÖ prosesinden gelen konsantre besleme suyu ile deniz suyu tuzluluk seviyesine kadar seyreltilerek; sistemde konsantre deniz suyunun seyreltilerek ortadan kaldırılması sağlanmıştır. I. Kademe İÖ prosesinde, deniz suyunun seyreltilmesinde, besleme suyu olarak göl suyu, yeraltı suyu ile II. arıtma (son çöktürme çıkışı) ve III. arıtma (ileri N ve P giderimi çıkışı) evsel arıtma çıkış suları kullanılmıştır. Bu şekliyle farklı besleme suları ile sistemi ayrı ayrı işletmenin gayesi; I. İÖ prosesinin su temini yapılan doğal sulara (tercihen kirlenme baskısı altında bulunan göl suyu ve yeraltı suyu) ve su geri kazanımı amacıyla arıtılmış evsel atıksulara (II. ve III. çıkış suları) önerilen entegre arıtma sisteminin ne düzeyde uygulanabileceğini belirlemek ve özellikle de deniz suyunun tek başına MD prosesi ile arıtma maliyetlerinin bütünleşik İÖ/MD uygulamalarıyla ne oranlarda azaltılabileceğini tespit etmektir.

Bu tezde ulaşılmak istenen temel amaç, tek başına MD prosesi ile deniz suyundan içme suyu elde etme maliyetini tekno-ekonomik olarak azaltmak değil, İÖ/MD bütünleşik sisteminin, tek başına MD prosesi birim içme suyu arıtma maliyetini, hangi ve ne seviyelerdeki performans artışlarıyla ne düzeyde azaltılabileceğini ortaya çıkarmaktır. Bu sayede enerji etkili prosesler veya yenilenebilir

enerji uygulamalarıyla MD prosesinin daha düşük maliyetlerle işletilir kılınması, çalışılan bütünleşik sistem için tespit edilecek maliyet azalma oranları ışığında, MD prosesinde daha da ekonomik içme suyu üretim maliyetleri elde edilmesine imkan sunacaktır.

Deniz suyu desalinasyonunun geliştirilen eko-yenilikçi sistemlerle gerçekleştirilmesinde; MD ve İO/MD tesislerinin analitik hiyerarşi prosesi analiziyle teknik, ekonomik ve çevresel parametrelerin bir arada kıyaslanmasıyla sistemlerinin tercih edilebilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Tez kapsamında İO/MD entegre membran sisteminde Direkt Temas Membran Distilasyon (DTMD) prosesinin kullanımı, MD prosesinin diğer 3 çeşit uygulama teknolojisine göre rölatif olarak daha yüksek maliyetler söz konusu olsa da, direkt temasta proses daha kolay işletilebildiğinden ve rölatif olarak daha iyi performans elde edildiğinden teknik ve ekonomik amaçlı değerlendirmeyi temel alan böyle bir çalışma için özellikle tercih edilmiştir. Tezde önerilen İO/MD bütünleşik sistemi (I.Kademe İO+MD+II.Kademe İO) için esin kaynağı, 2009 yılında TO prosesiyle deniz suyu arıtma maliyetlerinin azaltılmasında başarıyla uygulanmış olan ve deniz suyu konsantre akımı üretmeyen İO/TO bütünleşik sistemi (I.Kademe İO+TO+II.Kademe İO) ile yapılan çalışma olmuştur [Cath et al., 2009]. İO/TO ikili sisteminin (I.Kademe İO+TO) ise, deniz suyundan içme suyu eldesindeki başarısı, bir SCI makalesiyle tekrardan kanıtlanmıştır [Quintanilla et al., 2011].

Bu tezin amacına ulaşabilmesi için çalışmalar, aşağıdaki adımlara dayalı genel bir kapsam çerçevesinde yürütülmüştür:

Deniz suyunun farklı besleme sularıya seyrelmesi ve deniz suyundan içme suyu üretiminde İO ve MD proseslerine ait işletme şartları “İleri Osmoz/Direkt Temas Membran Distilasyon Bütünleşik Membran Sistemi ile Deniz Suyundan İçme Suyu Eldesinin Tekno Ekonomik Analizi” adlı 111Y279 numaralı Tübitak projesinde belirlenmiş optimum şartlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Uzun süreli işletim şartları altında ham ve seyreltilmiş deniz suyundan MD prosesi ve İO/MD membran sistemi ile içme suyu üretilerek proseslerin performansları pilot ölçekte kurulan sistemlerin işletilmesiyle ortaya konmuştur.

Belirlenen uzun süreli teknik performanslar ışığında, MD ve İO/MD'nin deniz suyundan içme suyu üretim maliyetleri; sistemlerin saha ölçeğe benzeştirilmelerine dayalı hesaplanarak, İO/MD prosesinin MD prosesiyle deniz suyu arıtma maliyetini azaltma oranları tespit edilmiştir.

MD ve İO/MD prosesleri analitik hiyerarşi prosesi ile analiz edilerek tekno-ekonomik ve çevresel olarak sahada en tercih edilebilir desalinasyon tesislerinin seçimi gerçekleştirilmiştir.

Membran proseslerde besleme akımının konsantrasyonu arttıkça kirlilik seviyesi ve membran kirlenmesinin arttığı ve buna bağlı olarak da proses performansının azaldığı bilinmektedir. İO/MD sistemiyle besleme akımının İO prosesinde ön arıtma işlemine tabi tutularak kirliliğinin seyreltilmesiyle prosesin performansının artacağı ve MD membranlarının daha uzun ömürlerde ve daha ekonomik olarak işletilebileceği öngörülmektedir. Ayrıca MD sonrasında konsantre deniz suyunun İO prosesiyle seyreltilerek konsantre akımın tuzluluğunun azaltılması veya deniz suyu tuzluluğunda denize deşarjı sağlanarak deniz biyotası, ekolojisi ve deniz suyu kalitesinin korunması sağlanacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1. Deniz Suyu Desalinasyonu

2.1.1. Mevcut Durum ve Teknolojik Gelişmeler

Günümüzde, iklim değişikliği, hızlı endüstriyel gelişme ve şehirleşme, ülkelerarası anlaşmazlıklar ve savaşlar, bilinçsiz ve plansız kullanımlar gibi nedenlerle, Dünya genelinde, tatlı su kaynaklarının etkin kullanılabilirliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. Artan nüfusa bağlı olarak içme suyuna olan ihtiyacın artmasının yanı sıra çevre kirlenmesinin boyut ve miktarlarındaki artışlar da, kaliteli içme suyuna erişim imkanlarını azaltmıştır. Bugün itibariyle 663 milyon insan temiz su kaynaklarından yoksun bölgelerde 2,4 milyar insan ise tatlı su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde yaşamaktadır [Greenlee et al., 2009], [Seager and Vecchi, 2010], [UNICEF–WHO, 2015], [Fanucchi, 2017]. 2025 yılına gelindiğinde ise 1,8 milyar insan su kıtlığı yaşayacak ve dünya nüfusunun 2/3'si su stresi olan bölgelerde yaşayacaktır [Gude, 2016]. Dünyada su talebinin önümüzdeki bir kaç 10 yıl içinde katlanarak artması, en az 33 ülkenin 2040 yılına kadar aşırı su stresi ile yüzleşmesi öngörülmektedir [Web 1, 2018]. Dünyada su stresi yaşayan bölgeler Şekil 2.1'de gösterilmiştir [Web 2, 2018]. Bugün itibariyle Kaliforniya, Arizona, Teksas ve Meksika gibi ABD'nin güneybatı bölgesi ile Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri, Güneydoğu Avrupa ülkeleri, Güney Hindistan, Pakistan, Moğolistan, Afganistan, Kazakistan Batı Avustralya su kıtlığı yaşamaktadır. Karayipler bölgesinde dahil Latin Amerika, Güney ve Orta Afrika, Kuzey Hindistan, Çin'in bazı bölgeleri ve diğer bazı Asya ülkelerinde ise ekonomik su kıtlığı yaşanmaktadır [Gude, 2016]. Avrupa Çevre Ajansının yaptığı çalışmada, Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerinin 2000 ile 2030 yılları arasında su stresi tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre 2030 itibarıyla, Türkiye'nin İç ve Batı bölgelerinde %40'ı aşan oranda su stresi yaşanacağı, Güneydoğu ve Doğu bölgelerinde ise su stresinin %20-40 arasında olacağı belirtilmektedir [ÇSB, 2013]. Son yıllarda ağırlığını iyice hissettirmiş olan bu durum, su temininin daha etkili olarak kullanılmasını beraberinde getirmiştir.

Mevcut su kaynaklarındaki azalma ve ülkelerin yaşadığı su stresi nedeniyle son yıllarda, deniz suyunun artırılarak içme ve kullanma suyu temin edilmesi gündeme

gelmeye başlamıştır. Tuzlu suyun arıtımında kullanılan başlıca teknolojiler termal prosesler ve membran prosesler olarak ikiye ayrılmaktadır.

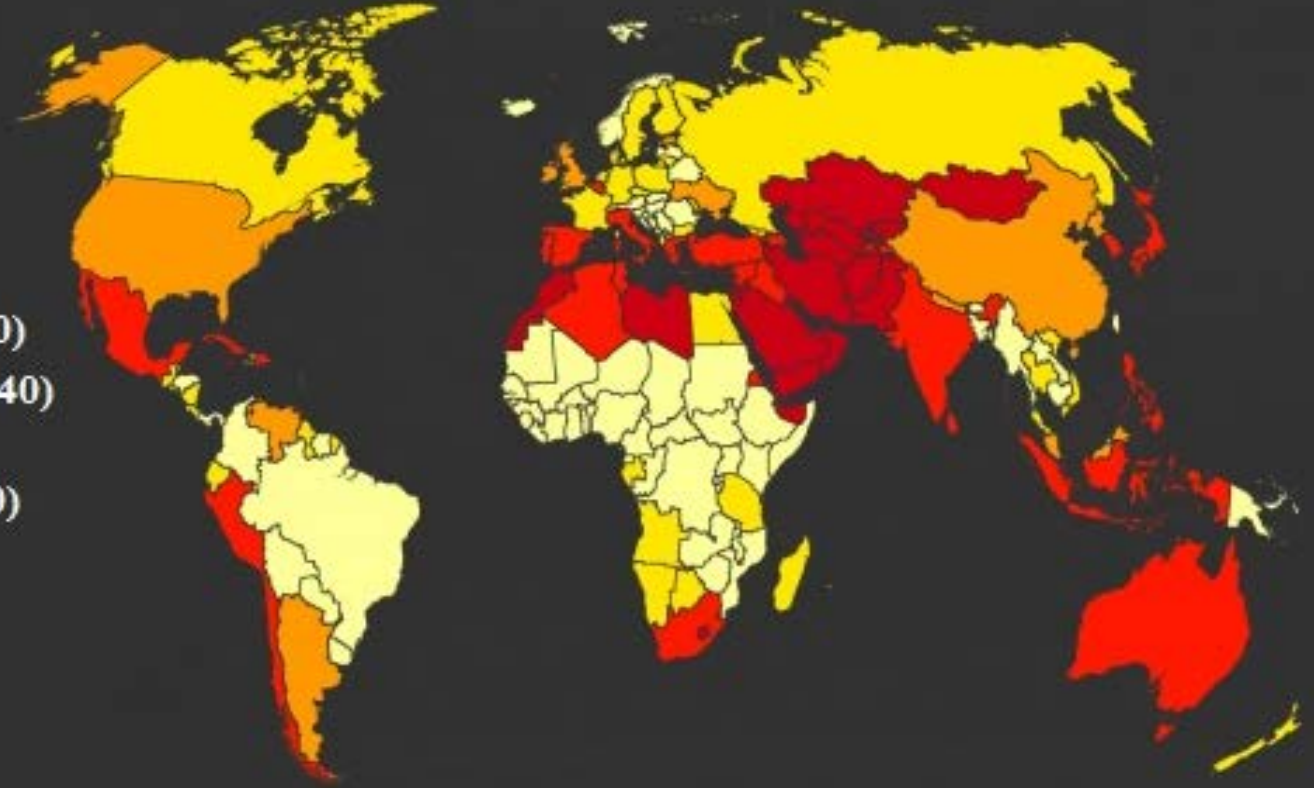
Termal prosesler deniz suyundan temiz suyu buharlaştırarak arıtmak için evaporatör ve kondansör sistemi içermektedir. Membran prosesler ise mekanik veya kimyasal/elektriksel yöntemler aracılığıyla çözünmüş tuzların deniz suyundan ayrılması ve içme su eldesini içermektedir.

Deniz suyu tuzsuzlaştırma (desalinasyon) veya tuz giderimi, tatlı su üretmek için tuzlu sudan tuz uzaklaştırmayı ifade eden genel bir terimdir. Tatlı su teriminin niteliği ülkelere göre değişebilmektedir. Amerika’da tatlı suyun EPA standartlarına göre tuz içeriği 250 mg/L ile sınırlandırılmıştır. Termal prosesler tarih öncesi çağlardan bu yana kullanılmış olmakla birlikte, içme suyu arıtımı için kullanılan büyük ölçekli tesisler ilk olarak 1950’li yıllarda kurulmuştur. Başlangıçta proses, multi-effect distillation (MED) (çoklu etkili distilasyon) olarak kullanılmış, daha sonra da multi-stage flash distilasyon (MSF) (çok aşamalı flash distilasyonu) prosesi kullanılmaya başlanmıştır. Dünya tuz giderim kapasitesinin % 50’sine sahip olan Orta Doğu’da birincil olarak MSF teknolojisi kullanılmıştır. Membran proseslerdeki ilk gelişmeler 1960’larda gözlemlenmiş, bu prosesler termal proseslere üstünlük sağlamıştır. Membran prosesler, pratik uygulamalarıyla tuz gideriminde aktif olarak kullanılmaya başlanarak, 1960’ların sonunda ilk başarılı ters osmoz (TO) tesisinde besleme olarak acı su (brackish water) kullanılmıştır. Takip eden yıllarda, TO membranlar, membran geçirgenlikleri arttırılmak suretiyle deniz suyundan tuz gideriminde kullanılmaya devam edilmiştir. 1960’ların sonları ve 1970’lerde distilasyon ve membran teknolojilerindeki buluşlar, dünya çapında tuz giderim kapasitesini arttırmış; özellikle Orta Doğu Bölgesi’nin dışındaki yerlerde yeni TO tesislerinin kurulumuna yaygın bir şekilde başlanarak devam edilmiştir [Greenlee et al., 2009]. 2005 yılında kurulu desalinasyon tesislerinin %60’ını termal prosesler oluştururken şuanda kurulu desalinasyon tesislerinin %63’ü TO, %23’ü MSF ve %8’i MED ve kalan %6 ise elektrodializ ve hibrit proseslerden oluşmaktadır [Bennett, 2013], [Gude, 2016].

40 yıldan fazla süre zarfında TO membran teknolojisinde sağlanan gelişmeler, özellikle son 10 yıl itibariyle, deniz suyu tuzsuzlaştırmada TO prosesini mevcut en iyi teknoloji haline getirmiştir. Bugün itibariyle Dünya genelinde, yenilenebilir ve/veya geri kazanıma dayalı enerji içerikli tesis tasarımları gerçekleştirilerek, tuz gideriminin denize kıyısı olmayan kesimlerde ve kurak alanlardaki kullanımlarını daha az maliyetle sağlayan yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelik bir noktaya gelinmiştir.

SU STRESİ

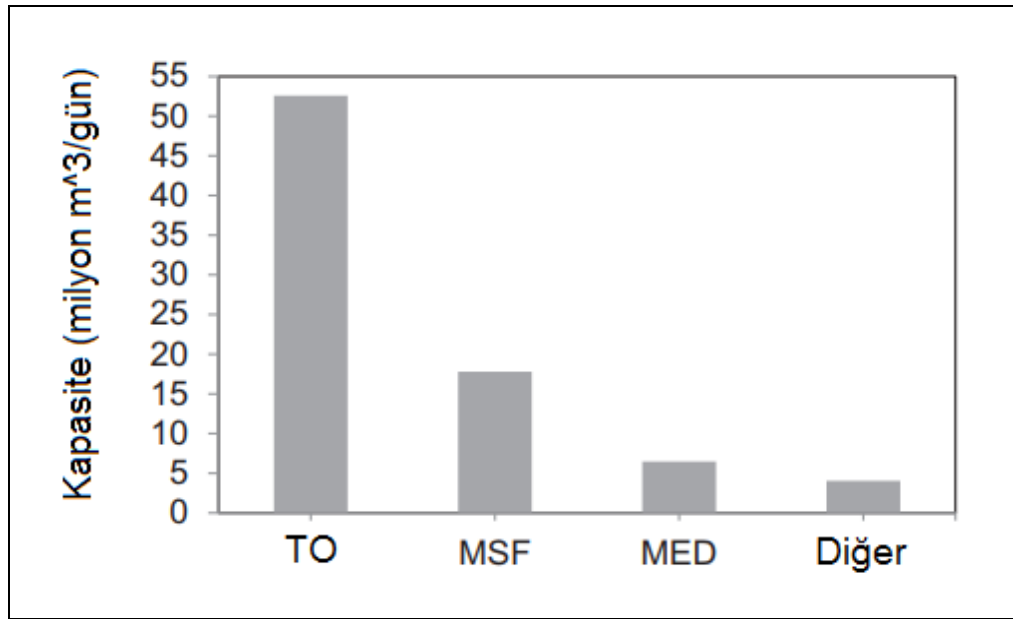
- Düşük ($\leq \%10$)
- Düşük-orta ($\%10-20$)
- Orta-yüksek ($\%20-40$)
- Yüksek ($\%40-80$)
- Çok yüksek ($> \%80$)



Şekil 2.1: Dünya su stresi haritası.

Ayrıca, birim su maliyetlerinin aşağı çekilmesi amacıyla, arıtılmış su üretim kapasitesi 100.000 m³/gün ve üzeri olan büyük tuz giderim tesislerinin kurulması yönünde yeni bir eğilim ortaya çıkmıştır [Greenlee et al., 2009].

Deniz suyu desalinasyon proseslerinde, Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan 3 temel teknolojiye ait milyon metreküp günlük su üretim kapasiteleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir [Miller et al., 2015]. Şekil 2.2’e göre, bugün itibariyle yeni kurulan tesislerle birlikte TO prosenin diğer proseslere göre açık ara tercih/kullanım üstünlüğü görülmektedir.



Şekil 2.2: Proses tipine göre dünya geneli deniz suyu ve acı su desalinasyon tesislerinin günlük su üretim kapasiteleri.

TO prosesi, seçici bir membranla ayrılmış iki çözelti arasında, yüksek osmotik basınçlı çözültiden düşük osmotik basınçlı olana, osmotik basınçtan daha yüksek bir basınç sürücü kuvvetinin etkisi altında suyun taşınması prensibine dayanmaktadır. TO prosesinde filtrasyon kapasitesi, membran özelliğine, besleme suyu sıcaklığına, işletme basıncına, bertaraf edilecek çözünmüş maddeye ve sistemin tasarımı ve konfigürasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

TO prosenin yaygın olarak kullanım amaçları aşağıdaki gibidir:

- Çok tuzlu deniz suyunu veya hafif tuzlu suyu içme suyuna dönüştürmek,
- Endüstriyel işletmelerde çözünmüş tuzları geri kazanmak,

- Sanayide ve içme suyunda istenen kalitede su elde etmek,
- Buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu önlemek,
- Sulardaki sertliği gidermek,
- Çok kirli atıksuları arıtmak,
- Konsantre meyve suyu ve salça elde etmek,
- Toksik maddeleri ve mikroorganizmaları bertaraf etmek,
- Kimyasal işletmeler için yüksek kaliteli su elde etmek.

TO metodu, son yıllarda özellikle, içme suyundan koku, tat, renk, çözünmüş madde ve sertlik gidermede ve içme suyunun kısıtlı olduğu yerlerde deniz suyundan tatlı su elde edilmesinde, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çeşitli nitelik ve ölçekte uygulamalarına karşılık, membran yüzeyinde ve içerisinde meydana gelen tıkanma ve kirlenmeler prosesin işletme etkinliğini kısıtlayan en önemli faktör olmaktadır [Öztürk, 2007].

Yaygın kullanımına ve çok yüksek miktarlarda su eldesi amacıyla deniz suyundan içme suyu elde edilmesinde kullanılıyor olmasına rağmen, TO prosesinin, pratikte ortaya koyduğu bazı önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar; (i) diğer deniz suyu tuzsuzlaştırma prosesleri için de geçerli olmak üzere atmosfere sera gazı salınımlarını arttıran yüksek enerji tüketim miktarları ve (ii) bertarafı çevresel açıdan oldukça zor olan, deniz ortamına verildiğinde deniz ekolojisi ve biyotası üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilen ve bugün itibariyle halen daha çevreye zarar vermeksizin bertarafı pratikte çözümlenememiş bir problem olarak karşımızda duran yüksek tuz ve çeşitli arıtma kimyasalları içerikli deniz suyu konsantresidir [Lamei et al., 2008], [Greenlee et al., 2009]. Bunların yanı sıra, proste yüksek bor giriş konsantrasyonu değerlerinde arzu edilir seviyelerde bor giderimi elde edilememesine bağlı olarak, TO sonrası ilave bor giderimi uygulaması gerekli olabilmektedir (WHO içme suyu bor konsantrasyonu 0,5 mg/L, deniz suyu tipik bor değerleri 1-5 mg/L) [Taniguchi et al., 2004]. Her ne kadar, beslemede pH kontrolü, ön arıtma uygulamaları, yeni tasarım ve geri yıkama/temizleme stratejileri geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı vb. uygulamalar ile prosesin daha ekonomik işletilebilmesine yönelik çalışmalar etkin olarak sürmekte ise de; Yüz binlerce metreküp günlük su üretim kapasitesine haiz olan TO tesislerinden kaynaklanan çevresel olumsuzlukların

giderilmesine, bugün itibariyle, tam olarak kesin çözümler getirilememiş bulunmaktadır [Lorain et al., 2007], [Gilau and Small, 2008], [Choi et al., 2009b].

Pratikte, gelecek vaat eden bir uygulama olarak, İO/TO bütünleşik sistemi ile farklı su kaynakları kullanılarak deniz suyunundan içme suyu eldesi gerçekleştirilmiş, sistemin ekonomik kazanımlar elde edilerek ve konsantre deniz suyu akımı üretilmeksizin, 200 ve 757 m³/gün kapasiteli bir tesiste ekonomik olarak işletilebileceği hesaplamalar ışığında belirlenmiştir [Cath et al., 2009], [Cath et al., 2010].

2.1.2. Desalinasyon Konsantreleri

Son yıllarda içme suyu temini ve atıksulardan su geri kazanımında kullanımı gittikçe artan membran teknolojilerinin, tıkanma probleminin dışında çözülmesi gereken bir diğer sorun oluşan konsantrelerin yönetimi ve bertarafıdır. Membran konsantrelerinin yönetimi, bertaraf teknikleri ve deşarj sonrası olası çevresel etkilerini inceleyen az sayıda çalışma ve teknik raporlar mevcuttur. Membran konsantrelerinin bertarafında her tesise uygulanabilecek tek bir metot olmamakla birlikte, hali hazırda başarıyla uygulanan farklı bertaraf yöntemleri mevcuttur. Arıtılacak suyun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile su kaynağının türü ve yerine göre konsantre yönetimi ve bertaraf teknikleri değişebilmektedir [Kitiş, 2017].

Deniz suyu arıtımında kullanılan membran proseslerde (TO ve elektrodializ (ED)), termal proseslerden daha fazla konsantre akım oluşmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden birisi, termal proses konsantrelerinin, deşarj öncesinde tuz konsantrasyonlarının seyreltilmesi amacıyla soğuk su akımlarıyla karıştırılmasıdır. Bu uygulama membran proses konsantrelerinde uygulanmamaktadır. Prosesten prosese değişen konsantre sıcaklığından başka etkenler de söz konusu olmaktadır. Oluşan konsantre akımlarının bertaraf yöntemleri, çevresel etkileri ve iyileştirme metodları Tablo 2.1’de verilmiştir [Mezher et al., 2011], [CH2M, 2015], [Spellman, 2016].

Desalinasyon konsantrelerinin bertaraf metodunun seçiminde dikkate alınması gereken 8 kriter bulunmaktadır. Bunlar; konsantre hacmi, konsantre bileşenlerin kalitesi, konsantre deşarj noktasının coğrafik konumu, alıcı yerlerin mevcudiyeti, seçeneğe müsaade edilebilirlik, halkın olayı kabullenmesi, yatırım ve işletme maliyetleri ve tesisin genişletilmeye olan elverişliliğidir. Bazı ülkelerde yüksek

tuzluluğa haiz konsantre akımları için uygulanan bertaraf yöntemleri Tablo 2.2’de verilmiştir [Mezher et al., 2011].

Tablo 2.1: Desalinasyon konsantre akımlarının bertaraf yöntemleri, çevresel etkileri ve iyileştirme metodları.

Bertaraf seçeneği	Bertaraf esası	Çevresel etki
Yüzey	Tatlı su, okyanus veya dereler vb. ile konsantrenin bertarafı Konsantrenin borularla birlikte okyanus suyu içerisine boşaltımı	Alıcı suların kirlenmesi
Kanalizasyona deşarj	Atığın başlangıçta ya da proses sonunda atık arıtma prosesiyle bertarafı	Nihai alıcı suların kirlenmesi
Arazi uygulamaları	Konsantre atığın sprej sulama, filtreleme kuyuları ve süzme havuzları ile bertarafı	Toprak ve yeraltısularının kirlenmesi
Derin kuyu deşarjı	Konsantrenin içme suyu temin edilmeyen akiferlere enjekte edilmesi	Kuyu sularına sızmak suretiyle içme suyu akiferlerinin kirlenmesi
Buharlaştırma havuzları	Konsantredeki suyu buharlaştırarak tuzu havuz dibinde çöktürmek	Havuz sızıntıları ile yüksek kaliteli akiferlerin kirlenmesi
Sıfır sıvı deşarjı	Sıvı konsantreyi katılaştırıp arazi dolgu maddesi yapmak	Araziye sızmalar ile yüksek kaliteli akiferlerin kirlenmesi

Geliştirilmekte olan yeni konsantre bertaraf tekniklerinden bazıları aşağıda sunulmuştur [Kitiş, 2017], [Spellman, 2016]:

- Membran distilasyon ve/veya evaporasyon ile TO konsantrelerinde hacim azaltılması ve temiz su elde edilmesi,
- İleri osmoz (İO) ve İO hibrit prosesleri,
- Elektrodializ tabanlı prosesler,

- Konsantrelerin kimyasal ve/veya biyolojik yöntemlerle ön arıtılması ve sonrasında tekrar membran proseslerinde konsantre edilmesi,
- Yüksek tuz konsantrasyonlarında çalışabilen ve yeterli miktarlarda akılar üreten membranların geliştirilmesi,
- Sıfır sıvı deşarjı yaklaşımıyla kristalizasyon ve tuz eldesidir.

Tablo 2.2: Desalinasyon konsantre akımları bertarafı yapılan bazı ülkelerde uygulanan bertaraf yöntemleri.

Ülke	Bertaraf Yöntemi
BAE	Yüzeysel su
Umman	Arazi uygulaması ve buharlaştırma havuzları
Suudi Arabistan	Buharlaştırma havuzları
ABD	Yüzeysel su, kanalizasyon sistemiyle karıştırma, arazi uygulaması, buharlaştırma havuzları, derin kuyu enjeksiyonu
Avustralya	Buharlaştırma havuzları
İspanya	Yüzeysel su
Çin	Arazi uygulaması
Kuveyt	Buharlaştırma havuzları
Ürdün	Arazi uygulaması ve buharlaştırma havuzları
Katar	Arazi uygulaması ve buharlaştırma havuzları
Japonya	Yüzeysel su
Cezayir	Yüzeysel su
İngiltere	Kanalizasyon sistemiyle karıştırma ve arazi uygulaması

Sıklaşan deşarj limitleri ve deşarjların alıcı ortamlara çevresel etkilerinden dolayı, konvansiyonel membran konsantre bertaraf tekniklerinin yerine, kaynağında kontrol ve kirlilik önleme, su ve hammadde geri kazanımı (örneğin değerli mineral ve tuz kazanımı) ve sıfır sıvı deşarjı gibi tekniklerin önümüzdeki yıllarda uygulanması beklenmektedir. Membran proseslerinin ve desalinasyonun gelecekte başarıyla uygulanabilmesi için mutlaka teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir, çevre dostu, sürdürülebilir ve geri kazanım tabanlı yeni konsantre yönetim stratejilerinin ve bertaraf tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir [Kitiş, 2017].

2.1.3. Desalinasyon Ekonomisi

Desalinasyon ekonomileri, toplam ve birim su maliyetleri itibariyle, pratikte, ülkeden ülkeye, acı su/deniz suyu kalitesine, kullanılan arıtma teknolojisine, kullanılan enerjinin türüne ve enerji geri kazanım uygulamalarına, konsantre atık bertaraf metoduna vd. faktörlere bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterebilmektedir. Desalinasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan TO prosesi dikkate alındığında, bu prosese dayalı olarak acı su ve deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini amacıyla gerçekleştirilen Dünya geneli uygulamalarından elde edilmiş su maliyetleri, ilgili tesisin bulunduğu yer, üretime başlama yılı ve üretim kapasitesi bilgileriyle birlikte Tablo 2.3'te sunulmuştur [Greenlee et al., 2009], [Ghaffour, 2013].

TO prosesi, deniz suyundan içme suyu eldesinde Dünya'da en yaygın kullanılan teknolojilerin başında yer almakta olup bugün itibariyle mevcut en iyi desalinasyon teknolojisidir. Bu teknoloji ile deniz suyundan içme suyu arıtma maliyetleri, 1990 yıllarının başlarında yaklaşık 1,7-2,0 \$/m³ seviyelerindeyken, bugün itibariyle ortalama 0,7-0,8 \$/m³ seviyelerine indirilmiştir. Ne var ki, bu proseste deniz suyundan içme suyu temininin yaklaşık 0,5 \$/m³ değerlerinde dahi yapılabildiği, gerçek ölçekli uygulama örneklerinden bilinmektedir [Gilau and Small, 2009], [Greenlee et al., 2009].

Tablo 2.3: Farklı büyüklüklerdeki acı su ve deniz suyu TO desalinasyon tesislerinin üretim kapasiteleri ve su maliyetleri.

Tesisin Yeri	İlk üretim yılı	Üretim kapasitesi (m ³ /gün)	Arıtma maliyeti (\$/m ³)
Galder-Agaete, İspanya	1989	3500	1,94
Jeddah, Suudi Arabistan	1989	23000	1,31
Ad Dur, Bahreyn	1990	45000	1,30
Lanzorete III ve Agragua, İspanya	1991	10000 x 2	1,6/1,34
Santa Barbara, Kalifornia, USA	1992	25000	1,51
Dhkelia, Güney Kıbrıs	1997	40000	1,46
Malorka ve Marbella, İspanya	1998	42000/56400	1,03/1,00

Tablo 2.3: Devam.

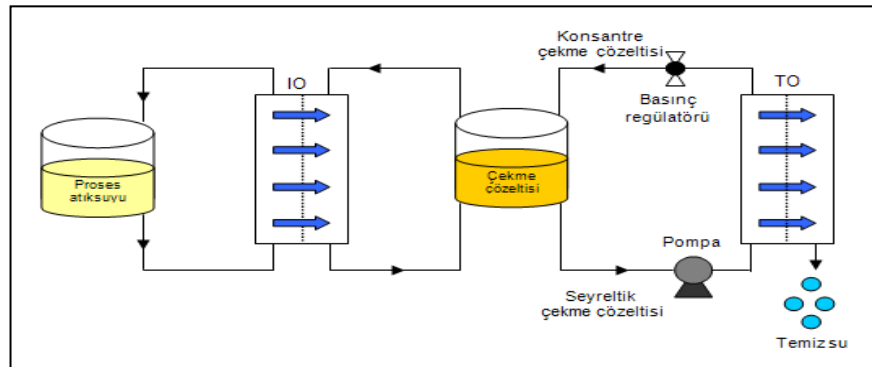
Tesisin Yeri	İlk üretim yılı	Üretim kapasitesi (m ³ /gün)	Arıtma maliyeti (\$/m ³)
Eilat, İsrail	1998	10000	0,72
Lamarca, Güney Kıbrıs	2001	54000	0,83
Eilat, İsrail	2003	10000	0,81
Tampa Bay, Florida, Amerika	2003	94600	0,55
Fujairah, Birleşik Arap Emirlikleri	2005	170500	0,87
Ashkelon İsrail	2005	326000	0,70
Tuas, Singapur	2005	136800	0,78
Perth, Avustralya	2006	144000	1,17
Palmachim, İsrail	2007	120000	0,80
Tampa Bay, Florida	2007	95000	0,53
Kwinana, Avustralya	2009	140000	2,21
Barselona, İspanya	2009	200000	0,75
Hadera, İsrail	2009	347000	0,65
Minjur, :Hindistan	2010	100000	1,03
Sydney, Avustralya	2010	250000	1,44
Ashdod, İsrail	2013	274000	0,60
Sorek, İsrail	2013	624000	0,52

2.2. İleri Osmoz Prosesi

Fiziksel bir proses olan osmoz, osmotik basınç farkıyla suyun yarı geçirgen bir membran ile az yoğun ortamdan çok yoğun ortama hareketi olarak tanımlanır. Seçici geçirgen membran suyun geçişine izin verirken çözünmüş madde ve iyonların geçişine izin vermez [Wang et al., 2018], [Bogler et al., 2017], [Miller and Evans, 2006]. Osmotik basınç farkı uygulanarak membran boyunca kütle taşınımı gerçekleştiren prosese ileri osmoz prosesi adı verilmektedir. Osmotik basınç çekme çözeltisindeki çözünmüş madde konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Ters osmozda uygulanan hidrolik basınç, membran boyunca kütle taşınımı gerçekleştiren etkin güç iken ileri osmozda osmotik basınç kütle taşınımı için etkindir [Cath et al., 2006].

İleri osmoz sisteminde etkin gücün kaynağı, membranın süzöntü tarafındaki konsantr e çözeltisidir [McCutcheon et al., 2005]. Bu çözeltiye literatürde çekme çözeltisi, osmotik ajan, osmotik ortam, etkin solüsyon, osmotik motor, örnek solüsyon veya tuzlu su gibi terimlerle ifade edilmektedir [Cath et al., 2006]. Çekme çözeltisi seçilirken yüksek osmotik etkinliğ e sahip inert, kararlı, nötr pH'a yakın ve toksik olmayan çözelti ler tercih edilmelidir. [Miller and Evans, 2006]. Çözeltinin yüksek osmotik basınca sahip olabilmesi için düşük moleküler ağırlığının olması ve sudaki çözünürlüğünde fazla olması gereklidir. Çekme çözelti ler i ucuz, yüksek çözünürlüğ e sahip ve besleme çözeltisinden daha yüksek osmotik basınca sahip olmalıdırlar. Aynı zamanda, çekme çözeltisinin membrana çözünme, adsorbsiyon ve reaksiyona girme gibi kimyasal veya fiziksel olarak zarar vermemesi gerekmektedir. İleri osmoz için önemli bir diğ er kriter, seyreltilen çekme çözeltisinin tekrar konsantr e edecek uygun bir prosesin tercih edilmesidir. Bu nedenle yüksek çözünürlüğ e sahip olması ve ters osmoz prosesiyle tekrar konsantr e edilmesi kolay olduğu için genellikle NaCl çözeltisi çekme çözeltisi olarak tercih edilmektedir. Literatürde çekme çözeltisi olarak çeşitli kimyasallar (sodyum klorür, konsantr e atıksu, şükroz, amonyum bikarbonat), özellikle deniz suyunun saflaştırılması uygulamalarında kullanılmıştır. Kravath ve Davis (1975) selüloz asetat membran ve çekme çözeltisi olarak glikoz kullanarak ileri osmoz prosesiyle deniz suyundan su elde etmişlerdir [Kravath and Davis, 1975].

Yaygın olarak kullanılan ileri osmoz prosesi tek değ erlikli ve suda yüksek çözünürlüğ e sahip NaCl veya KCl gibi tuzlar kullanılarak iş letilen İO/TO entegre sistemidir.



Şekil 2.3: İO/TO kombine sistemi.

İleri osmoz sisteminin başlıca avantajları, düşük kirlenme eğilimine sahip olması, düşük hidrolik basınç sebebiyle kalıcı kirlenmenin etkisinin az oluşu, kirleticileri büyük ölçüde reddetme kapasitesine sahip olması, kullanılacak besleme çözeltilerinin geniş bir aralıkta olması, enerji ihtiyacının düşük olması ve dolayısıyla işletim maliyetinin düşük olmasıdır. Basınç sürücülü membran proseslerde, uygulanan basınç sebebiyle kirleticiler membran yüzeyinde birikerek sıkışma meydana getirir. Bu yüzden İO prosesinde, hidrolik basıncın etkin olduğu ters osmoz gibi membran proseslerine kıyasla daha düşük membran kirlenmesine bağlı problemler görülmektedir. Besleme akımının konsantre edilmesinde, yüksek basınç yahut ısıya ihtiyaç duyulmaması sebebiyle, ileri osmoz proseslerinin kullanımı ve yaygınlaştırılması önemli hale gelmiştir. Bu sistemin en büyük dezavantajı, çekme çözeltilisinin tekrar konsantre edilme ihtiyacıdır. Bu sorun ileri osmoz ile ters osmoz sistemlerinin beraber kullanılmasıyla giderilebilmektedir. İleri osmoz prosesinde çekme çözeltisi olarak deniz suyunun kullanılabilmesi arıtma maliyetinde düşmesini sağlayarak büyük bir avantaj sağlayacaktır. [Wang et al., 2018], [Bogler et al., 2017], [Mi and Elimelech, 2008], [Tan and Ng., 2008], [Wang et al., 2007], [Cath, 2006], [McCutcheon et al., 2005].

2.2.1.Membran Kirlenmesi ve Temizleme

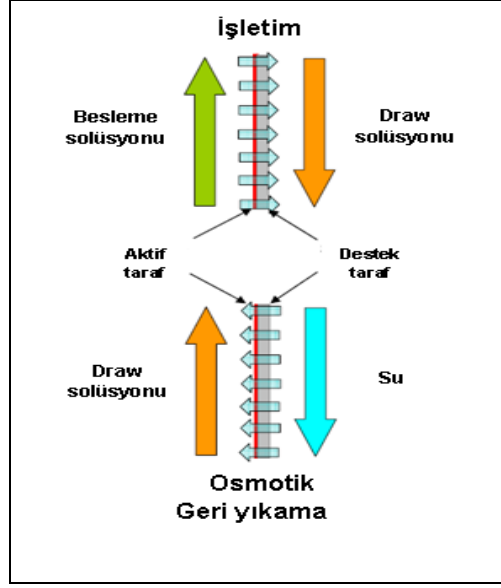
Konsantrasyon polarizasyonu ve membran tıkanması osmotik basınçlı sistemlerde akının düşmesine sebep olarak membranın performansını olumsuz etkilemektedir. Konsantrasyon polarizasyonu suyun membrandan geçerken çözeltideki çözünmüş maddelerin membran tarafından tutulması sonucunda meydana gelmektedir. Membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikmeye başlayarak zamanla membran yüzeyinde konsantrasyon artışına neden olmaktadır. Yatay akışlı membran proseslerde, membrana yakın kısımlarda akışkanın hızı azalarak membran yüzeyinde akışkan hızı sıfır olmakta ve sınır tabakası teşekkül etmektedir. Bu sınır tabakasındaki konsantrasyon artışı, konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır [Topaloğlu, 2010].

Osmotik basınçlı sistemlerde kullanılan membranın asimetric yapısına bağlı olarak iki tür konsantrasyon polarizasyonu oluşmaktadır. Konsantrasyon polarizasyonu hem besleme tarafında hem de süzuntu tarafında görülmektedir.

Besleme çözeltisindeki çözünen maddeler, besleme membranının aktif katmanının üzerinde akarken hidrolik basınçlı sistemlerde de olduğu gibi aktif katman üzerinde birikir. Bu durum, konsantre edici dış konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılır. Membranın süzöntü tarafıyla temas eden çekme çözeltisi, süzülen su tarafından süzöntü-membran ara yüzeyinde seyreltilmektedir. Bu durumda seyreltici dış konsantrasyon polarizasyonu olarak ifade edilmektedir. Konsantre edici ve seyreltici dış konsantrasyon polarizasyonunun her ikisi de etkin olan osmotik gücü azaltmaktadır. Konsantrasyon polarizasyonunun olumsuz etkileri akış hızı artırılarak ve türbülans oluşturularak giderilebilir. İleri osmoz prosesinde su akışı düşük olduğundan dış konsantrasyon polarizasyonunun azaltılmasında su akışının artırılması yeterli olmayacaktır.

Tan ve Ng (2008) konsantrasyon polarizasyonunun akış davranışları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında sınır katman (boundary layer) yaklaşımı kullanılarak geliştirdikleri uyarlanmış film modeli ile, dış konsantrasyon polarizasyon katmanını daha önce kullanılan modellere göre daha iyi tanımlamışlardır. Bu yeni geliştirilen model, ileri osmoz membranının poroz katmanında gerçekleşen iç konsantrasyon polarizasyonunun etkisiyle meydana gelen direnci ölçmek için kullanılmıştır. Bu yeni geliştirilen model ile su akışı eski modellere göre daha doğru tahmin etmişlerdir. Bunun yanı sıra dış konsantrasyon polarizasyonunun etkilerini azaltmak için hem çapraz akış hızının hem de sıcaklığın artırılması gerektiğini söylemişlerdir. Şekil 2.4'te ileri osmoz prosesinde geri yıkama mekanizması gösterilmiştir [Tan and Ng., 2008].

Aydiner (2015) geliştirdiği, osmotik basınçlı membranlarda geçen su ve çözünen maddelerin taşınmasına dayanan seri osmotik direnç modelinde osmotik membranların kirlenme davranışlarını derinlemesine analiz etmiştir. Membran arayüz tabakaları üzerindeki kirlenme, membrandaki çözünen katı konsantrasyonu ve tabaka dirençlerini tahmin ederek, normal ve ters membran yerleşim modlarına göre ayrı ayrı ortaya çıkarılmıştır. Gerçek deniz suyunun kullanıldığı çalışmada ileri osmoz için geliştirilen yeni modelde su akışının membran yerleşim modu ve osmoz zamanından bağımsız olarak membran aktif tabakasındaki dirence bağlı olduğu ortaya koyulmuştur [Aydiner, 2015].



Şekil 2.4: İleri Osmoz prosesinde geri yıkama mekanizması.

2.2.2. Deniz Suyu Arıtımı Uygulamaları

Günümüzde su kaynaklarının azalmasına bağlı olarak tatlı su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde deniz suyu ve hafif tuzlu su kaynaklarından temiz su teminini zorunlu hale getirmiştir. Ters osmoz gibi yaygın kullanılan saflaştırma uygulamalarının oluşan konsantre atığın tekrar bertaraf edilmesinin gerekliliği ve bunun getirdiği ek maliyet ile alıcı ortam üzerine olan olumsuz etkileri nedeniyle bu proseslerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Sahil kesimlerinde ortaya çıkan konsantre atık denize deşarj edilirken sahilden uzak iç kesimlerde konsantre atığın saflaştırma sistemleri, atığın kanalizasyona deşarjı veya yüzey sularına verilmesi yada elektrodializ ile konsantre edilerek bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu bertaraf yöntemleri özellikle sahilden uzak iç kesimlerde toplam saflaştırma maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır [Tan and Ng, 2008].

İleri osmoz, deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında artarak önem kazanan yeni bir teknolojidir. Low (2009)' un yaptığı çalışmada deniz suyunun arıtımında, farklı amonyak-karbondiyoksit çekme çözeltileri ve farklı membranlara bağlı ileri osmoz prosesinin performansı incelenmiştir. Kullanılan çekme çözeltileri kıyaslandığında, selüloz triasetat membranının amonyak karbondiyoksit yerine, şeker çözeltisiyle daha yüksek akıya sahip olduğu görülmüştür. Amonyak karbondiyoksitin çekme çözeltisi olarak kullanılması gerekliyse, % 40 daha yüksek akı vermesi sebebiyle amonyak

karbondioksit yerine amonyum karbonatın tercih edilmesi önerilmiştir. Farklı membranların performansları araştırıldığında ileri osmoz membranının nanofiltrasyon membranına göre daha etkin bir performans sunduğu tespit edilmiştir [Low, 2009].

Choi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, deniz suyu desalinasyonu için ileri osmoz ve ters osmoz kombine bir sistem olarak kullanmışlar ve bu çalışmada basit bir film teori modeli uygulanmıştır. Bu çalışma ile, ileri osmoz ve ters osmoz proseslerinin etkilerinin incelenmesi ve sonuçta deniz suyu tuzsuzlaştırılmasında optimum İO ve TO hibrit sistemi geliştirmek amaçlanmıştır. Film teori modelinin deneysel İO verileriyle daha iyi uyum sağladığı belirlenmiştir. İO modunda TO membranının süzüntü akısının, iç konsantrasyon polarizasyondan dolayı 3 M çekme çözeltisi ile 3 L/m².sa'ten daha az olduğu tespit edilmiştir. Beslemede tuz konsantrasyonu artarken, süzüntü akısı, yüksek konsantrasyonlardaki çekme çözeltisinde bile azalmıştır. Yine araştırmaya göre, İO ve TO'nun kombinasyonu ile yalnızca İO ya da sadece TO sistemlerinden daha iyi bir performans sağlanabileceği ortaya konmuştur. Çünkü İO ve TO'nun birlikte kullanımında belirli bazı işletme şartlarında süzüntü akısında artış sağlanmakta olduğu görülmüştür [Choi et al., 2009a].

Son zamanlarda laboratuvar ölçekli çalışmalarda uygun bir İO membranı (örneğin: CTA membran) ve güçlü bir çekme çözeltisi kullanıldığında, deniz suyunun İO ile etkili bir şekilde arıtıldığı açıklanmıştır [McCutcheon et al., 2005], [McGinnis and Lloyd, 2002], [McCutcheon et al., 2006]. McCutcheon ve diğ. (2006)' nin yürüttüğü çalışmada, çekme çözeltisi özel oranlarda amonyum hidroksit ve amonyum karbonatla karıştırılarak amonyum bikarbonat, amonyum karbonat ve amonyum karbamat içeren çekme çözeltisi hazırlanmıştır. Proses analizi tuz konsantrasyonu 2 M olan NaCl ile besleme suyu için 127 bara kadar yüksek ve tuz konsantrasyonu 5 M olan NaCl ile besleme suyu için 238 bar kadar yüksek bir osmotik basınç sürücü kuvvetinin, amonyak/karbondioksit çekme çözeltisi ile de elde edilebileceğini ortaya konmuştur. Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında 2 M NaCl düşünüldüğünde, yaklaşık % 70 su geri kazanımında oldukça yüksek bir itici güçtür. Bu sistemde su seyreltilmiş amonyak-karbondioksit çekme çözeltisinden ve deniz suyundan alınabilmektedir. Yaklaşık 60 °C civarında ısıtıldığında, çekme çözeltisi amonyak ve karbondioksit ayrılır. Seyreltilmiş çekme çözeltisinden temiz ürün suyunun ayrılması çeşitli ayırma metodlarıyla (örnek: kolon distilasyonu veya membran distilasyon (MD)) elde edilebilir. Geride kalan amonyak ve karbondioksit gazları çekme çözeltisine alınmış nihai çözelti, saf ürün sudur ve distilat, İO tuzsuzlaştırma prosesinde yeniden kullanım

için uygun, yeniden konsantre edilmiş bir çekme çözeltisidir. Laboratuvar ölçekli İO verileri göstermiştir ki, amonyak karbondioksit prosesi uygulanabilir bir tuzsuzlaştırma prosesidir. Tuz rejeksiyonu % 95'ten daha fazla ve 25 L/m².sa gibi yüksek akılar, 200 bardan daha fazla hesaplanmış bir itici güçle İO CTA membranıyla elde edilebilmiştir. Tüm bunların sonucunda, İO'nun eksiklikleri, yüksek performanslı bir membran gerektirmesi ve çekme çözeltisinin kolayca ayrılabilir olmasının gerekliliği olarak saptanmıştır. Dahası, İO prosesi doğrudan deniz suyundan su eldesi amaçlı kullanılacaksa ve özellikle yüksek su geri kazanımı istendiğinde, çekme çözeltisinin deniz suyundan çok daha yüksek bir osmotik basınca sahip olması kaydıyla bu prostesten faydalanabileceği sonucuna varılmıştır [Mccutcheon et al., 2006].

İO prosesi, atıksudan temiz su eldesi için bir arıtma prosesi yerine ön arıtma olarak uygulanmaktadır. Atıksuda; organik bileşikler, çözünmüş ağır metaller, toplam çözünmüş katılar v.b. gibi genel kirleticiler bulunduğundan dolayı İO prosesiyle yüksek temiz su parametrelerine ulaşmak oldukça güçtür. İO/TO kombinesi yapılan bir çalışmada TO için gerekli enerjiden daha az enerji tüketildiği, daha iyi kalitede su üretildiği görülmüştür. Aynı zamanda TO prosesi sonucu daha düşük maliyetle geri kazanıma dayalı daha iyi kalitede su üretilmesi için yeterli olduğu görülmüştür [Mccutcheon et al., 2006].

2.2.3. Su ve Atıksu Arıtımında Uygulamalar

Ters osmoz prosesi, su arıtımında ve deniz suyunu tuzsuzlaştırma işlemlerinde günümüzde yaygın olarak ve başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu sistemlerde yüksek enerji gereksinimine bağlı olarak maliyet giderleri de fazladır [Mi and Elimelech, 2008]. İleri osmoz gibi düşük enerji gereksinimine ve yüksek geri kazanım özelliğine sahip osmotik basınçlı membran sistemleri, son yıllarda alternatif bir proses olarak sınırlı sayıdaki araştırmacılar tarafından çalışılmaktadır. İleri osmoz günümüzde, deniz suyunun saflaştırılması ile depolama alanı sızıntı sularının, seyreltik endüstriyel atıksuların ve anaerobik çamur çürütücü sıvılarının konsantre edilmesinde uygulanmaktadır [Cath 2006], [Holloway et al., 2007].

İleri osmoz, atıksu arıtımında nihai bir işlem olmaktan çok saflaştırma işlemi öncesinde bir ön arıtım işlemi olarak kullanılmaktadır. Oldukça farklı özelliklere sahip

depolama alanı sızıntı sularının arıtımı, özellikle yüksek çıkış suyu kalitesinin hedeflendiği durumlarda güçtür. Organik bileşikler, çözünmüş ağır metaller, organik ve inorganik azot ve toplam çözünmüş katılar, kompleks yapıya sahip olan bu çözeltilerde genel kirleticiler olarak bulunur. Bu tür atıksuların arıtımında genellikle organiklerin, azotun ve ağır metallerin giderimi üzerine yoğunlaşmakta, hatta bu amaçla uygulanan arıtım işlemleri toplam çözünmüş katı içeriğini bazı durumlarda arttırabilmektedir. Mekanik buharlaştırma ve membran prosesler atıksudan toplam çözünmüş katı gideriminde uygulanan arıtma işlemleridir. İleri osmoz kullanılarak yapılan toplam çözünmüş katı madde giderim çalışmasında kirleticilerin yüksek oranda membrandan geçişine izin verilmediği ve su geri kazanımının % 94-96 oranında sağlandığı görülmüştür. Ayrıca ham sızıntı suyunun işlenmesi boyunca akı azalması görülmezken konsantre sızıntı suyu için % 30-50 aralığında akı düşüşü gözlemlendiği kaydedilmiştir [Cath et al., 2006].

Gıda endüstrisinde içecekler ve sıvı gıdaların konsantre edilmesinde İO işleminin tat, aroma, renk ve besinsel değerlerin yüksek oranda kalmasını sağlayacak düşük ısı ve basınçlarda işlem yapabilme olanağına sahip olması ve potansiyel olarak hidrolik basınçlı membran proseslerine göre düşük membran kirlenmesinin gözlenmesi gibi pek çok avantajları vardır. Ancak FO'nun gıda endüstrisinde tam ölçekli uygulanmasının önünde, membran optimizasyonunun bulunmaması ve çekme çözeltisi için etkili bir geri kazanım prosesinin olmayışı gibi bazı engeller vardır [Cath et al., 2006]. İO prosesi, tıbbi ilaçların içindeki ilgili bileşiklerin doğal yapısı bozulmadan yoğunlaştırılması ve protein bakımından zenginleştirilmesinde başarıyla kullanılmış ve portakal kabuğu sıkma sıvısını susuzlaştırmak için bir alternatif olarak sunulmuştur [Yang et al., 2009], [Castello et al., 2010]. Son zamanlarda İO-MD kombine uygulaması ile protein çözeltilerinin sürekli işletme şartları altında kararlı bir şekilde işletilebileceği belirlenmiş ve yakın bir gelecekte ilaç veya protein çözeltilerinin konsantre edilmesi için gelecek vaat eden bir bütünlük membran sistemi olduğu ifade edilmiştir [Wang, 2011].

2.2.4. Proses Ekonomisi

Desalinasyon tesislerinde yüksek enerji ihtiyacı, pek çok bölgede bu tesislerin kullanımını kısıtlamaktadır. Gerekli enerjiyi üretmede kullanılan mevcut metodlar,

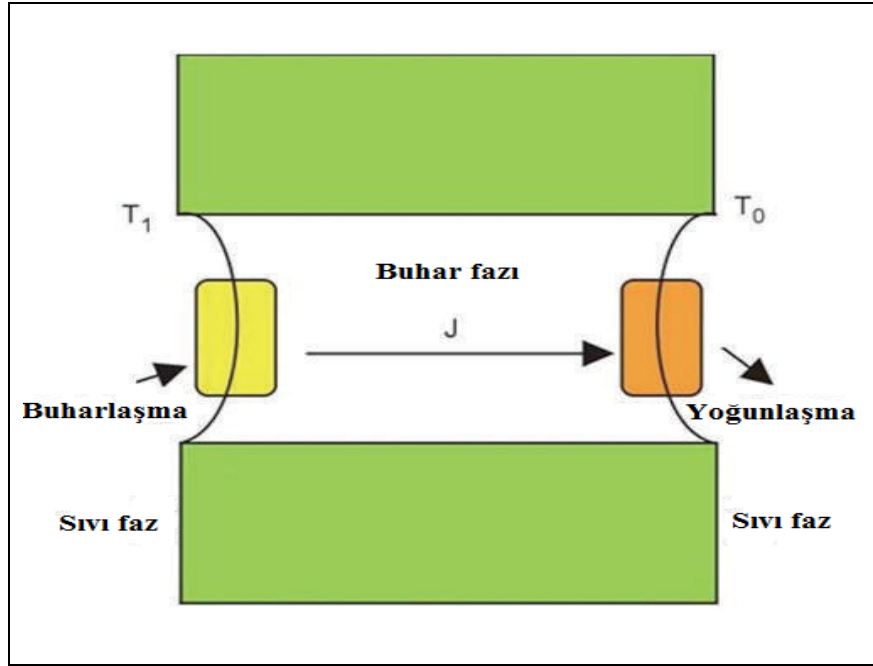
enerji geri kazanım cihazları veya daha geçirgen membranlar kullanılarak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Desalinasyon tesislerinin işletme maliyetlerinin % 75'ine varan seviyeleri ile ürün su maliyetinin % 30-50'si, enerji maliyetlerinden ileri gelmektedir [Cath et al., 2010]. İO prosesinde kullanılan ısı, miktar ve maliyet olarak minimize edilebilmektedir. Çoğu durumda İO, en etkili mevcut termal desalinasyon teknolojisi olan MED için gereken enerjinin yarısı ile işletilebilmektedir. İO, elektrik güç tesisinde yoğunlaştırıcılara giren buharın tipik sıcaklık değeri olan 40 °C gibi düşük sıcaklıklarda işletilebilmektedir. Daha yüksek sıcaklık değerlerinde performansı arttıran sonuç görülebilmektedir. Elektrik tüketimi olarak proses, varolan desalinasyon proseslerinden çok daha düşük enerji sarfı ile çalıştırılmaktadır. Çoğu durumda, üretilen suyun m³'ü başına 0,25 kW/sa'ten daha düşük enerji sarfı söz konusu olmaktadır. TO prosesindeki sarfiyata göre (2,5-4,0 kWsa/m³) bu değer 10 kattan daha düşük olduğu görülmektedir. Bu değer yaklaşık olarak MED ile üretilen su için gereken enerjinin % 21'i, TO için ise % 9'u civarındadır. Düşük maliyette ısı ve minimum enerji tüketimi bir araya getirildiğinde, bu durum İO'yu, enerji maliyetine göre en iyi desalinasyon prosesi yapmaktadır [Web 3, 2018].

Teusner ve arkadaşları deniz suyu desalinasyonunda TO, atıksudan su geri kazanımlı TO ve geliştirdikleri İO/TO hibrit sistemlerinin maliyetlerini araştırmışlardır. 3 farklı desalinasyon senaryosunun maliyetlerini araştırdıklarında geliştirdikleri hibrit İO/TO prosesinin desalinasyon maliyetinin 0,59 \$/m³ ile atıksudan su geri kazanımlı TO tesisiyle (0,61 \$/m³) yarışabilir olduğunu, TO prosesinden (0,67 \$/m³) ise %12 daha ucuz olduğunu ve İO/TO hibrit sistemiyle %7 enerji tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları hassasiyet analizinde maliyetin İO membran fiyatıyla çok fazla değişmediğini belirtmişler, İO akısındaki artışın arıtma maliyetine olumlu etkisine dikkat çekmişlerdir [Teusner et al., 2017].

2.3. Membran Distilasyon Prosesi

Membran distilasyonu, sürücü kuvveti membran arayüzünde oluşan buhar basıncı farkı olan bir membran proses çeşididir. Membran distilasyonunda mikro gözenekli hidrofobik membran tarafından sıcak su ve soğuk su akımlarının birbirinden ayrılması sağlanır. Hidrofobik membran, su buharının geçmesine izin verirken, suyun gözeneklerden geçmesini engeller. Besleme ve süzüntü akımlarındaki sıcaklık farkı ile

su buharının membran üzerinden geçmesi ve soğuk yüzey üzerinde yoğunlaşması sağlanır. Böylece, uçucu olmayan maddelerin su buharına karışmasına izin verilmeyerek, geleneksel distilasyonun göre daha yüksek saflıkta süzüntü/distilat elde edilir [Charcosset, 2008]. Membran distilasyon prosesi Şekil 2.5'te gösterilmiştir [Web 4, 2018].



Şekil 2.5: Membran distilasyon prosenin şematik gösterimi.

Membran distilasyonu desalinasyon teknolojileri arasında düşük enerji ihtiyacı, düşük işletme basıncı ve sıcaklığı, ters osmoz ve distilasyon gibi geleneksel teknolojilere göre daha düşük maliyetli bir alternatif olması ile ön plana çıkmaktadır. Membran distilasyonunda kalıcı organiklerin tamamı giderilerek içme suyu üretiminde ve diğer saflaştırma işlemlerinde başarıyla uygulanmaktadırlar. [Pangarkar et al., 2011].

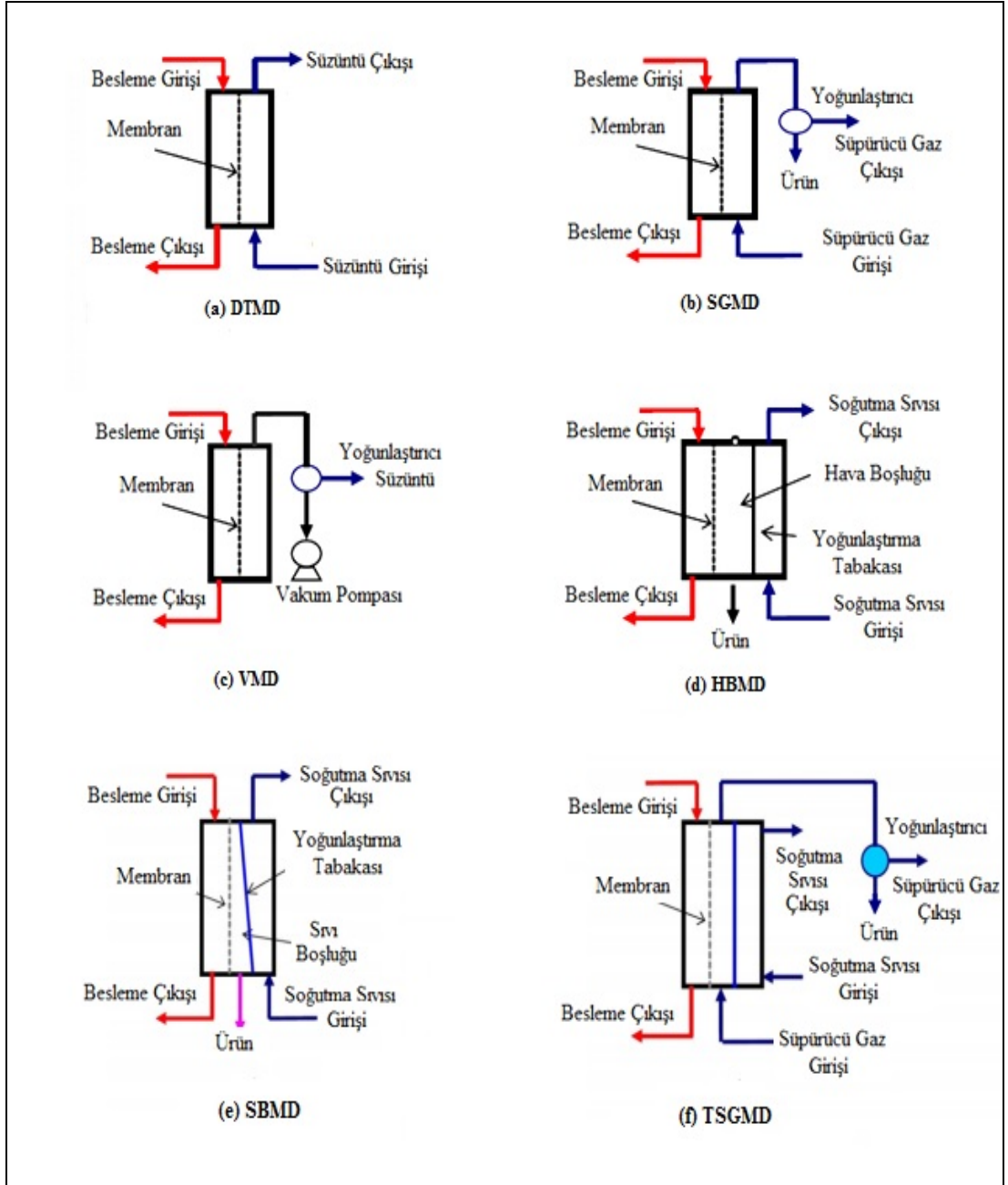
Membran distilasyonu diğer geleneksel ayırma proseslerine göre bazı üstünlüklere sahiptir. MD prosesiyle iyonların, makromoleküllerin, kolloidlerin ve uçucu olmayan bileşiklerin teorik olarak tamamı tutulmaktadır. Geleneksel distilasyona göre daha düşük sıcaklıklarda işletilebilmektedirler. Daha az mekanik ekipmana ihtiyaç duymaktadırlar. Basınç sürücülü membran prosesler gibi yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Geleneksel distilasyonda tam bir sıvı-buhar teması sağlayabilmek için yüksek buhar hızları gerekiyken MD de sıvı-buhar

arayüzünü desteklemek için hidrofobik mikro gözenekli membran kullanılır. Geleneksel distilasyonda kolonda büyük buhar boşluğuna ihtiyaç duyulmasına karşın MD de daha az buhar boşluğuna ihtiyaç duyularak 100 µm kalınlığındaki membranın gözenek hacmi yeterlidir. MD distilasyonunda besleme sıcaklığı genellikle 60-90 °C arasında değişse de literatürde 30 °C sıcaklıklarda da işletilebildiği görülmektedir. Bu nedenle güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı gibi alternatif enerji kaynakları MD sistemlerinde kullanılarak hem enerji tasarrufu sağlanabilmekte hemde işletme maliyetleri azaltılabilmektedir [Qtaishat and Banat, 2013].

Membran distilasyonun dezavantajı ise membranın ıslanmasıdır. Mikro gözenekli membranların ıslanabilirliği çözeltinin yüzey gerilimine, membranın yapısına ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Membran ıslanmasının üstesinden gelmek için sulu ve yeterince seyreltilmiş çözeltiler kullanılmalıdır [Qtaishat and Banat, 2013].

2.3.1. Membran Distilasyon Teknolojileri

Membran distilasyon prosesinde sürücü kuvvet olarak buhar basıncını uygulama ve buhar yoğunlaştırma işlemleriyle süzüntü toplama çeşidinde gösterdiği farklılıklara göre 6 farklı MD konfigürasyonu mevcuttur. Bunlar; direkt temas membran distilasyonu (DTMD), süpürücü gaz membran distilasyonu (SGMD), vakum membran distilasyonu (VMD), hava boşluklu membran distilasyonu (HBMD), sıvı boşluklu membran distilasyonu (SBMD) ve termostatik süpürücü gas membran distilasyonudur (TSGMD). [Lei et al., 2005], [Susanto, 2011], [Qtaishat and Banat, 2013], [Asghari et al., 2015]. Farklı MD konfigürasyonları Şekil 2.6'da gösterilmiştir [Qtaishat and Banat, 2013], [Asghari et al., 2015].



Şekil 2.6: MD teknolojilerinin gösterimi (a) DTMD, (b) SGMD, (c) VMD, (d) HBMD, (e) SBMD, (f) TSGMD.

2.3.1.1. Direkt Temas Membran Distilasyonu (DTMD)

DTMD membran konfigürasyonları içinde en eski ve en yaygın kullanılanıdır. Membranın her iki tarafıda doğrudan sıvı fazlarla ile temas halindedir. Bu konfigürasyonda yüksek sıcaklıktaki besleme suyu buhar fazında membrandan geçerek soğuk olan süzöntü tarafında yoğunlaşmaktadır [Qtaishat and Banat, 2013].

DTMD'lerin diğer konfigürasyonlara göre montaj kolaylığı, yüksek akı gibi avantajları olsada ilk işletimde süzüntü tarafında bir miktar soğuk suyun bulunması gerekliliği ve soğuk süzüntü akısının membranla direkt temasından dolayı ısı kaybının daha fazla olması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle termal etkinlik diğerlerine oranla daha azdır ve bu da maliyeti arttıran önemli bir faktördür.

DTMD meyve sularının konsantre edilmesinde, sulu çözeltilerden nitratin uzaklaştırılmasında zeytin atıksularının arıtılmasında, boyalar ve tuzlar içeren atıkların arıtılmasında kullanılmaktadır. DCMD, sadeliği nedeniyle en çok çalışılan MD konfigürasyonu olmasına rağmen, endüstri VMD ve HBMD modülleri geliştirmeye odaklanmıştır [Gonzalez et al., 2017].

2.3.1.2. Hava Boşluklu Membran Distilasyonu (HBMD)

HBMD konfigürasyonunda, soğutma haznesi membrandan bir plaka vasıtasıyla ayrılarak arada hava boşluğunun oluşturulması sağlanır. Bu konfigürasyonda, membrandan geçen buhar moleküllerinin hava boşluğuyla karşılaştıktan sonra plaka üzerinde yoğunlaşması sağlanarak yoğunlaşan kısım hava boşluğundan atılır. Soğutma kısmında buharın yoğunlaşmasıyla açığa çıkan gizli ısıyı gidermek için soğutma suyu kullanılır. Hava boşluğunda bulunan durgun hava ısı ve kütle transfer direncini artırarak membrandan düşük kütle akısı geçmesine neden olur. Havanın düşük ısı iletkenliğinden dolayı, ısı kaybı DTMD'ye kıyasla az olsada bu durum akının azalmasına neden olmaktadır [Gonzalez et al., 2017].

Bununla birlikte, DTMD'nin aksine, HBMD'de modülünün süzüntü tarafında membran ıslanma tehlikesi olmadığından bazı uçucu maddelerin (örneğin, alkoller) sulu çözeltilerden ayrılması da mümkündür. Ayrıca AGMD, yoğun olmayan gazların giderilmesi, etanol, butanol ve aseton-butanol-etanol karışımının sudan uzaklaştırılması için kullanılabilir [Gonzalez et al., 2017].

2.3.1.3. Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu (SGMD)

SGMD konfigürasyonunda membrandan geçen buhar süpürücü bir gaz yardımıyla modül dışına alınarak yoğunlaştırılır. SGMD'de süpürücü gazın işletim boyunca sıcaklığının artması ve büyük miktarlarda süpürücü gaza ihtiyaç duyulması

dezavantaj oluşturarak SGMD'nin yaygın kullanımını sınırlandırmıştır. SGMD'de HBMD'den farklı olarak soğutma haznesine süpürücü gaz gönderilerek membran ve yoğunlaşma yüzeyinin durgun bir hava ile bölünmesi yerine membran yüzeyi boyunca hava akımı oluşturularak hava akımındaki kütle transferinin artırılması amaçlanmaktadır [Lei et al., 2005].

2.3.1.4. Vakum Membran Distilasyonu (VMD)

VMD konfigürasyonunda membrandan geçen buhar modül dışına yerleştirilen vakum pompası ile dışarı alınarak modül dışına yerleştirilen yoğunlaştırıcı vasıtasıyla yoğunlaştırılarak süzüntü elde edilmektedir.

Membranın süzüntü tarafındaki basınç çok düşüktür ve membranın iki tarafındaki basınç farkı porlarda kütle akışını artırarak VMD'deki toplam kütle transferini arttırmaktadır. VMD'nin kütle akısı genellikle diğer MD konfigürasyonlarından daha büyüktür [Lei et al., 2005]. Kirlenme ve membranın ıslanma eğilimi diğer MD konfigürasyonlarından daha fazladır. Sulu çözeltilerden uçucu organiklerin ayrılmasında, farklı boya türleri içeren atıksuların arıtılmasında ve deniz suyunun arıtılmasında uygulandığı bildirilmiştir [Gonzalez et al., 2017].

2.3.1.5. Sıvı Boşluklu Membran Distilasyonu

Sıvı boşluklu membran distilasyonunda (SBMD) membrandan geçen buhar akımı, süzüntü tarafıyla temas halindeki durgun soğuk sıvı tabakası ile karşılaşır ve kondanse olarak modülün alt tarafından süzüntü olarak toplanır.

2.3.1.6. Termostatik Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu

Termostatik süpürücü gaz membran distilasyonunda (TSGMD), SGMD olduğu gibi membrandan geçen buhar süpürücü bir gaz yardımıyla modül dışına alınarak yoğunlaştırılır. Sıcak ve soğuk akımlar arasındaki sıcaklık farkını korumak amacıyla TSGMD'de, SGMD'den farklı olarak soğutma sıvısı yardımıyla süpürücü gazın işletim boyunca sıcaklığının artması önlenmektedir.

2.3.2. Deniz Suyu Arıtımı Uygulamaları

Günümüzde genellikle içme suyu temini nehir, göl ve yeraltısuyu gibi tatlı su kaynaklarından sağlansada, iklim değişikliği, hızlı nüfus artışı ve tatlı su kaynaklarının kısıtlı olması sebebiyle deniz suyundan içme suyu üretimi son yıllarda ciddi bir ivme kazanmıştır. Deniz suyundan içme suyu üretiminde halen en yaygın teknoloji TO ve onu takip eden geleneksel termal distilasyon prosesleri olsada MD'nin TO ve diğer distilasyon proseslerine kıyasla daha yüksek su kazanım oranı, enerji ihticacının az oluşu, güneş enerjisi, atılısı vb. gibi alternatif enerji kaynaklarıyla işletilebilmesi membran distilasyonu ile içme suyu üretimini araştırmacılar için popüler hale getirmiştir.

Banat ve Simandl, desalinasyon için hava boşluklu MD modülünde PVDF membranı kullanarak TÇM miktarı 5 mg/L'den az olan yüksek kalitede su elde ettiklerini bildirmişlerdir [Curcio and Drioli, 2005].

Lawson ve Lloyd, DTMD prosesinde 75 °C besleme, 20 °C süzüntü ile yürüttükleri çalışmada 2,0 mol/m².s'ye ulaşan akı değerleriyle deniz suyunu arıtarak DTMD'nin deniz suyu arıtımında uygulanabilir bir proses olduğunu söylemişlerdir. [Curcio and Drioli, 2005].

Godino ve arkadaşları DTMD prosesinde konsantre NaCl çözeltisinden saf su etmek için, PTFE membranlar ile çalışarak sıcaklığın ve tuz konsantrasyonunun sistem performansına etkisini incelemişlerdir. Besleme çözeltisindeki konsantrasyonun 0,5 mol/L'den 2 mol/L'ye arttırıldığında akının % 20 azaldığını, besleme akımının sıcaklığını 30 °C'den 50 °C'ye arttırdıklarında ise akının %100 arttığını bildirmişlerdir. [Curcio and Drioli, 2005].

Drioli ve arkadaşları tarafından desalinasyon tesislerinde su geri kazanım oranının arttırılması için ters osmoz ile membran distilasyonunun beraber kullanılması önerilmiştir. TO ve MD entegre edildiğinde su kazanım oranının % 87,6 olduğu ve deniz suyu konsantrasyonunun da azaltılarak çevreye olan olumsuz etkinin de azalacağı bildirilmiştir [Curcio and Drioli, 2005].

Entegre NF/TO/MD sistemi için gerçekleştirilmiş ayrıntılı enerji ve ekserji analizlerinin yapıldığı çalışmada tesisin işletilmesi için 13 kWsa/m³'e ihtiyaç duyulduğu söylenmiş ve bu değer düşük ısılı termal enerji ile 2,6 kWsa/m³'e düşürülebileceği ve böylece toplam işletme maliyetinin de 0,56 \$/m³ olacağı bildirilmiştir [Curcio and Drioli, 2005].

Martinetti ve arkadaşları vakum membran disitilasyonu ve ileri osmoz prosesleri ile toplam çözünmüş madde konsantrasyonları 7500 ve 17.500 mg/L olan ters osmoz konsantrelerinin artımı üzerinde çalışmışlardır. Ters osmoz konsantrelerinden, ileri osmoz ile % 90, VMD ile % 81 su kazanımı elde edildiğini ve membran yüzeyinde inorganik tuzların çökmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca çeşitli temizleme yöntemleriyle membran yüzeyindeki bu tabakayı temizlemeyi ve yaklaşık başlangıç seviyelerindeki su akısını elde etmeyi başarmışlardır [Martinetti et al., 2009].

Quintanilla ve arkadaşları, besleme çözeltisi olarak ikincil arıtma çıkış suyu ve çekme çözeltisi olarak kızıl deniz suyunu kullanarak, ileri osmoz ve düşük basınç ters osmoz proseslerini birlikte uygulamışlardır. Sistemin yüksek basınçlı ters osmoz desalinasyonuna kıyasla (2,5–4 kWsa/m³) gereken enerjinin % 50'sini (~1,5 kWsa/m³) tükettiğini belirleyerek ve yüksek kalitede su üretildiğini bildirmişlerdir. 14 günü aşan uzun vadeli deneylerde ileri osmoz membranlarındaki kirlenmenin, önemli seviyelere ulaşmadığını 10. günden sonra, başlangıç akısının % 28 azaldığını tespit etmişlerdir. İleri osmoz membranlarını hava ve temiz su ile temizleyerek ileri osmozun başlangıç akısını, % 98,8'lere kadar geri yükseltmeyi başarmışlardır. İleri osmoz membran modülü, ters osmoz prosesinin besleme tankında batık olarak uygulanmış ve yüksek ileri osmoz akısı elde edilememiştir [Quintanilla et al., 2011].

Mahmoudi ve ark. yaptıkları çalışmada tuzlu suyu ısı kazanımlı süzöntü boşluklu MD modülünde arıtmışlardır. 0,12 m² etkin membran alanına sahip modülde besleme ve temiz su akımlarında 82-15 °C sıcaklıkta çalışmışlar ve besleme akımının hızını 0,1-1,1 L/dak. arasında değiştirdiklerinde temiz su akısının 2-12 kg/m²sa arasında değiştiğini, sistemin termal enerji ihtiyacının ise 1000-2500 kWsa/m³ arasında değiştiğini bildirmişlerdir [Mahmoudi et al., 2017].

Zhao ve ark. MD ile deniz suyu arıtımında yüksek hidrofobikliğe sahip membranların kullanımının önemini bildirmişlerdir. Çalışmalarında florografit partiküllerini membran yüzeyinde biriktirerek hidrofobik PVDF membranları elde etmek için bir yüzey modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Yüzey hidrofobikliği, membran yüzeyindeki florografit parçacıklarının sayısındaki artışla artmaktadır. Florografit modifikasyonundan sonra, elde edilen membranlar, yüksek konsantrasyonda (ağırlıkça %10) sodyum klorür çözeltisi kullanılarak, DTMD prosesinde test edildiğinde daha iyi ıslanma direnci ve daha iyi performans sergiledikleri görülmüştür. Modifiye PVDF membran yaklaşık 200 saat performans sergilerken, bozulmamış PVDF membranı ile sadece 70 saat çalışılabilmiştir.

Florografitle kaplanmış PVDF membranın su akısının PVDF membrana göre <%16 azaldığını bildirmişlerdir [Zhao et al., 2017].

İO-TO ve İO-MD uygulamaları, yenilikçi ve ekonomik uygulanabilir bütünleşik/kombine membran sistemleri olarak son zamanlarda dikkat çekmektedir. İO prosesi ile ön arıtma sağlanarak sonraki adımda TO veya MD prosesinin performansında artış sağlanması, bu sistemleri etkin kılan temel faktör olmaktadır. Ancak, sistemin çeşitli su kaynaklarından su eldesi ve özellikle de maliyet değerlendirmeleri üzerine çalışmalar literatürde mevcut değildir. Var olan birkaç çalışma, duruma ait özel uygulamaları içermekte, birim su eldesi maliyetleri ve bu maliyetlerdeki azalmaları MD prosesi uygulamaları içermemektedir. Ayrıca mevcut çalışmalarda ekonomik değerlendirmelerin detayı hakkında çok kapsamlı bilgi sunulmamakla birlikte, özel mühendislik araçları kullanılmaksızın yapılmış hesaplamaların ne kadar güvenilir/kesin sonuçlar taşıdığı da değerlendirilememektedir. İO/MD bütünleşik sistem uygulamasının, 2010 yılı itibarıyla bu çalışmada önerilmiş arıtma yaklaşımı amacına dönük olarak teoride uygulanabilirliğini içeren bir USA patenti söz konusudur [Cath et al., 2010].

2.3.3. Su ve Atıksu Arıtımında Uygulamalar

MD'nin başlıca uygulama alanları tuzdan arındırma, tuzlu suyun konsantre edilmesi, atıksu arıtımı, gıda endüstrisi ve gıda dışı kimyasal proses uygulamalarıdır. Özellikle tuzlu suyun MD ile konsantre edilmesiyle ilgili çalışmalar literatürde büyük bir hızla artmaktadır. MD'nin gıda endüstrisinde daha çok meyve suları, kokulu ve aromatik bileşikler ile peynir altı suyunun konsantre edilmesi ve et suyunun fermantasyonu sonucu oluşan etanol ve diğer uçucu bileşiklerin uzaklaştırılması için uygulanır. Geleneksel olarak, meyve suları, vakumla buharlaştırma kullanılarak konsantre edilir. Bu tekniğin lezzet kaybı, pişmiş tat ve renk bozulmasına yol açtığı bilinmektedir. Bu nedenle, gıda endüstrisi, meyve suyunun konsantre edilmesi için alternatif yöntemler geliştirmekte yatırım yapmaktadır. MD gıda dışındaki kimyasal proseslerde, butanol, gliserol, izopropanol, sukroz ve sülfürik asit gibi bileşiklerin konsantre edilmesi, amonyak ve uçucu organiklerin giderimi, asitlerin ve polifenollerin geri kazanımında kullanılabilir [Thomas et al., 2017].

MD atıksuların arıtımında da başarıyla uygulanmaktadır örneğin boya içeren tekstil atık sularının düşük aerobik bozunurluklarından ötürü arıtılmaları zordur. Mevcut arıtma yöntemlerinde ozonlama ile birlikte TO ve NF gibi membran prosesler ve aktif karbon adsorpsiyonu uygulanmaktadır. Bu teknolojiler, boya bileşenlerinin tamamen bozulmasını ve ayrılmasını başaramamaktadır. MD boya içeren atıkların etkili bir şekilde arıtılması için uygun alternatif bir teknolojinin geliştirilmesi için fırsat oluşturmaktadır. MD tekstil atıksularının yanı sıra geleneksel yöntemlerle arıtılamayan zeytin atıksuyu, süt endüstrisi, petrol ve gaz endüstrisi, madencilik, kömür gazlaştırma tesisleri ve kauçuk endüstrisinden kaynaklanan farklı tipteki atıksuların arıtımında da uygulanmaktadır. Bunların yanı sıra MD sulardan bor, arsenik, florür ve herbisitlerin uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır [Thomas et al., 2017].

2.3.4. Membran Kirlenmesi ve Temizleme

Membran kirlenmesi, membranın yüzeyinde ve gözeneklerinde çözünmüş veya kolloidal organik maddelerin birikmesinden kaynaklanır. Organik, inorganik veya biyolojik kirlenme, partiküler veya kolloidal kirlenme gibi farklı kirlenme çeşitleri mevcuttur. MD prosesindeki kirlenmenin nedenleri; membran sınır tabakasında çözünen maddelerin kimyasal reaksiyonu, membran yüzeyinde kirletici ve tuzların çökmesi, organik bileşenlerin membrana adsorbe olması, makromoleküler bileşenlerin geri-dönüşsüz jel oluşturması ve bakteri ve mantarların membran yüzeyinde büyümeleridir. Membran distilasyonunda kirlenme daha çok çözülebilir CaSO_4 , CaCO_3 tuzlarının ve silikatın membran yüzeyinde çökmesiyle meydana gelir. Oluşan çökelti tabakası su buharının membran boyunca taşınımını engeller. Çünkü membran yüzeyinde oluşan kirlilik tabakası hidrofobik membranın ıslanabilirliğini arttırmakta, bu da proses verimini düşürmektedir. Ayrıca bu tabaka ek bir termal direnç oluşturarak beslemeden buharlaşma ve yoğunlaşma yüzeylerine olan ısı transfer katsayısı düşürmekte ve sıcaklık polarizasyonu arttırmaktadır. Sonuç olarak, kütle transferi için gerekli olan sürücü kuvvet azalmakta ve süzöntü akısında önemli bir düşüş gözlenmektedir [Nghiem et al., 2011], [Gryta, 2011].

MD proseslerindeki kirlenmeyi kontrol etmek için kullanılan yöntemler besleme çözeltisinin ön arıtımı ve membran temizlemesidir. Ön arıtmanın seçimi, besleme

suyunun özelliklerine, membran türüne, su geri kazanım miktarına ve membran temizleme sıklığına bağlıdır. İyon değiştiricilerin ön arıtım olarak kullanılmasının önemli miktarda kirleticiyi tuttuğu literatürde belirtilmiştir. Aynı zamanda diğer membran sistemleri ile kombine olarak kullanılan MD sistemleri de mevcuttur ve bu sistemlerin arıtım maliyetlerini düşürdüğü raporlanmıştır. Kimyasal temizleme ile ilgili çalışmalarda membran yüzeyindeki CaCO_3 birikiminin % 2-5'lik HCl ile temizlenebildiği gözlenmiştir [Gryta, 2011].

2.3.5. Proses Ekonomisi

Proses ekonomileri üzerine yapılan ilk değerlendirmeler deniz suyu tuzsuzlaştırma işleminde PTFE membran kullanımının, ticari membran modüllerinin yüksek fiyatta olması nedeniyle, membran distilasyon maliyetini aşırı yüksek bir seviyeye çıkardığını göstermiştir. Günümüzde ise bu eğilim tersine dönmüştür. MD ile deniz suyu tuzsuzlaştırılmasını anlatan araştırmalar yakın zamanda daha da artmaya devam etmektedir. Tuzsuzlaştırma veya ayırma işlemlerinin maliyeti, işleme tabi tutulan suyun menşei, kalitesi ve tesis boyutlarının farklı olmasından dolayı bölgeden bölgeye değişir. Membran distilasyonu için birçok önde gelen maliyet bileşenleri henüz bilinmemektedir. Bunun nedeni, proses kütle üretiminin fayda maliyetini elde etmek için ticari bir boyutta uygulanmış olmaması ve ayrıca süzüntü akısı, ön arıtım, kirlenme ve membran ömrü gibi faktörler hakkında pratikte yeterli düzeyde bilgi edinilmemiş olmasıdır.

Al-Obaidani ve diğ., 24000 m³/gün'lük bir DTMD tuzsuzlaştırma tesisi için ekserji hesaplamaları ve ekonomik değerlendirme yapmıştır. En uygun performansı kontrol etmek için iki durum çalışması dikkate alınmıştır Besleme suyunun ön ısıtımında kullanılması için tuzlu sudan elde edilen ısının tekrar kullanımını amaçlayan ısı geri kazanımlı MD (ısı geri kazanımı verimliliği 80.) Isı geri kazanımlı membran distilasyonu için tahmini su maliyeti 1,17 \$/m³'dür ve bu değer yaklaşık 1,00 \$/m³ olan çoklu etkili distilasyon (MED) ve 1,40 \$/m³ olan çok aşamalı flash (MSF) gibi geleneksel termal prosesler ile karşılaştırılabilir bir değerdir. Ancak düşük seviyeli termal enerji kaynağı kullanılacağı zaman önemli tasarruflar gerçekleşmekte ve böylece MD maliyetinin düşürülmesi sağlanılarak ters osmoz tarafından üretilen su maliyeti (0,50 \$/m³) miktarına yaklaşılmaktadır [Al-Obaidani et al., 2008].

Yeni geliştirilmiş bir membran bazlı distilasyon kavramı olan Memstill® deniz suyu ve acı su için var olan mevcut tuzsuzlaştırma teknolojilerinin ekonomisini ve ekolojisini geliştirecek bir potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu teknoloji hava geçişli membran distilasyon modülünün içine MSF ve MED yöntemlerini kombine etmiştir. Proses, düşük seviyede atık buharı veya ısısını sürücü kuvvet olarak kullanarak tuzsuzlaştırma maliyetini 0.26 \$/m³'e düşürmeyi hedef göstermiştir. [Al-Obaidani et al., 2008], [Meindersma et al., 2016].

Bazı literatür kaynaklarından elde edilmiş MD su üretim maliyetleri Tablo 2.4'de sunulmuştur [Al-Obaidani et al., 2008].

Tablo 2.4: MD su üretim maliyetleri.

Uygulama	Maliyet (\$/m ³)	Yıl
Sadece MD	1,17	2007
Düşük ısıli enerji kaynağı kullanan MD	0,64	2007
Ucuz endüstriyel atık ısıli MD	0,26	2007
Enerji kazanımlı NF+TO + kullanılabilir ısı enerjili MD	0,56	2007
Enerji kazanımsız NF+TO + kullanılabilir ısı enerjili MD	0,80	2007
Enerji kazanımlı NF+TO + kullanılabilir ısı enerjisiz MD	0,73	2007
Enerji kazanımsız NF+TO + kullanılabilir ısı enerjisiz MD	0,97	2007
TO+MD	1,25	2004
Sadece MD	1,32	2004

Tablo 2.4 incelendiğinde, MD ile su üretim maliyetleri laboratuvar uygulamalarına dayalı olarak değişken değerlerde olup, standard bir maliyet seviyesinden bahsetmek pek mümkün değildir. Buna karşın, 1-1,2 \$/m³ seviyeleri, enerji etkili olmayan MD prosesler için maliyet tanımlayıcı makul seviyeler olarak gözükmektedir.

Güneş enerjisi ile ısıtılan 0,1 ve 0,5 m³/gün kapasiteye sahip pilot ölçekli membran distilasyon tesislerinin birim arıtma maliyetleri sırasıyla 29,9 ve 36 \$/m³ hesaplanarak bu değerlerin membran ömrünün artırılmasıyla 15 ve 18 \$/m³'e düşürüldüğü bildirilmiştir [Banat and Jwaied, 2008]. Isıtma için güneş enerjisinin kullanıldığı bir başka çalışmada ısı geri kazanımlı direk temas membran distilasyonu

(DTMD), hava boşluklu membran distilasyonu (HBMD) ve vakum membran distilasyonu (VMD) kullanılarak birim arıtma maliyetleri sırasıyla 12,7 \$/m³, 18,26 \$/m³, 16,02 \$/m³ hesap edilmiştir [Saffarini et al., 2012].

Tilki, yaptığı hesaplamalarda 100000 m³/gün kapasiteli, atıl ısı ile işletilen ısı kazanımlı tek kademe ve çift kademe MD uygulamalarının birim arıtma maliyetini tek kademe MD için 0,58 \$/m³, 0,49 \$/m³ hesaplamıştır. Ayrıca bu tesislerden kaynaklanan karbon salınımlarının da maliyeti hesaba kattıldığında 10-150 \$/ton CO₂-e karbon vergileri için tek kademe MD'nin maliyeti 0,59-0,75 \$/m³'e yükselirken, çift kademe MD uygulamasının maliyeti 0,50-0,64 \$/m³'e yükselmiştir [Tilki, 2016].

2.4. Literatür Değerlendirmesi

Günümüzde desalinasyon dünyada tatlı su ihtiyacının karşılanması için umut verici bir alternatiftir haline gelmiştir. Desalinasyon endüstrisinin, tüm dünyada nüfus artışı ve hızlı sanayileşme ile eş zamanlı olarak eş görülmemiş bir şekilde büyümesi beklenmektedir. Yeni tuzdan arındırma tesisleri planlanırken aşağıdaki alanların uygun şekilde dikkate alınması gerekmektedir:

Günümüzde %63'lük payla en yaygın kullanılan desalinasyon teknolojisi TO'un yüksek enerji tüketimi, ilave ön arıtım gereksinimi, üretilen deniz suyu konsantrasyonunun bertarafı, gürültü ve hava kirliliği gibi bir takım çevreye olumsuz etkileri söz konusudur. [Greenlee et al., 2009], [Liu et al., 2013], [Fuentes–Bargues, 2014]. Deniz suyu konsantrasyonu düşük konsantrasyonlarda ağır metaller, anti-skalanlar, köpük önleyici maddeler (polietilen ve polipropilen glikoller), pıhtılaştırıcılar ve temizlik maddeleri içerebilir. Deniz ortamına boşaltılan konsantrasyonlar, sudaki organizmaları üzerinde akut veya uzun süreli etkilere sahiptir. Bu etkilerin gerçekleşmesi atığın toksisitesi, boşaltılan miktarlar ve su kolonunda ortaya çıkan konsantrasyonlar gibi bir dizi faktöre bağlıdır.

Konsantrasyon hacmi, ilave desalinasyon ve buharlaştırma aşamaları ile azaltılabilir, böylece hemen hemen tüm su alınarak kuru kristalli bir kalıntı bırakılır. Sıfır sıvı deşarj (ZLD) teknolojileri, günümüzde büyük ilgi çekmektedir çünkü geleneksel diğer konsantrasyon bertaraf seçeneklerinin uygulanabilir olmadığı yerlerde atık bertarafı için potansiyel olarak kabul edilmektedir [Missimer, 2018]. Özellikle kıyı bölgelerden uzak iç kesimlerde kurulan desalinasyon tesisleri için sıfır sıvı deşarjı (ZLD) çevre

dostu bir yaklaşımdır. ZLD ile konsantre tuzdan arındırılmış su ve kuru tuz üretmek üzere işlemden geçirilir. Günümüzde ZLD uygulamalarında termal kristalizasyon ve buharlaştırma havuzları yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [Miller, 2015]. Gelecekte daha az enerji tüketen, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla da işletilebilen aynı zamanda konsantre yönetiminide içine alacak çevre dostu eko-yenilikçi desalinasyon teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Arıtma maliyetleri, son yıllarda hem termal hem de membran teknolojileri için önemli ölçüde azalmıştır. Özellikle TO teknolojisindeki gelişmeler, tesis kapasitesinin artması, daha yüksek akıda işletilebilmeleri ve yeni geliştirilen membranlardan dolayı kayda değer maliyet azaltımları sağlanmıştır. Fakat membran ve enerji geri kazanım teknolojilerindeki sürekli iyileştirmelere rağmen, ekipman hammaddesi ve enerji maliyetleri hızla artmaktadır. Bu nedenle gelecekte desalinasyon maliyetlerinin daha da azaltılabilmesi oldukça zordur. [Gude, 2016].

Deniz suyunun desalinasyonunda güneş enerjisi ve atık ısı ile verimli bir şekilde işletilebilen membran distilasyonu gibi TO'a rakip olabilecek desalinasyon teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Sürdürülebilir bir çevre yönetimi için yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem verilmelidir. Sadece enerji tüketimini en aza indirmeye değil aynı zamanda çeşitli seçeneklerle su geri kazanımını arttırmaya da odaklanılmalıdır [Miller, 2015], [Gude, 2016].

TO kıyasla, düşük kirlenme eğilimi, yüksek süzme verimi, daha az enerji gereksinimi ve karbon salınımı gibi avantajlara sahip olmaları nedeniyle ileri osmoz (İO) ile membran distilasyonu (MD) ve bu iki prosesin entegre edilerek kullanılmasıyla ilgili çalışmalar artmaktadır. [Drioli et al., 2015], [Blandin et al., 2015], [Tsai et al., 2017]. Daha etkin ileri osmoz membranları üretilmesinin ve daha ekonomik membran distilasyon prosesi işletim teknolojileri/teknolojik uygulamalarının (enerji kazanımlı sistemler ve yeni nesil modül tasarımları gibi) geliştirilmesine bağlı olarak, İO ve MD proseslerinin pratik uygulamalar için daha etkin hale getirilmesi membran bilimi ve teknolojisi uzmanlarınca beklenen bir gerçektir. Her iki yenilikçi prosesin pratiğe dönük etkin uygulanabilirliği üzerine yapılan bilimsel çalışmalar yaygınlaştıkça da, bu proseslerin çevre koruma amacıyla su temini ve atıksulardan su geri kazanımı ve atık maddelerden ticari ürün eldesi amacıyla kullanımlarının artacağı da ortadadır.

Membran distilasyon prosesinin, deniz suyu arıtımında ters osmoz prosesi ile ekonomik olarak rekabet edebilir hale getirilmesi üzerine son yıllarda yapılan çalışmalarda önemli seviyelerde artışlar meydana gelmiştir. Bu anlamda MD prosesine, TO prosesinin olumsuzluklarını (yüksek bor giderimi sebebiyle bazı şartlarda TO sonrası ilave bor giderimi uygulamasını ortadan kaldırması, rölatif olarak çözünmüş inorganikleri ve uçucu olmayan organikleri daha yüksek seviyelerde süzme oranı ve TO konsantrelerinin bertarafı) giderebilecek bir membran proses gözüyle bakılmaktadır.

İO-TO ve İO-MD uygulamaları, yenilikçi ve ekonomik uygulanabilir bütünleşik/kombine membran sistemleri olarak son zamanlarda dikkat çekmektedir. İO prosesi ile ön arıtma sağlanarak sonraki adımda TO veya MD prosesinin performansında artış sağlanması, bu sistemleri etkin kılan temel faktör olmaktadır. Ancak, sistemin çeşitli su kaynaklarından su eldesi ve özellikle de maliyet değerlendirmeleri üzerine çalışmalar literatürde mevcut değildir. Var olan birkaç çalışma, duruma ait özel uygulamaları içermekte, birim su eldesi maliyetleri ve bu maliyetlerdeki azalmaları MD prosesi uygulamaları içermemektedir. Ayrıca mevcut çalışmalarda ekonomik değerlendirmelerin detayı hakkında çok kapsamlı bilgi sunulmamakla birlikte, özel mühendislik araçları kullanılmaksızın yapılmış hesaplamaların ne kadar güvenilir/kesin sonuçlar taşıdığı da değerlendirilememektedir.

3. MATERİYAL ve METOD

3.1. Deniz Suyu ve Besleme Suları

Deneylerde, Marmara Denizi-Tuzla sahil ve Muallimköy sahil şeridinden (deniz seviyesi yüzeyinden azami 1 m derinlikten) alınmış deniz suyu ve İO/MD prosesinde besleme suyu olarak kullanılan yeraltısuyu, göl suları, Kocaeli Üniversitesi evsel atıksu arıtma tesisinden alınan II. Arıtma çıkış suyu ve Çayırova evsel atıksu arıtma tesisinden alınan III. arıtma evsel çıkış sularının numune alma noktaları Şekil 3.1’de gösterilirken su kalitesi analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Deniz suyu ve besleme suları numune alma noktaları.

Tablo 3.1: Ham deniz suyu ve besleme suları karakterizasyonu.

Parametre	Ham Deniz suyu ¹	Ham Deniz suyu ²	Yeraltı suyu	Göl Suyu	II. Arıtma Çıkış Suyu	III. Arıtma Çıkış Suyu
Sıcaklık (°C)	25,1	25,2	25,1	25,1	25	25,2
pH	8,28	8,34	8,20	8,49	8,39	7,21
İletkenlik (µs/cm)	39950	35800	1040	330	1145	2181
KOİ (mg/L)	n.m	n.m.	15,0	11,8	24,8	28,6
TOK (mg/L)	3,8	4,0	3,1	4,3	7,0	8,0
ÇOK (mg/L)	2,92	2,94	2,56	4,04	6,93	7,93
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,029	0,034	0,011	0,016	0,168	0,141
SUVA (L/mg.m)	1,04	0,85	0,44	0,40	2,42	1,78

Tablo 3.1: Devam.

Parametre	Ham Deniz suyu ¹	Ham Deniz suyu ²	Yeraltı suyu	Göl Suyu	II. Arıtma Çıkış Suyu	III. Arıtma Çıkış Suyu
Baryum (mg/L)	0,12	1,30	n.d	n.d	n.d	n.d
Kalsiyum (mg/L)	525	309,4	85,5	32,5	89,1	60,2
Magnezyum (mg/L)	1035	855	22,4	15,9	32,8	24
Demir (mg/L)	0,001	0,001	0,015	n.d	0,024	0,012
Mangan (mg/L)	0,002	0,002	0,002	n.d	n.d	n.d
Potasyum (mg/L)	497	266	1,63	4,2	23,2	20,5
Sodyum (mg/L)	9,45	7055	14,1	12,9	239,2	9,6
Stronsiyum (mg/L)	3,90	5,15	n.d	n.d	n.d	n.d
Bor (mg/L)	3,38	3	n.d	n.d	n.d	n.d
Silisyum (mg/L)	0,14	0,3	12,7	0	n.d	n.d
Bikarbonat (mg/L)	130,6	108,6	79,8	95,7	144	200,2
Karbonat (mg/L)	0	46,8	11,6	14,7	0	0
Alkalinite (mg/L)	130,6	155,4	91,4	110,4	n.d	n.d
Toplam Sertlik (mg/L)	5312	4332	409	152	175	316
AKM (mg/L)	n.m	n.m	34,2	32,8	25	0,9
Renk						
436 nm'de	0	0,002	0,005	0,002	0,015	0,010
525 nm'de	0	0,001	0,0005	0,002	0,007	0,004
620 nm'de	0,001	0	0	0	0,006	0,001
Sülfat (mg/L)	1996	1804	197,2	53,2	36,20	177
Fosfat (mg/L)	0	0	0	0	0,10	0
Toplam Fosfor (mg/L)	0	0	0	0	0,15	0
Klorür (mg/L)	9622	10847	84,4	34,5	115	216
Amonyum (mg/L)	< 0,1	<0,1	0,25	0,18	11,27	6,22
Nitrat (mg/L)	0,20	0,28	17,1	0,55	8,20	4,20
Nitrit (mg/L)	0	0	0	0	0	0
TKN (mg/L)	< 0,1	<0,1	0,25	0,33	4,63	0,8
TN (mg/L)	0,25	0,30	17,3	0,88	24,1	11,4
n.d: ölçümlerde değeri saptanamayan parametreleri ifade etmektedir.						
n.m: ölçümü yapılmayan parametreler için kullanılan kısaltmadır.						
¹ Muallimköy sahil şeridinden ² Tuzla sahil şeridinden alınan numuneyi ifade etmektedir.						

3.2. Membranlar ve Özellikleri

Tez çalışması kapsamında deneylerde kullanılan membranların özellikleri Tablo 3.2 (İleri osmoz) ve Tablo 3.3'de (Membran distilasyonu) gösterilmiştir.

Tablo 3.2: İO membranının özellikleri.

Membran	Üretici Firma	Teknik Özellikler		
		Membran Malzemesi	pH İşletme Aralığı	Tuz Süzme Oranı (%)
İO	Hydration	Selüloz Asetat	— ^a	95,0
^a veri yok				

Tablo 3.3: Membran distilasyon membranının özellikleri.

Membran	Üretici firma	Teknik özellikler			
		Gözenek boyutu (µm)	Kalınlık (µm)	Temas Açısı (°)	Sıvı giriş basıncı (LEP, kPa)
PTFE*	Membrane Solutions	0,45	160±40	126±10	121,3±2,5
*PTFE:Politetrafloroetilen.					

3.3. Analitik Yöntemler

Çalışma sırasında, İO ve MD proseslerinin sürekli işletimi sırasında, besleme suları, çekme çözeltisi ve süzüntü akımlarında, pH, sıcaklık, iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde parametrelerinin izlemesi yapılmıştır. Su kalitesinin belirlenmesi amacıyla deney başlarında ve deney sonlarında günlük olarak alınan besleme suları, çekme çözeltisi ve süzüntü akımlarının karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada su kalite analizleri, standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında analizleri yapılan parametreler için ölçüm yöntemleri Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Su kalitesi analiz parametreleri için kullanılan ölçüm yöntemleri.

Parametre	Ölçüm Yöntemi
Sıcaklık	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı (Hach Lange HQ 440d multi)
pH	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı (Hach Lange HQ 440d multi)
İletkenlik	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı (Hach Lange HQ 440d multi)
Yoğunluk	El tipi dijital yoğunluk ölçer (Kyto elec. DA-130 N)
Toplam Çözünmüş Katı Madde	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı (Hach LangeHQ 440d multi)
Bulanıklık	Türbidimetre (Hach Lange 2100Q)
KOİ	SM 5220C kapalı reflux metodu , Titrimetrik method
TOK	%99,9 saflıkta oksijen ile yakma ünitesine sahip TOK cihazı (Hach Lange IL550 TOC-TN)
ÇOK	%99,9 saflıkta oksijen ile yakma ünitesine sahip TOK cihazı (Hach Lange IL550 TOC-TN)
UVA ₂₅₄	UV spektrofotometre cihazı (Hach Lange DR6000)
SUVA	Ölçülmüş UVA ₂₅₄ ve ÇOK değerlerinden birim dönüşümüyle hesapla
Baryum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Kalsiyum	AAS (Atomic absorption spectrophotometer) cihazı (Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer 1100)
Magnezyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Demir	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Mangan	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Potasyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı- Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer
Sodyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Stronsiyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Bor	AAS (Atomic absorption spectrophotometer) cihazı (Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer 1100)
Silisyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı (Perkin Elmer Optima 700D DV Optical Emission Spectrophotometer)
Bikarbonat	SM 2320B titrimetrik metodu
Karbonat	SM 2320B titrimetrik metodu
Alkalinite	SM 2320B titrimetrik metodu
Toplam Sertlik	SM 2340C EDTA Titrimetrik yöntemi

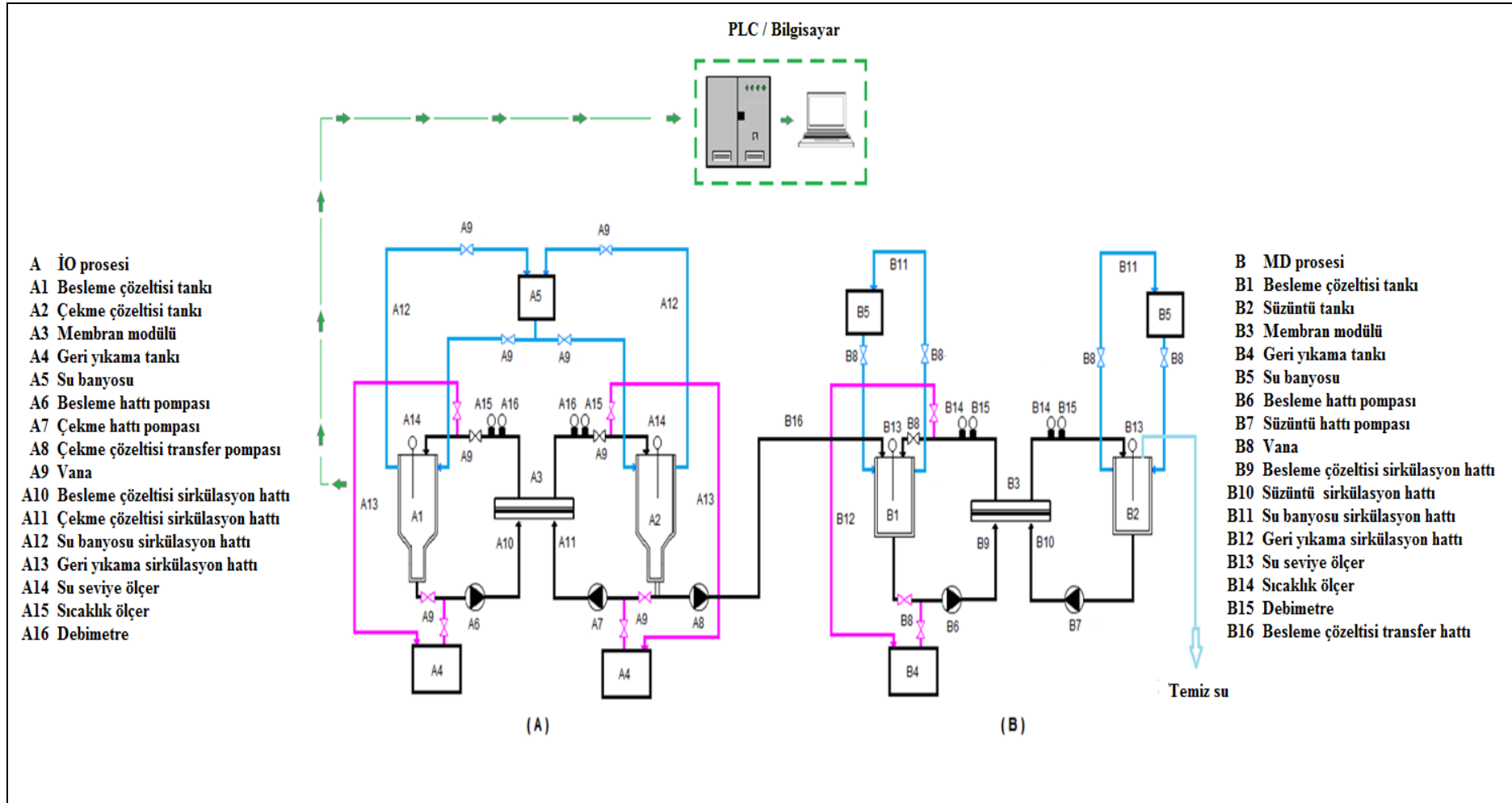
Tablo 3.4: Devam.

Parametre	Ölçüm Yöntemi
AKM	SM 2540D metodu
Renk	SM 2120 spektrofotometrik method (Hach LangeLange DR 6000)
Sülfat	SM 4500E Türbidimetrik metod
Fosfat	SM 4500 D Kalay klorür method (Hach Lange DR 6000)
Toplam Fosfor	SM 4500 D Kalay klorür methodu (Hach Lange DR 6000)
Klorür	SM 4500 B Argenometrik Yöntem (Hach HQ 440d multi)
Amonyum	Amonyum probu (Hach HQ 440d multi)
Nitrat	SM 4500 B UV spektrofotometrik method (Hach HQ 440d multi)

3.4. Deneysel Çalışma Düzenegi ve Çalışma Esasları

Deneysel çalışmalar, Şekil 3.2’de gösterilen lab-pilot ölçekli İO/MD düzenegi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2.’den görüleceği üzere, bütünleşik sistem, I.İO/MD/II.İO düzeninde üç adımlı bir deniz suyu arıtma sistemi olarak işletilmiştir. I.İO proste deniz suyu yeraltı suyu, göl suyu, II. ve III. arıtma çıkış suları ile seyreltilmiş ve sonrasında seyreltilmiş deniz suyu MD proste işlenerek içme suyu elde edilmiştir. II.İO prosesinde, I.İO besleme konsantresi ile MD denize deşarj konsantresi deniz suyu tuzluluk seviyesine kadar seyreltilmiştir.

İO/MD sistemi, saha uygulamalarında da kullanılabilirlik özelliği göz önüne alınarak imal edilmiş olup, aynı zamanda eş zamanlı ya da ayrı olarak SCADA kontrol sistemi ile yönetilen tam otomatik işletim özelliklerine sahiptir. Sistem üzerinde sıvıları pompalamak için iki adet debi kontrollü pompa (Grundfos Inc.) Besleme ve çekme hatları üzerinde akış hızlarını sağlamak amacıyla iki adet eşdeğer kapasiteli akış ölçer (Etrans-M 210K, Enelsan Inc), 2 adet seviye ölçer (RST-RB/LS, RST Elektronik, Türkiye) vanalar (Pro-0040, Proval Inc.) ve 3 adet su banyosu (Jeio Tech Inc) ile donatıldı. Delrin asetale reçineden (DuPont, Wilmington, Delaware) yapılan İO ve MD membran modülleri sırasıyla 400 ve 140 cm²’lik etkili membran alanlarına sahiptirler.



Şekil 3.2: İleri osmoz/membran distilasyon (İO/MD) bütünleşik membran sistemi.

MD prosesinin işletimi, 5'er L deniz suyu besleme ve distile su süzöntü akımı hacimlerinde, deniz suyu için 270 L/sa debide (Re 4320), 19,3 m/sa çapraz akış hızı distile su için 360 L/sa (Re 4222) debide 25,7 m/sa çapraz akış hızında, 30°C sıcaklık farkında, 5 gün süresince 6 sa/gün'lük çalışma periyodunda konsantre modda yerine getirilmiştir. I.İO ve II.İO proseslerinin işletimleri, deniz suyu çekme ve yeraltısuyu, göl suyu, kentsel arıtma çıkış suyunun besleme akımlarında 200 L/sa debide 5 m/sa akış hızında, ters modda (membran aktif tabakası besleme suyuna doğru) ve 25 °C eşdeğer sıcaklık şartlarında işletilmiştir. I.İO günlük % 20±2 deniz suyu seyreltme performansı ile ve II.İO ise MD konsantresi deniz suyunun tuzluluk seviyesi olan 23 g/L toplam çözünmüş madde (TÇK) seviyesine düşene kadar işletilmiştir.

İO ve MD proseslerinde, 5'er günlük çalışma boyunca aynı membranlar kullanılmıştır. Sürekli şartlar altında her iki prosesin etkin işletilebilir kılınması amacıyla kirlenmiş membranlar, geri yıkama işlemine tabi tutulmuştur. İO membranı için geri yıkama işlemi, 2'şer L deniz suyu ve distile su, membran yerleşim moduna ters yönde konuşturılıp proses 20 dakika işletilerek yerine getirilmiştir. MD prosesinde ise, 2'şer L hacminde önce % 1'lik HCl+saf su (15+15 dk.) ve daha sonra % 1'lik NaOH+saf su (15+15 dk.) çözeltileri kullanılarak 1 saat süresince geri yıkama yapılmıştır. Her iki prosese ait geri yıkama işlemleri, günlük periyotlarda yürütülmüştür.

3.5. Proses Performans Hesaplamaları

3.5.1. İleri Osmoz Performans Hesaplamaları

Bir membran sistemde süzöntü akısı, su hacmi üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$J_w = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.1)$$

İO sisteminde besleme çözeltisinden çekme çözeltisine geçen su hacmi ve buna bağlı su akıları, deneysel sistem su seviye kontrol ekipmanı üzerinden belirlenen seviye değişimi-hacim ilişkilerinden denklem (3.1)'e göre hesaplanmıştır. Denklemden

ΔV birim zamanda geçen su miktarını, A membran alanı, Δt birim zamanı ifade etmektedir.

İO proseste hesap edilen beslemeden çekmeye geçen su hacmi ve beslemede ve çekmede ölçülen tuz konsantrasyonlarından hareketle tuz akıları, aşağıdaki formül kullanılarak hesap edilmiştir.

$$J_s = J_w \times \Delta C \quad (3.2)$$

Deniz suyunun seyrelme oranı (SO) denklem (3.3) kullanılarak geçen su hacminin başlangıçtaki su hacmine bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$SO(\%) = 100 \times \left[\frac{V_t}{V_0} - 1 \right] \quad (3.3)$$

Denklemde V_0 ve V_t sırasıyla, proseste çekme çözeltisinin başlangıç ve deney sonundaki hacimlerini ifade etmektedir.

3.5.2. Membran Distilasyon Performans Hesaplamaları

Membran distilasyon sisteminde süzüntü akısı, su hacmi üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$J_w = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.4)$$

MD sisteminde besleme çözeltisinden süzüntüye geçen su hacmi ve buna bağlı su akıları, deneysel sistem su seviye kontrol ekipmanı üzerinden belirlenen seviye değişimi-hacim ilişkilerinden denklem (3.4)'e göre hesaplanmıştır. Denklemde ΔV birim zamanda geçen su miktarını, A membran alanı, Δt birim zamanı ifade etmektedir.

Sistemin su kazanım oranı ve deniz suyunun konsantre olma oranı deniz suyundan süzüntüye geçen su hacminden aşağıdaki denklem (3.5) kullanılarak belirlenmiştir.

$$R(\%) = 100 \times \left(\frac{V_0 - V_t}{V_0} \right) \quad (3.5)$$

Denklemde V_0 ve V_t sırasıyla, proste konsantre akımın başlangıçtaki ve t anındaki hacimlerini ifade etmektedir.

3.6. Saha Ölçeğe Benzeştirme ve Sistem Tasarımları

Bu tez çalışmasında yapılan saha ölçekli 25 yıl tesis ömrüne ve 100,000 m³/gün kapasiteye sahip MD ve İO/MD deniz suyu arıtma proseslerinin tasarımları ve ekonomik analizleri SuperPro Designer v.9 proses modelleme ve maliyet analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılımda İO ve MD prosesleri mevcut olmadığından, İO prosesi yazılımda generic box kullanılarak geliştirilmiş, MD prosesi ise Mikrofiltrasyon (MF) prosesi kullanılarak tasarlanmıştır [Vergili et al., 2012]. Senaryolar, proseslerin lab-pilot ölçek organik karbon ile çözünmüş madde giderimi ve su akısı performans verilerinin yazılıma girilmesiyle, kütle ve enerji dengesi prensiplerine dayalı olarak gerçek ölçeğe benzeştirilmiştir. MD ve İO/MD senaryolarının tasarım kriterleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtmada gerekli yakıt debisini ($Q_{yakıt}$) hesaplamak için önce sistemlerin termal enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu nedenle deniz suyunun kütlesi (m), deniz suyunun öz ısısı (c) ve sıcaklık farkı (ΔT) ile çarpılıp verime (u) bölünerek hesaplanmıştır. Isıtmanın %85 verimle yapıldığı kabul edilmiştir.

$$Q_{(termal)}=(m \times c \times \Delta T)/u \quad (3.6)$$

Gereken termal enerji (Q_{termal}), yakıtın kalorifik değerine (v) bölünerek $Q_{yakıt}$ hesaplanmıştır.

$$Q_{yakıt} = \frac{Q_{termal}}{v} \quad (3.7)$$

Tablo 3.5: MD ve İO/MD tasarım kriterleri.

Tasarım Kriterleri	Birim	Değer
Deniz suyu TÇM	g/L	23,3
Geri kazanım oranı	%	
– MD tek kademe		50
– MD çift kademe		60
– Toplam		80
İleri osmoz akısı ¹	L/m ² ·sa	
– I.İO (yeraltısuyu)		4,23
– I.İO (II. arıtma)		2,02
– I.İO (III. arıtma)		3,38
– II.İO (yeraltısuyu)		11,52
– II.İO (II. arıtma)		4,41
– II.İO (III. arıtma)		4,20
MD akısı	L/m ² ·sa	
– Ham deniz suyu		10,1/21,4
– Seyrelmiş deniz suyu (yeraltısuyu)		18,3
– Seyrelmiş deniz suyu (II. arıtma)		29,7
– Seyrelmiş deniz suyu (III. arıtma)		30,5
Akımların sıcaklıkları	°C	
– Deniz suyu girişi (İO)		25
– Deniz suyu girişi (MD)		60
– Konsantre deniz suyu		35
– Temiz su		30
Membran temizliği	m ³ /modül-ay	
– Saf su		2
– HCl		1
– NaOH		1
–Deniz suyu		1
Doğalgazın kalorifik değeri	kcal/kg	12137
Atıl ısı sıcaklığı	°C	buhar@110
Pompaj için gerekli enerji	kWsa/m ³	
– İO		0,25 ²
– MD		0,75 ³
Isı değiştirici	m ² /unit	100
Soğutma kulesi	m ² /unit	30
¹ A-3 ve A-5 senaryolarında II İO su akıları simülasyondaki kütle dengesinden elde edilen TDS farkının 11,52 L/m ² sa su akısındaki TÇM farkının su akısına oranına çarpılmasıyla sırasıyla 23,76 ve 22,65 L/m ² ·sa elde edilmiştir.		
² Aydınlar ve diğ. (2016) ve McGinnis ve Elimelech (2007)'den alınmıştır.		
³ Meindersma ve diğ. (2006)'dan alınmıştır.		

3.6.1. MD Proses Senaryoları

Deniz suyundan içme suyu üretiminde 25 yıl tesis ömrü ve 100000 m³/gün tesis kapasiteli tek kademe (% 50 su kazanımı) ve çift kademe (%80 su kazanımı) olmak üzere 2 adet MD senaryosu tasarlanmıştır. Oluşturulan bu tasarımlardan üç farklı ısı kazanım uygulaması (ısı geri kazanımsız, harici ısı geri kazanımlı, dahili ısı geri kazanımlı) ve iki farklı ısıtma enerjisi kaynağı seçenekleri (doğalgaz ve atılısı) dikkate alınarak farklı MD senaryoları tasarlanmıştır. MD prosesinin proses akış şeması ve ısı kazanımı uygulaması Şekil 3.3’de gösterilirken, MD’nin kütle dengesi sonuçları Ek A Tablo A1.1’de verilmiştir. Beslenen deniz suyu MD prosesine verilmeden önce farklı ısı kaynakları (doğalgaz/atılısı) kullanılarak 60 °C’ye ısıtılmaktadır. Isı kazanımsız MD uygulamasında ısıtılan deniz suyu MD prosesinde işlenerek süzüntü ve konsantre olmak üzere iki farklı akıma ayrılmıştır. Birinci ve ikinci kademe MD proseslerinin süzüntü akımları soğutma kulesi ile 30°C soğutulduktan sonra içme suyu elde edilmiştir. MD konsantre akımı ise soğutma kulesi ile 35 °C’ye soğutulduktan sonra denize deşarj edilmektedir.

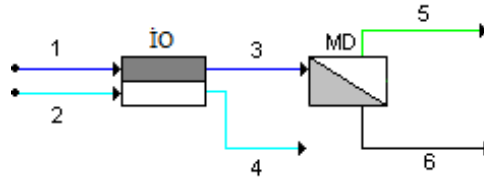
Harici ısı kazanımı uygulamasında ısı geri kazanımı modül dışındaki ısı değiştiriciler vasıtasıyla yapılmaktadır. 60 °C’deki süzüntü ve konsantre akımlarının sıcaklıklarından faydalanılarak deniz suyunun ısı değiştiricilerle 55 C’ye kadar ısıtılırken konsantre akımı ise 35 °C’ye soğutulmuştur. Konsantre akım denize deşarj edilirken, süzüntü akımı ısı kazanımsız MD uygulamasında olduğu gibi 30 °C’ye soğutulup içme suyu üretilmiştir.

Dahili ısı geri kazanımı uygulamasında süzüntü ve konsantre akımlarından ısı geri kazanımı modülün içerisinde gerçekleşmektedir. Deniz suyu, süzüntü ve konsantre akımlarıyla modül içerisinde 55 °C’ye ısıtılırken, süzüntü ve konsantre akımları ise 30 ve 35 °C’ye soğutulmaktadır.

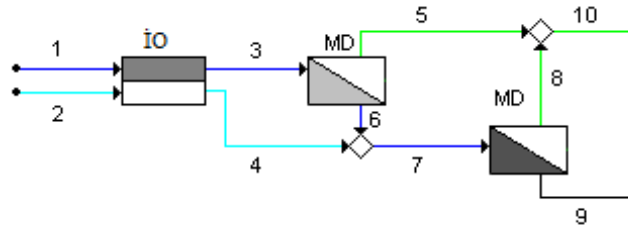
Isıtma kaynağı olarak doğalgaz tercih edildiğinde endüstriyel kazana yakıt olarak doğalgaz beslenmiş, açığa çıkan ısı ile besleme suyu 110 °C’de buhara dönüştürülerek üretilen buhar deniz suyunun ısıtılmasında kullanılmıştır.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde ise endüstriyel kazan ile üretilen 110 °C’deki buhar atıl ısı olarak kabul edilmiştir.

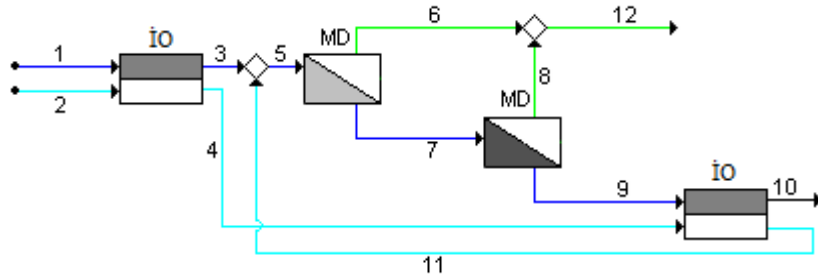
(A-1)



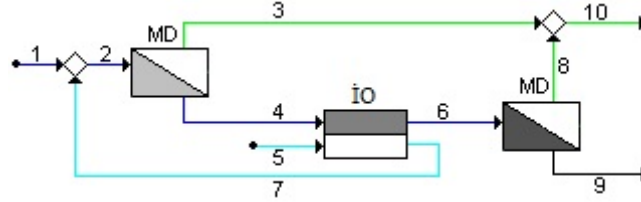
(A-2)



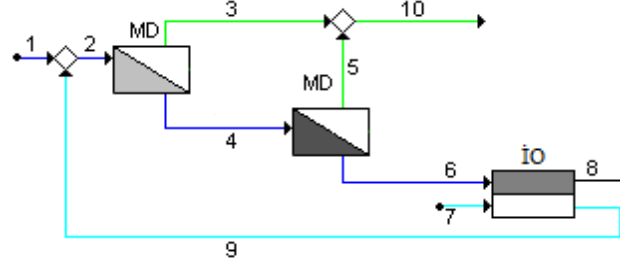
(A-3)



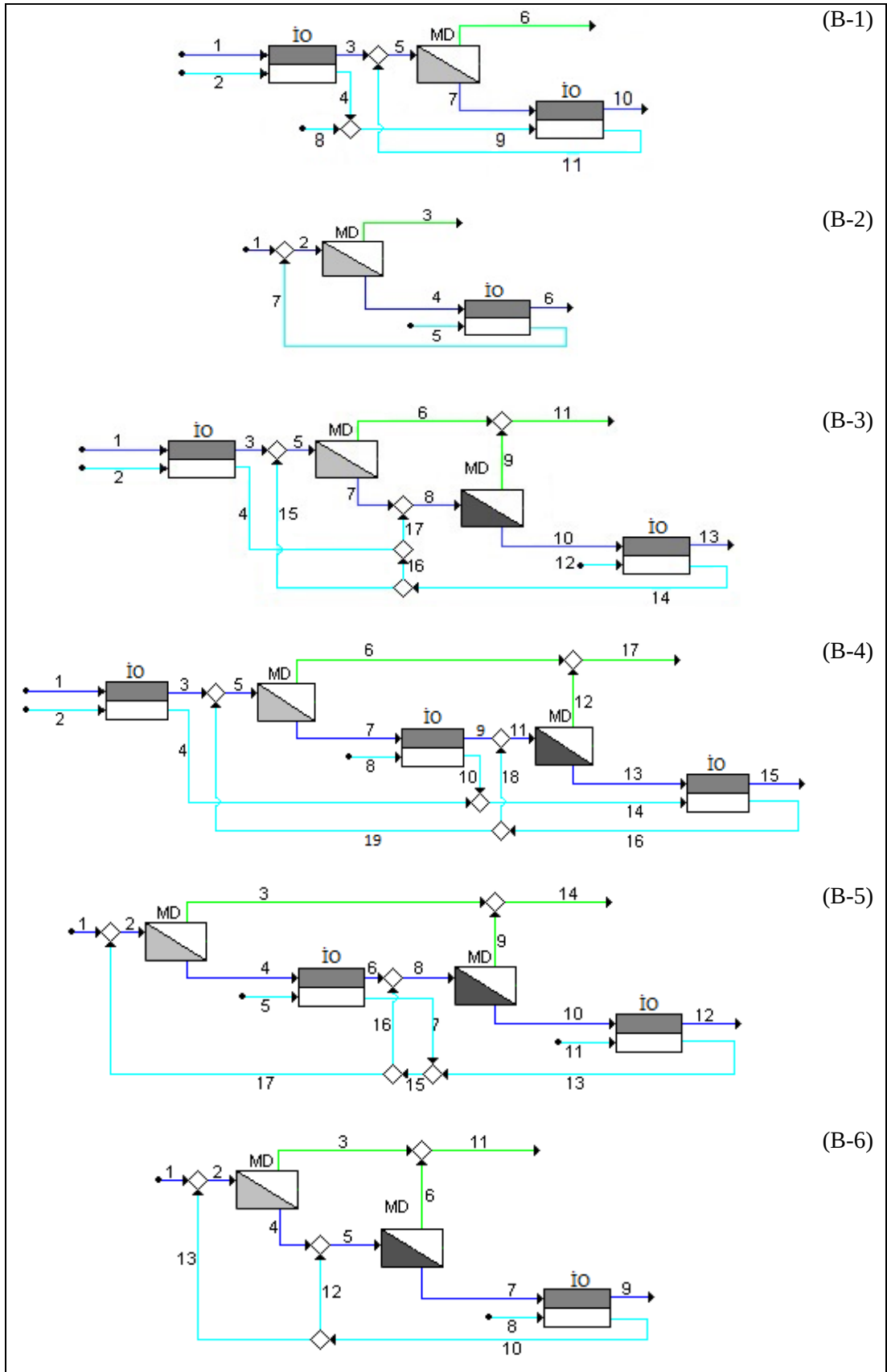
(A-4)



(A-5)



Şekil 3.4: Tatlı su kaynağı beslemeli ve konsantre akımlı İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: sızıntı; Açık mavi akım: tatlı su; Siyah akım: denize deşarj).



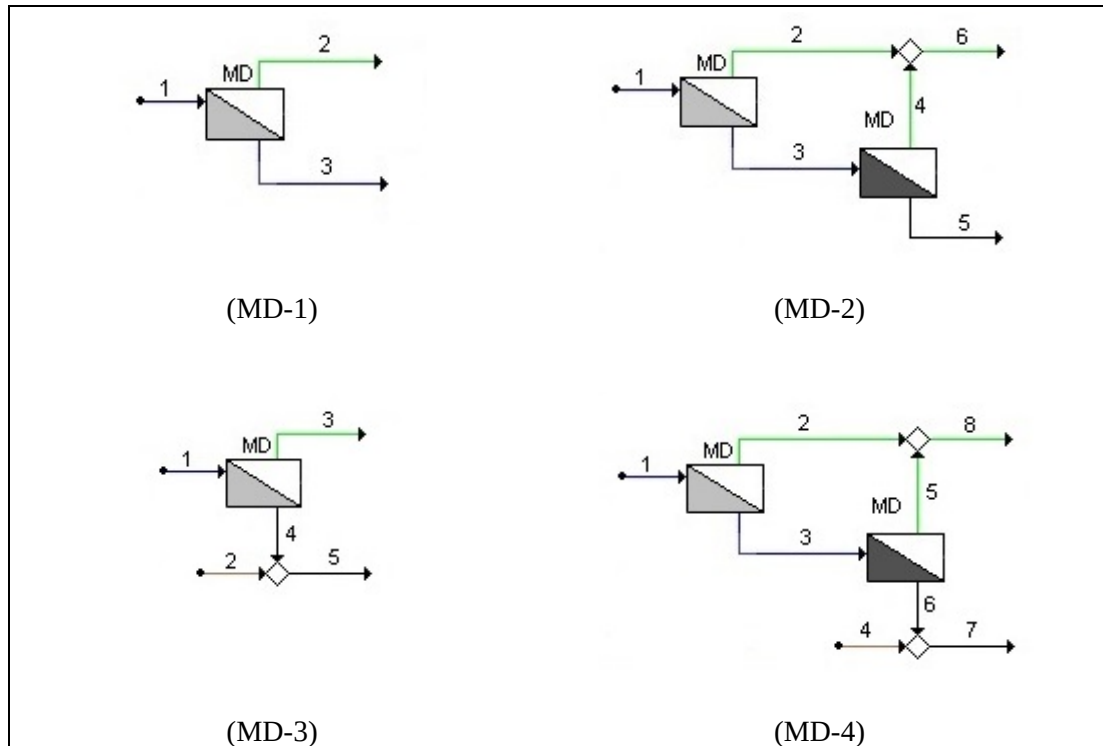
Şekil 3.5: Tatlı su kaynağı beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Açık mavi akım: tatlı su).

Tablo 3.6: MD ve tatlı su kaynağı beslemeli İO/MD senaryolarının su bilançoları.

Senaryo No	Senaryo Dizilimi	Debi (m ³ /gün)				$\left\{ \frac{[\text{İS}]}{[\text{DS}]} \right\}$	$\left\{ \frac{[\text{İS}]}{[\text{TS}]} \right\}$	$\left\{ \frac{[\text{TS}]}{[\text{DS}]} \right\}$	$\left\{ \frac{[\text{KTS}]}{[\text{DS}]} \right\}$	$\left\{ \frac{[\text{KTS}]}{[\text{İS}]} \right\}$	$\left\{ \frac{[\text{İS}]}{[\text{DS}] + [\text{TS} - \text{KTS}]} \right\}$
		Deniz suyu [DS]	Tatlı su [TS]	Kaybedilen tatlı su [KTS]	İçme suyu [İS]						
MD	MD	100000	0	0	47999	0,48	–	0,00	0,00	0,00	0,48
MD-Çift	MD/MD	100000	0	0	76785	0,77	–	0,00	0,00	0,00	0,77
A-1	İO/MD	83000	83000	66460	47710	0,57	0,57	1,00	0,80	1,39	0,48
A-2	İO/MD/MD	83000	83000	0	114557	1,39	1,39	1,00	0,00	0,00	0,69
A-3	İO/MD/MD/İO	75000	37500	12297	76864	1,02	2,04	0,50	0,16	0,16	0,77
A-4	MD/İO/MD	75000	45000	0	86820	1,16	1,92	0,60	0,00	0,00	0,72
A-5	MD/MD/İO	75000	45000	18445	77913	1,04	1,72	0,60	0,25	0,24	0,77
B-1	İO/MD/İO	70000	50000	18845	48687	0,69	0,97	0,71	0,27	0,39	0,48
B-2	MD/İO	83000	50000	20494	47712	0,57	0,95	0,60	0,25	0,43	0,42
B-3	İO/MD/MD/İO	80000	130000	32791	122855	1,54	0,94	1,63	0,41	0,27	0,69
B-4	İO/MD/İO/MD/İO	80000	120000	33324	113324	1,41	0,94	1,50	0,42	0,29	0,68
B-5	MD/İO/MD/İO	75000	110000	32791	105251	1,41	0,95	1,47	0,44	0,31	0,69
B-6	MD/MD/İO	75000	105000	43038	97926	1,30	0,93	1,40	0,57	0,44	0,71

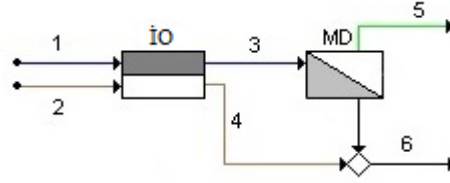
3.6.2.2. Evsel Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli MD ve İO/MD Senaryoları

Deniz suyunun desalinasyonunda 25 yıl işletme ömrüne sahip 100000 m³/gün kapasiteli tesis için 4 adet MD ve 4 adet İO/MD olmak üzere toplam 8 farklı senaryo tasarlanmıştır. MD senaryolarında MD-3 ve MD-4 nolu senaryolarda MD konsantre akımına arıtma çıkış suyu beslenerek deniz suyu tuzluluğuna seyreltilmiştir. MD-1 ve MD-2 senaryoları yalnızca tekkademe ve çift kademe uygulamasından ibarettir. 8 ana senaryoda üç farklı ısı kazanım uygulaması (ısı geri kazanımsız, harici ısı geri kazanımlı, dahili ısı geri kazanımlı) ve iki farklı enerji kullanım opsiyonu (doğalgaz ve atılısı) dikkate alınarak MD ve İO/MD senaryoları tasarlanmıştır. MD ve İO/MD entegre sistemlerinin proses akım şemaları sırasıyla Şekil 3.6 ve 3.7’de gösterilmiştir. MD ve İO/MD’nin su bilançoları ise Tablo 3.7’de, kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları ise Ek-A Tablo A1.4 (MD), Tablo A1.5 (II. arıtma çıkışı beslemeli İO/MD) ve Tablo A1.6’da (III. arıtma çıkışı beslemeli İO/MD) verilmiştir.

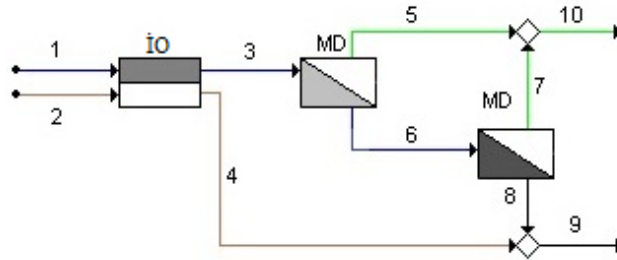


Şekil 3.6: MD ve arıtma çıkışı beslemeli konsantresiz MD senaryoları (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Kahverengi akım: atıksu; Siyah akım: denize deşarj).

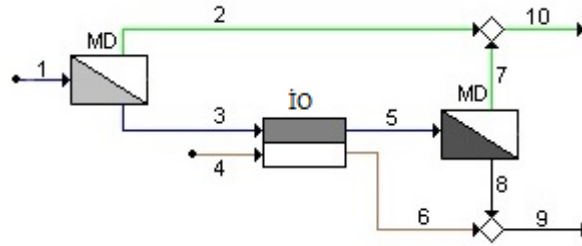
(C-1)



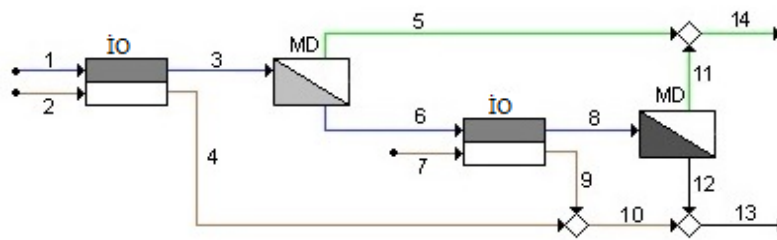
(C-2)



(C-3)



(C-4)



Şekil 3.7 Evsel arıtma çıkışı beslemeli İO/MD senaryolarının akım şeması (Mavi akım: deniz suyu; Yeşil akım: süzüntü; Kahverengi akım: atıksu; Siyah akım: denize deşarj).

Tablo 3.7: MD ve arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının su bilançoları.

Senaryo No	Senaryo Dizilimi	Debi (m ³ /gün)				$\left\{ \frac{[İS]}{[DS]} \right\}$	$\left\{ \frac{[İS]}{[AÇS]} \right\}$	$\left\{ \frac{[AÇ]}{[DS]} \right\}$	$\left\{ \frac{[KAÇ]}{[DS]} \right\}$	$\left\{ \frac{[KAÇ]}{[İS]} \right\}$	$\left\{ \frac{[İS]}{[DS] + [KAÇS]} \right\}$
		Deniz suyu [DS]	Arıtma çıkış suyu [AÇS]	Kazanılan AÇS [KAÇS]	İçme suyu [İS]						
MD-1	MD	100101	0	0	50698	0,51	–	0	0	0	0,51
MD-2	MD/MD	101100	0	0	81928	0,81	–	0	0	0	0,81
MD-3	MD	100101	51000	0	50698	0,51	0,99	0,51	0	0	0,51
MD-4	MD/MD	101211	82000	0	80969	0,80	0,99	0,81	0	0	0,80
C-1	İO/MD	84000	126000	13929	50599	0,60	0,40	1,50	0,17	0,28	0,52
C-2	İO/MD/MD	84000	126000	13928	80959	0,96	0,64	1,50	0,17	0,17	0,83
C-3	MD/İO/MD	100577	77000	17911	104374	1,04	1,36	0,77	0,18	0,17	0,88
C-4	İO/MD/İO/MD	84000	156000	26173	86659	1,03	0,56	1,86	0,31	0,30	0,79
MD-3*	MD	101211	51000	0	50606	0,50	0,99	0,50	0	0	0,50
MD-4*	MD/MD	101211	84000	0	80969	0,80	0,96	0,83	0	0	0,80
C-1*	İO/MD	84000	131000	14132	50448	0,60	0,39	1,56	0,17	0,28	0,51
C-2*	İO/MD/MD	84000	131000	14132	80716	0,96	0,62	1,56	0,17	0,18	0,82
C-3*	MD/İO/MD	100577	77000	17898	104370	1,04	1,36	0,77	0,18	0,17	0,88
C-4*	İO/MD/İO/MD	84000	161000	26372	86424	1,03	0,54	1,92	0,31	0,31	0,78
*III. arıtma çıkış suyu beslemeli senaryoları göstermektedir.											

3.7. Maliyet Hesaplamaları

Akım şemaları oluşturulup tasarım kriterleri girildikten sonra tasarım bileşen değerleri, ekipmanların çalışma kriterleri ve maliyetleri ünitelere girilmiştir. Senaryolarda membran kirlenmesinden kaynaklı akı azalmasını engellemek için asidik ve bazik çözeltilerle geri yıkamalar yapılması planlanmıştır. MD membranının temizliğinde modül başına aylık 1'er m³ asit ve baz çözeltisi ile 2 m³ distile su kullanıldığı farz edilmiştir. İO membranının temizlenmesinde yalnızca deniz suyu ve distile su kullanılmış olup aylık modül başına 2 m³ distile su kullanıldığı farz edilmiştir. Bu nedenle asit, baz ve distile su fiyatları da maliyet analizlerine dahil edilmiştir. Senaryolarda kullanılan tesis bileşenleri ve ekipman maliyetleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

MD ve İO/MD prosesinin ekonomik performans sonuçları farklı sistem tasarımları için ayrı ayrı hesaplanarak kıyaslanmıştır. Senaryolar dört farklı birim elektrik tüketim maliyetleri (0,4-0,10 \$/kWsa) için simüle edilerek MD prosesinin toplam yatırım maliyeti, birim arıtma maliyeti ile yatırımın geri ödeme süreleri hesap edilmiştir.

MD ve İO/MD proseslerinin toplam yatırım ve toplam işletme maliyetlerinin hesaplanma metodolojisi Tablo 3.9'da verilmiştir [Vergili ve diğ., 2012]. Toplam yatırım maliyeti (TYM); doğrudan sabit sermaye (DSS), döner sermaye (DS) ve başlangıç maliyeti (BM)'nden oluşmaktadır. Toplam işletme maliyeti (TİM) ise personel giderleri (PG), bakım-onarım ve sigorta gibi tesise bağlı giderler (TBG), membran ve kimyasallar vb. sarf malzemelerden (SM) kaynaklı giderler, membranların bertaraf maliyeti (MBM), tesisin elektrik gideri (E) ve doğalgaz ile ısıtma tercih edildiğinde yakıt giderinden (Y) oluşmaktadır.

Tablo 3.8: Tesis bileşenleri, ekipman ömür ve maliyetleri.

Maliyet Bileşenleri	Birim	Değer
Su satışından sağlanan kazanım	\$/ton	1,8
Membran fiyatı	\$/m ²	
İO		12
MD		90
kartuj filtre		10
Membran bertaraf maliyeti	\$/m ²	
İO		5
MD		5
kartuj filtre		5
Membran ömrü	yıl	
İO		3
MD		3
kartuj filtre		3
Membrane alanı	m ² /modül	
İO		40
MD		40
Membran modül fiyatı	\$/ünite	
İO		1000
MD		1000
Endüstriyel ısıtıcı kazan	\$/ünite	(265000-895000) ¹
Soğutma kulesi	\$/ünite	(33000-67000) ²
Isı değiştirici	\$/ünite	35000
Çalışan ³	\$/sa–kişi	
yönetici		15,6
mühendis		9,1
operatör		6,5
Membran temizliği	\$/ton	
saf su		3
HCl		350
NaOH		940
^{1,2} Endüstriyel kazanın fiyatı tesis kapasitesine, soğutma kulesinin fiyatı ise hem tesis kapasitesi hem de soğutulmak istenen sıcaklığa bağlı olarak Superpro Designer yazılımı tarafından belirlenmiştir.		
³ Tüm MD ve İO/MD senaryolarında 1 yönetici, 1 mühendis, 1 operatörün çalıştığı farz edilmiştir.		

Tablo 3.9: Maliyet bileşenlerini hesaplama denklemleri.

Maliyet Bileşenleri	Hesaplama Metodu
Toplam yatırım maliyeti (TYM)	$TYM = DSS + DS + BM$
Doğrudan sabit sermaye (DSS)	$DSS = TDM + DTM + MÜR$
Tesis doğrudan maliyeti (TDM)	$TDM = ESM + DM$
Ekipman satın alma maliyeti (ESM)	$ESM = \text{listelenmiş ESM} + (0,2 \times ESM)$
Diğer tesis maliyetleri (DM) ¹	$DM = A + B + C + D + E + F + G + H$
Dolaylı tesis maliyeti (DTM) ²	$DTM = I + J$
Müteahhit ücreti ve riskler (MÜR) ³	$MÜR = K + L$
Döner sermaye (DS)	
Başlangıç maliyeti (BM)	$BM = 0,03 \times DSS$
Toplam işletme maliyeti (TİM)	$TİM = PG + TBG + SM + MBM + E + Y$
Personel giderleri (PG) ⁴	
Tesise bağlı giderler (TBG) ⁵	$TBG = M + N + O$
Sarf malzemeler (SM) ⁶	$SM = P + R$
Membran bertaraf maliyeti (MBM)	
Elektrik (E)	
Yakıt (Y)	
¹ A) Kurma ($0,50 \times ESM$), B) boru tesisatı ($0,35 \times ESM$), C) cihazlandırma ($0,40 \times ESM$), D) yalıtım ($0,03 \times ESM$), E) elektrik ($0,10 \times ESM$), F) inşaat ($0,10 \times ESM$), G) şantiye ıslahı ($0,05 \times ESM$) ve H) yardımcı tesisler ($0,20 \times ESM$) için maliyetleri içerir. ² I) Mühendislik ($0,10 \times TDM$) ve J) inşaat ($0,15 \times TDM$) maliyetlerini içerir. ³ K) Müteahhit ücreti ($0,01 \times (TDM + DTM)$) ve L) ve risk giderlerini ($0,01 \times (TDM + DTM)$) içerir. ⁴ Bir tam zamanlı teknisyen, mühendis ve yöneticiyi kapsar. ⁵ M) Yıpranma payı, N) bakım ($0,10 \times ESM$) ve O) çeşitli giderler (sigorta ($0,01 \times DSS$), yerel vergiler ($0 \times DSS$), ve tesis harcamaları ($0,02 \times DSS$)) toplamıdır. ⁶ P) Membran ve R) kimyasal malzemeleri kapsar.	

3.7.1. Karbon Maliyetinin Hesaplanması

MD ve İO/MD birim su arıtma maliyetlerine ilave olarak tesislerden kaynaklanan karbon emisyonlarının vergisi de göz önünde bulundurularak senaryoların ekonomik kıyaslamaları yapılmıştır. Atıl ısı ile ısıtma senaryolarında karbon maliyeti yalnızca tesisin elektrik ihtiyacından kaynaklanırken doğalgaz ile ısıtma senaryolarında hem yakıttan kaynaklanan karbon maliyeti hemde elektrik

kullanımından kaynaklanan karbon maliyeti hesaplanmıştır. Karbon salınımlarından kaynaklanan karbon ayak izi maliyetleri farklı karbon vergisi (10-150 \$/ton CO₂-e) değerleri için denklem 3.8'e göre hesap edilmiştir [Kesieme ve diğ., 2013].

$$\text{Karbon maliyeti} = \text{Enerji ihtiyacı} \times \text{Emisyon faktörü} \times \text{Karbon vergisi} \quad (3.8)$$

Hesaplarda emisyon faktörleri elektrik ve doğalgaz için sırasıyla 1,22, 0,202 kg CO₂-e/kWsa alınmıştır [Aslanoğlu ve Köksal 2012], [Kesieme et al., 2013] Tesisin elektrik enerjisi ihtiyacı (kWsa/m³) SuperPro Designer yazılımında hesaplanmaktadır. Bu değer emisyon faktörü ve karbon vergisi ile çarpılarak karbon salınımlarından kaynaklanan maliyetler hesaplanarak birim arıtma maliyetlerine ilave edilmiştir.

3.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tercih Edilebilirlik Analizi

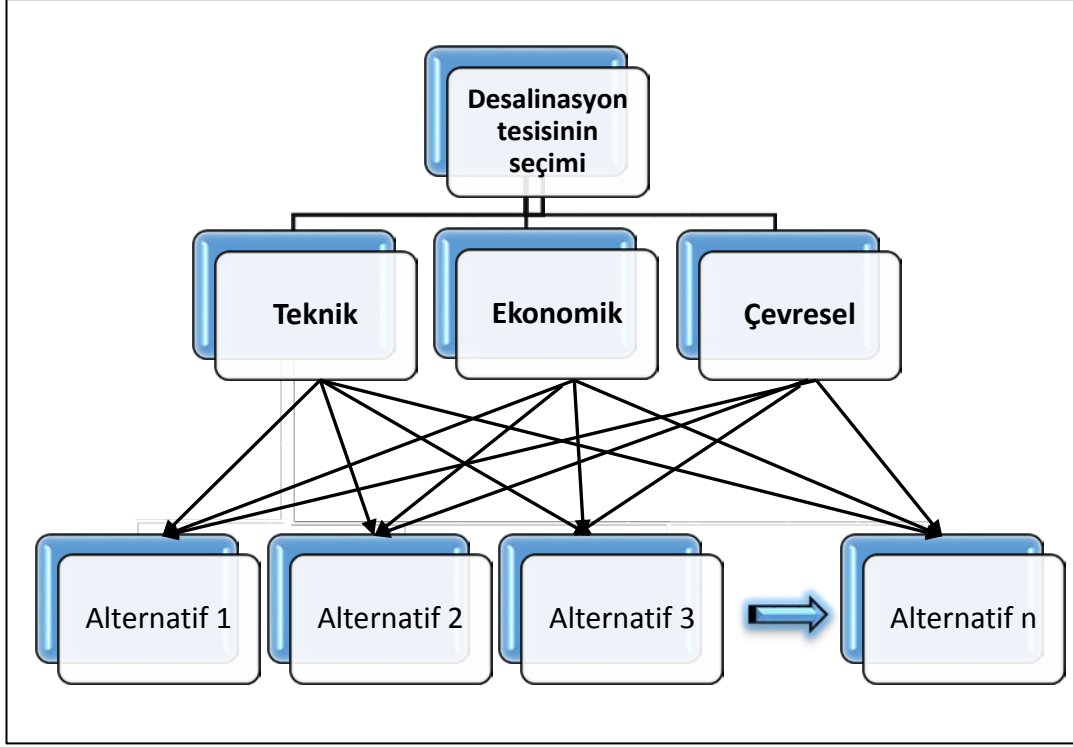
Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) üç aşamadan meydana gelmektedir. AHP'de, öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda alternatiflerin seçimini etkileyen kriterler ve alt kriterler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulur [Saaty ,1987].

Oluşturulan hiyerarşik yapı ile karar vericinin kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri etkin biçimde karşılaştırması sağlanır. Hiyerarşinin en üstünde nihai amaç; amacın altında, amaca ulaşabilmek için gerekli kriterler; en altta ise alternatifler yer almaktadır. En tercih edilebilir desalinasyon tesisinin seçiminin amaçlandığı bu çalışmada oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterlerin göreceli önem derecelerini gösteren ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Karar verici AHP önem skalasını dikkate alarak kriterler arasındaki önem derecesini belirlemektedir. Tablo 3.10'da ikili karşılaştırmada kullanılan AHP önem skalası gösterilmektedir [Saaty, 1987]

Tablo 3.10: AHP önem skalası.

Önem Derecesi	Derece Tanımları
1	Eşit öneme sahip
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli
2,4,6,8	Ara değerler



Şekil 3.8: AHP hiyerarşik yapısının şematik gösterimi.

AHP’de kriterler ve alternatifler matrise dönüştürülerek göreceli önemler Saaty’nin özvektör yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. İkili karşılaştırma matrisinde a_{ij} , i. özellik ile j. özelliğin ikili karşılaştırmasını göstermektedir. Bu durumda

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3.9)$$

(3.9) eşitliği ile hesaplanır. (3.9) eşitliği yardımıyla değerlerin birbirlerine göre kıyaslanmasıyla A matrisi elde edilir. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i=j$ olduğunda, 1 değerini alır. Çünkü bu durumda ilgili faktör kendisi ile karşılaştırılmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

AHP'nin ikinci aşaması normalleştirilmiş matrislerin oluşturulmasıdır. Normalleştirilmiş matris, denklem 3.11'e göre her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile hesaplanır. Normalizasyon sonucunda B matrisi elde edilir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.11)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Normalleştirilmiş B matrisinde 3.13'deki denkleme göre her bir sıra değerlerinin ortalaması alınarak öz vektör (W) elde edilir. Elde edilen bu değerler, her bir kriter için yüzde önem ağırlıklarıdır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3.13)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Alternatiflerin her bir alt kriter için ayrı ayrı hesaplanan öz vektörleri bir matriste toplanarak ilgili kriterin ağırlık vektörü ile çarpılır ve alternatiflerin ilgili ana kritere göre öz vektörü bulunur. Alternatiflerin her bir ana kriter için hesaplanan öz vektörleri

yine bir matriste toplanarak, bu sefer ilgili ana kriter değil, tüm ana kriterlerin özvektörü ile çarpılır ve böylece nihai öz vektör hesap edilir. AHP analizinde en yüksek değere sahip alternatifin en tercih edilebilir olduğu kabul edilir.

Karar kriterlerinin ve karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmalarının tutarlılığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranı (3.15), (3.16) ve (3.17) denklemlerinden hesaplanır [Saaty ve Vargas, 2000].

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (3.15)$$

λ_{max} (3.15) denkleminde hesaplandıktan sonra tutarlılık göstergesi (CI), (3.16) denkleminde hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.16)$$

Daha sonra CI, rassal tutarlılık indeksi (RI) olarak adlandırılan standart düzeltme değerine bölünerek tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Standart düzeltme değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.17)$$

Tablo 3.11: Rassal tutarlılık indeksi.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

3.8.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinde Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Kriterler belirlenirken teknik ekonomik ve çevresel olmak üzere 3 ana kriter ve bunlara ait alt kriterler belirlenmiştir. AHP analizinde belirlenen kriterler ve alt kriterler Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12: AHP analizinde belirlenen kriterler ve alt kriterler.

Kriterler	Alt kriterler	Açıklama
1. Teknik	a. Su kazanım oranı [İS]/[TS+DS]	Tesiste kullanılan toplam deniz suyu ve tatlı su miktarı başına üretilen içme suyu miktarı.
2. Ekonomik	a. Birim arıtma maliyeti (\$/m ³)	Üretilen içme suyunun birim arıtma maliyeti.
	b. Geri ödeme süresi (yıl)	Yatırımın kendini geri ödemesi için gerekli süre
3. Çevresel	a. Kayıp oranı [KTS]/[İS]	Tesiste üretilen içme suyu başına denize deşarjla kaybedilen tatlı su miktarı.
	b. Yük miktarı	Denize deşarj edilen ekstra tuzlu su yükünün miktarı
	c. Karbon miktarı	Havaya verilecek CO ₂ eşdeğeri karbon emisyonu.
	d. Tatlı su tüketim oranı [TS]/[DS]	Deniz suyu başına tatlı su tüketim oranı.

Çevresel kriterlerin ekosistemlere etkisi ülkeden ülkeye, hatta bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceğinden içme suyu başına kaybedilen tatlı su miktarı (KTS/İS) ve deniz suyu başına tüketilen tatlı su miktarının (TS/DS) çevreye nötr etkisi, olumlu etkisi ve olumsuz etkisinin olmasına göre detaylıca irdelenmiştir. (KTS/İS) ve (TS/DS) oranlarının ekosistemler üzerine nasıl etki ettiği Tablo 3.13’de verilmiş, ekosistemler üzerindeki çevresel etkilerin neler olduğu ise Tablo 3.14’ de açıklanmıştır.

Tablo 3.13: (KTS/İS) ve (TS/DS) oranlarının ekosistem üzerindeki etkileri.

Çevresel Etki	(KTS/İS)	(TS/DS)	Açıklama
Nötr	0	0	Yeterli su kaynağı mevcut ve tatlı su ekosistemi ile deniz ekosistemi üzerine ne olumlu ne olumsuz etki söz konusu
Olumlu	+	+	Kaybedilen ve temin edilen tatlı su deniz eko sistemi ve tatlı su ekosistemi üzerine olumlu etkiye sahip
	0	+	Yeterli su kaynağı mevcut ve kayıp deniz ekosistemine ne olumlu ne olumsuz etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini olumlu etkiliyor.
	+	0	Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne olumsuz etkiliyor.

Tablo 3.13: Devam.

Çevresel Etki	(KTS/İS)	(TS/DS)	Açıklama
Olumsuz	-	-	Tatlı su kaynağı miktarı sınırlı olduğunda, kayıp deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken; temin edilen tatlı su, tatlı su ekosistemini olumsuz etkiliyor.
	0	-	Tatlı su kaynağı miktarı sınırlı olduğunda, kayıp deniz ekosistemine ne olumlu ne olumsuz etki yaparken; temin edilen tatlı su, tatlı su ekosistemini olumsuz etkiliyor.
	-	0	Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken; temin tatlı su ekosistemine ne olumlu ne olumsuz etki yapıyor.
Olumlu ve Olumsuz	+	-	Kayıp deniz ekosistemine olumlu etki ederek; teminin tatlı su ekosistemine olumsuz etkisi söz konusu.
	-	+	Temin tatlı su ekosistemine olumlu etki ederken kaybın deniz ekosistemine olumsuz etkisi söz konusu

Tablo 3.14: (KTS/İS) ve (TS/DS) oranlarının çevresel etkileri.

Çevresel Etki	(KTS/İS)	(TS/DS)
Nötr	Çevreye olumlu yada olumsuz etkisi yok	Çevreye olumlu yada olumsuz etkisi yok
Olumlu	Kaybedilen tatlı suyun denize deşarj edilerek deniz ekosistemini besleyerek çözünmüş oksijen seviyesini artırdığı, denizin kirlilik yükünü azaltarak canlı türleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu düşünülmüştür.	Tatlı su tüketiminin taşkın riskinin yeraldığı nehir ve göllerde çevreye olumlu etki edeceği düşünülmüştür.
Olumsuz	Denize deşarj edilecek tatlı suyun deniz suyunun tuzluluğunu seyreltici etki edeceği ve buradaki canlı türlerinin olumsuz etkileneceği yada farklı sulara göç edeceği ve tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu yarı kurak bölgelerde tatlı suyun etkin ve sürdürülebilir kullanımını olumsuz etkileyeceği düşünülmüştür.	Tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde tatlı su tüketiminin tatlı su ekosistemindeki canlı türlerinin yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli kritik debinin altına inilmesi durumunda çözünmüş oksijen seviyesinin azalacağı hidrolik bekleme süresinin artacağı, ötrofikasyona sebep olacağı ve buradaki canlı yaşamının olumsuz etkileneceği düşünülmüştür.

3.8.2. MD ve Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinde Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Tatlı su beslemeli tesislerde olduğu gibi kriterler belirlenirken teknik ekonomik ve çevresel olmak üzere 3 ana kriter ve bunlara ait alt kriterler belirlenmiştir. Tatlı su beslemeli senaryolardan farklı olarak kaybedilen temiz su miktarı kazanılan atıksu miktarı olacak şekilde kriterlerde değişiklik yapılmıştır. Tablo 3.15'te belirlenen kriterler ve alt kriterler verilmiştir.

Tablo 3.15: AHP analizinde belirlenen kriterler ve alt kriterler.

Kriterler	Alt kriterler	Açıklama
1. Teknik	a. Su kazanım oranı [İS]/[AÇS+DS]	Tesiste kullanılan toplam deniz suyu ve arıtma çıkış suyu miktarı başına üretilen içme suyu miktarı.
2. Ekonomik	a. Birim arıtma maliyeti (\$/m ³)	Üretilen içme suyunun birim arıtma maliyeti
	b. Geri ödeme süresi (yıl)	Yatırımın kendini geri ödemesi için gerekli süre
3. Çevresel	a. Arıtılmış atıksu kazanım oranı [KAÇS]/[İS]	Tesiste üretilen içme suyu başına kazanılan arıtma çıkış suyu miktarı.
	b. Yük miktarı	Denize deşarj edilen ekstra tuzlu su yükünün miktarı
	c. Karbon miktarı	Havaya verilecek CO ₂ eşdeğeri karbon emisyonu.
	d. Arıtma çıkış suyu tüketim oranı [AÇS]/[DS]	Deniz suyu başına arıtma çıkış suyu tüketim oranı.

İçme suyu başına kazanılan arıtma çıkış suyu miktarı (KAÇS/İS) ve deniz suyu başına tüketilen arıtma çıkış suyunun miktarının (AÇS/DS) çevreye nötr etkisi, olumlu etkisi ve olumsuz etkisinin olmasına göre detaylıca irdelenmiştir. (KAÇS/İS) ve (AÇS/DS) oranlarının AHP hesaplarındaki etkisi ve ekosistem üzerindeki çevresel etkileri Tablo 3.16 ve 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.16: (KAÇS/İS) ve (AÇS/DS) oranlarının ekosistem ve halk üzerindeki etkileri.

Çevresel Etki	(KAÇS/İS)	(AÇS/DS)	Açıklama
Nötr	0	0	Çevreye olumlu yada olumsuz etkisi yok
Olumlu	+	+	Kazanılan arıtma çıkışı ve teminin çevreye olumlu etkisi
	0	+	Teminin çevreye olumlu etkisi, AÇ kazanma nötr etki
	+	0	AÇ kazanmanın çevreye olumlu etkisi, AÇ temini nötr etki
Olumsuz	-	0	Kazanım halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkışını temin etmek önemsiz
Olumsuz ve Olumlu	-	+	Kazanım halkın tepkisine neden olurken teminin çevreye olumlu etkisi

Tablo 3.17: (KAÇS/İS) ve (AÇS/DS) oranlarının çevresel etkileri.

Çevresel Etki	(KAÇS/İS)	(AÇS/DS)
Nötr	Çevreye olumlu yada olumsuz etkisi yok	Çevreye olumlu yada olumsuz etkisi yok
Olumlu	Arıtma çıkış sularından su kazanımı su kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir kullanımına olanak sağlayarak çevre korunmasında olumlu etkiye sahiptir.	Arıtma çıkış suyunu tüketmenin alıcı ortama verilecek atıksu miktarını azaltarak alıcı ortama gidecek organik kirleticilerin ve toplam azot ile toplam fosfor yüklerindeki azaltarak ötrofikasyonu önleyecektir.
Olumsuz	Arıtma çıkış sularından su kazanılarak içme suyu temin edilmesine halkın olumsuz tepki vererek karşı çıkacağı düşünülmüştür.	Arıtma çıkış suyunu tüketmenin olumsuz etkisinin olmadığı düşünülmüştür.

3.8.3. Kriter Önceliklerinin Sınıflamaları

Belirlenen üç ana kriterin birbirlerine göre öncelikleri Tablo 3.18’de alt kriterlerin öncelikleri Tablo 3.19’da verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

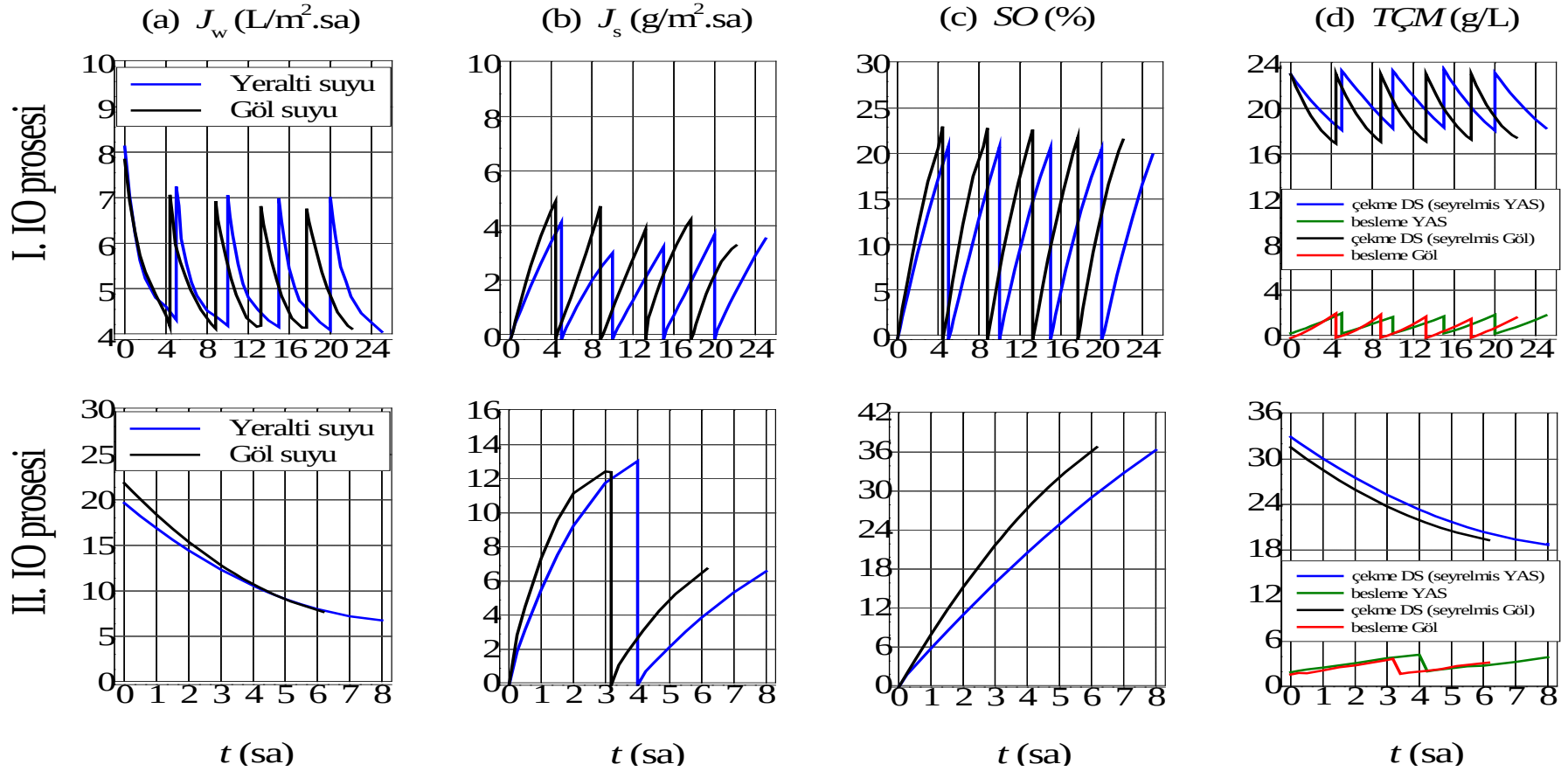
4.1. Tatlı Su Kaynağı Beslemeli İO/MD Sisteminin Sürekli İşletimine Ait Deneysel Sonuçlar

4.1.1. İleri Osmoz Deneyleri

4.1.1.1. Deniz Suyunu Yeraltısuyu ile Seyreltme

Besleme akımı olarak yeraltı suyu ve çekme akımı olarak da deniz suyunun kullanıldığı sürekli işletimli I.İO ve II. İO proseslerinin su akıları (J_w), tuz akıları (J_s), seyrelme oranları (SO), toplam çözünmüş madde miktarları (TÇM) Şekil 4.1’de gösterilmiş olup, su kalitesi analiz sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. 5 gün boyunca ortalama %21,6 deniz suyu seyrelme oranında işletilen sistemde 5-25 saatlik filtrasyon süresince su akılarının sırasıyla 4,44 - 4,14 L/m².sa arasında, tuz akılarının ise 4,30 – 3,7 g/m².sa arasında değişmiştir. I. İO prosesinin saha uygulanabilirliği için tasarım su ve tuz akısı değerleri, son 4 günün ortalaması olarak 4,23 L/m².sa ve 3,53 g/m².sa olarak belirlenmiştir. Proses performans sonuçlarına göre filtrasyon boyunca % 21,2-22 aralığında deniz suyunda toplam hacimsel seyrelme sağlanarak deniz suyunun TÇM değeri 23,3 g/L den 18,5 g/L ye düşerken yeraltı suyunun TÇM değerinin 0,49 g/L den 2,30 g/L ye yükselmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde II.İO prosesinde konsantre yeraltı suyu ile konsantre deniz suyunun seyreltilmesinde 8 sa filtrasyon sonunda deniz suyunda % 36,4 hacimsel seyrelme sağlanarak su akısı 7,05 L/m².sa tuz akısı ise 6,67 g/m².sa hesaplanmıştır. Tasarım akıları ise, konsantre deniz suyunun 4 saat filtrasyon süresi sonunda deniz suyu tuzluluğuna ulaşması sebebiyle 4. saatin sonundaki su akısı 11,52 L/m².sa, tuz akısı 13,13 g/m².sa kabul edilmiştir. Deney süresince deniz suyunun TÇM miktarı 32,9 g/L den 18,8 g/L ye düşerken, besleme akımının TÇM miktarı 1,91 g/L den 3,88 g/L ye yükselmiştir.



Şekil 4.1: İleri osmoz prosesi deneysel performans sonuçları (a) su akısı, J_w (L/m².sa); (b) tuz akısı, J_s (L/m².sa); (c) seyrelme oranı SO (%); (d) toplam çözünmüş madde $TÇM$ (g/L).

Tablo 4.1: Deniz suyunun İO prosesiyle seyreltilmesinde elde edilen konsantre yeraltısuyu ve göl suları ile seyreltilmiş deniz suyunun su kalite analizleri.

Parametre	Yeraltısuyu ile seyrelmiş deniz suyu				Göl suyu ile seyrelmiş deniz suyu			
	I. İO		II. İO		I. İO		II. İO	
	Konsantre YAS	Seyrelmiş DS	Konsantre YAS	Seyrelmiş DS	Konsantre Göl	Seyrelmiş DS	Konsantre Göl	Seyrelmiş DS
Sıcaklık (°C)	25,3 ± 0,1	25,2 ± 0,1	25,40	25,00	25,15 ± 0,05	25,15 ± 0,05	25,20	25,00
pH	8,30 ± 0,01	8,29 ± 0,06	8,64	8,79	8,79 ± 0,01	8,66 ± 0,03	8,82	8,95
Ec (mS/cm)	4,8 ± 0,53	28,8 ± 1,2	7,82	39,9	3,99 ± 0,37	29,1 ± 0,1	6,9	39,5
KOİ (mg/L)	19 ± 1	-	21,4	-	18,2 ± 1,4	-	28,5	-
TOK (mg/L)	4,17 ± 0,57	3,63 ± 0,08	3,7	1,54	4,945 ± 0,47	2,85 ± 0,7	2,98	2,59
ÇOK (mg/L)	3,155 ± 0,34	2,69 ± 0,06	3,32	1,26	4,425 ± 0,65	2,21 ± 0,56	2,44	2,11
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,016 ± 0,001	0,033 ± 0,004	0,027	0,077	0,027 ± 0,004	0,0415 ± 0,002	0,039	0,045
Ba ²⁺ (mg/L)	N.d.	0,07 ± 0,03	N.d.	0,1	N.d.	0,036 ± 0,01	N.d.	0,043
Ca ²⁺ (mg/L)	130,5 ± 5,5	460 ± 5	190	290	45,45 ± 0,65	225 ± 25	57,2	250
Mg ²⁺ (mg/L)	35,1 ± 1,7	779,5 ± 25,5	49,8	1093	53,3 ± 1,5	946 ± 12	58,9	1303
Fe (mg/L)	0,013 ± 0,003	0,005 ± 0,001	0,01	0	N.d.	0,006	N.d.	0
Mn ²⁺ (mg/L)	0,002	0,001	0,002	0,002	N.d.	0	N.d.	0,003
K ⁺ (mg/L)	77,5 ± 12,5	377,1 ± 9,9	148,1	492	84,8 ± 8,56	439 ± 4	171,9	491
Na ⁺ (mg/L)	73 ± 10	6830,5 ± 218,5	137	9107	12,55 ± 1,45	8080 ± 142	200	9308
Sr ²⁺ (mg/L)	N.d.	3,12 ± 0,06	N.d.	4,4	N.d.	3,339 ± 0,09	N.d.	4,05
B (mg/L)	N.d.	2,32 ± 0,15	N.d.	3,28	N.d.	2,179 ± 0,002	N.d.	2,712
Si (mg/L)	14,15 ± 0,35	0,72 ± 0,04	14	0,146	0,031 ± 0,001	0,78 ± 0,01	0,33	0,163
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	55,4 ± 22,2	104 ± 4	171,2	124,4	80,005 ± 13,34	88,735 ± 4,61	112,68	96,67
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	12,4 ± 12,4	37,6 ± 8	44	73,6	54,0 ± 0,67	40,0 ± 2,67	41,32	66,66
Alkalinite (mg/L)	67,8 ± 34,6	141,6 ± 4	215,2	198	134 ± 12,67	129 ± 1,94	154	163,33
Toplam sertlik (mg/L)	695,5 ± 84,5	3668 ± 248	920	5162	303 ± 15	3760 ± 56	466	4836
AKM (mg/L)	35,5 ± 0,5	-	16,7	-	37,35 ± 0,95	-	55,5	-
N.d Ölçümlerde değeri saptanamayan parametreleri ifade etmektedir.								

Tablo 4.1: Devam.

Parametre	Yeraltısuyu ile seyrelmiş deniz suyu				Göl suyu ile seyrelmiş deniz suyu			
	I. İO		II. İO		I. İO		II. İO	
	Konsantre YAS	Seyrelmiş DS	Konsantre YAS	Seyrelmiş DS	Konsantre Göl	Seyrelmiş DS	Konsantre Göl	Seyrelmiş DS
Renk								
436 nm	0	0,0005 ± 0,001	0,001	0,006	0,0045 ± 0,003	0,001 ± 0	0,004	0,001
525 nm	0,001 ± 0,001	0	0,002	0,003	0	0	0	0
620 nm	0,0005 ± 0,001	0	0,001	0,004	0,002 ± 0,002	0	0	0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	299 ± 7	1700,5 ± 31,5	389	2316	78,9 ± 6,1	1850 ± 115	85,2	775
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0
TP (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻ (mg/L)	168 ± 2	7923 ± 174	387	9246	1264 ± 115	13570 ± 1324	2550	19194
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,28 ± 0,01	< 0,1	0,66	< 0,1	0,255 ± 0,01	< 0,1	0,33	< 0,1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	15,2 ± 0,2	1,15 ± 0,05	14,5	1,1	0,585 ± 0,04	1,6 ± 0,15	0,58	2
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0
TKN (mg/L)	0,3 ± 0,44	< 0,1	0,27	< 0,1	0,695 ± 0,44	< 0,1	0,33	< 0,1
TN (mg/L)	15,5 ± 0,06	1,25 ± 0,05	14,8	1,2	1,815 ± 0,06	1,65 ± 0,15	1,104	2,1

Tablo 4.1 incelendiğinde I.İO prosesinde deniz suyunun seyreltilmesinde yeraltısuyu osmotik taşınım ile ham deniz suyunu seyreltirken su kalitesi değerleri seyrelerek yeraltısuyunun su kalitesi de kısmen azalmıştır. Ancak, bikarbonat, karbonat ve alkalinite gibi bazı parametrelerin, membranda birikimi ile beklenen artışları göstermediği anlaşılmıştır.

II. İO prosesinde konsantre deniz suyunun, deniz suyu tuzluluğuna seyreltilmesinde besleme ve çekme çözeltilerinde I İO prosesine benzer su kalitesi sonuçları elde edilmiştir. Her iki İO prosesinde de çekme çözeltisinden besleme çözeltisine difüzyonla tuzluluk geçişi olduğu görülmüştür.

4.1.1.2. Deniz Suyunu Göl Suyu ile Seyreltme

İO/MD sisteminin göl suyu ile yürütülen deneysel çalışmaları, yeraltı suyu için yapılan çalışmalarda anlaşıya göre gerçekleştirilmiştir. Göl suyunun besleme akımı olarak kullanıldığı İO prosesine ait performans sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. I.İO prosesinde ham deniz suyunun göl suyu ile seyreltilmesinde, 4,5 saat filtrasyon süresince kararlı bir proses işletimi sağlanarak deniz suyunda % 21,9-23,4 aralığında hacimsel seyrelme gerçekleşmiştir. Deniz suyundaki TÇM miktarının değişimi filtrasyon süresince yaklaşık olarak 23,3 g/L – 17,72 g/L aralığında iken göl suyunda TÇM miktarının değişimi 0,16 g/L – 2,36 g/L aralığındadır. 4,5-22,5 saat filtrasyon sürelerinin sonunda su akılarının sırasıyla 4,33-4,21 L/m².sa hesaplanmıştır. Tuz akısı ise 5,05-3,44 g/m².sa I.İO prosesinin saha uygulanabilirliği için su ve tuz akıları, son 4 değerlerin ortalaması olarak 4,21 L/m².sa ve 4,18 g/m².sa hesaplanmıştır.

Şekil 4.1 incelendiğinde II.İO prosesinde konsantre göl suyu ile konsantre deniz suyunun seyreltilmesinde 3,2 ve 6,2 saat filtrasyon sonucunda sırasıyla % 22 ve % 37 oranlarında deniz suyunda hacimsel seyrelme sağlanmıştır. Su akısı 3,2 saatin sonunda 13,54 iken 6,2 saat filtrasyon sonunda 7,9 L/m².sa düşmüştür. Tuz akısı ise, 3,2 saat sonunda 12,48 iken 6,2 saatin sonunda 6,82 g/m².sa düşmüştür. Tasarım akıları konsantre deniz suyunun 3,2 saat filtrasyon sonunda deniz suyu tuzluluğuna ulaşması sebebiyle su akısı 13,54 L/m².sa ve tuz akısı da 12,48 g/m².sa hesaplanmıştır.

Deniz suyunun göl suyu ile seyreltildiği İO prosesinde, Tablo 4.1’de ki su kalitesi analiz sonuçlarına bakıldığında I.İO ve II. İO proseslerinde göl suyu ham deniz

suyunu seyreltirken deniz suyunun su kalitesi değerlerinde seyrelme gözlenirken, göl suyu konsantre olduğu için su kalitesi de kısmen azalmıştır.

4.1.2. Membran Distilasyonu Deneyleri

4.1.2.1. Ham Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi

Ham deniz suyu ile işletilen MD sisteminin performans sonuçları Şekil 4.2 (I)'de gösterilmiştir. 30 saat çalıştırılan prosesin su akısının 18. saatten itibaren kararlı hale geldiği görülmektedir. MD sisteminin saha uygulanabilirliğinde dikkate alınacak tasarım su akısı, 18-30. saate ait akı değerlerinin ortalaması alınarak $10,1 \text{ L/m}^2\cdot\text{sa}$ hesaplanmıştır. Hacimsel konsantre olma oranı 18. saatte kararlı hale ulaşarak 30 saatin sonunda ortalama %15 seviyesindedir. Deniz suyunun TÇM miktarı kararlı hal süresince $25,5 - 29,3 \text{ g/L}$ 'ye yükselirken, süzüntü akımının TÇM miktarı işletim süresince $0,22 \text{ g/L}$ yükselmiştir.

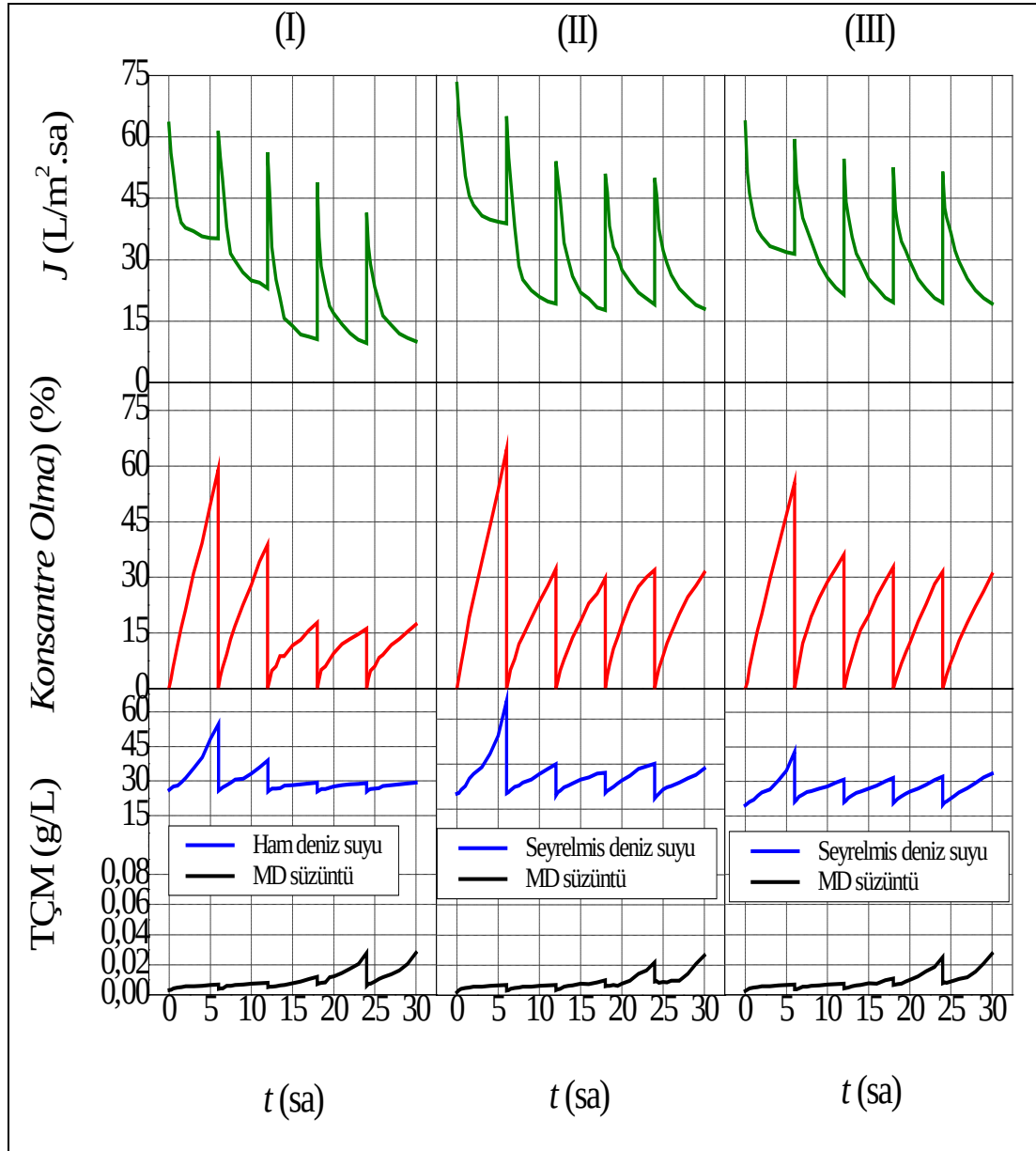
4.1.2.2. Yeraltısuyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi

I.İÖ prosesinde yeraltı suyu ile seyreltilen deniz suyunun arıtıldığı MD sisteminin performans sonuçları Şekil 4.2 (II)'de gösterilmiştir. 5 ardışık gün 6'şar saatlik periyotlarda toplam 30 saatlik işletim süresince akının 12 saat filtrasyondan sonra kararlı bir hal aldığı görülmektedir. MD sisteminin saha uygulanabilirliğinde dikkate alınacak tasarım su akısı değeri, son 12 - 30 saat arasındaki akı değerlerinin ortalaması alınarak $18,3 \text{ L/m}^2\cdot\text{sa}$ hesaplanmıştır. Konsantre olma oranı 12 saatte kararlı hale ulaşarak ortalama %30 seviyesindedir. Filtrasyon sonunda deniz suyunun TÇM miktarı kararlı hal süresince $18,5-28,5 \text{ g/L}$ seviyelerinde iken süzüntü akımının TÇM miktarı $0,23 \text{ g/L}$ yükselmiştir.

4.1.2.3. Göl Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun Arıtıldığı MD Prosesi

I.İÖ prosesinde göl suyu ile seyreltilmiş deniz suyunun arıtıldığı MD sisteminin performans sonuçları Şekil 4.2 (III)'te gösterilmiştir. Şekil 4.2 (III)'ten görüleceği üzere toplam 30 saat işletilen MD prosesi, yaklaşık 12 saat filtrasyon süresinden sonra

kararlı hale ulaşmıştır. 6 saat filtrasyon süresinin sonunda yaklaşık % 57 seviyelerinde konsantre edilen seyrelmiş deniz suyu konsantre olma oranlarının 12 saatten sonra % 31-36 aralığında değiştiği görülmektedir. TÇM miktarı deniz suyu 19,9-33,4 g/L, süzöntü akımında 41-246 mg/L aralığında değişmiştir. 6-30 sa filtrasyon süresinde su akısı 31,4 – 19,3 L/m².sa arasında değişmiştir. Tasarım su akısı değeri, akı değerlerinin ortalamasından 19,5 L/m².sa hesaplanmıştır.



Şekil 4.2: Tatlı su kaynağı beslemeli İO/MD prosesinin MD deneysel performansları (I) Ham deniz suyu beslemeli, (II) Yeraltısuyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli, (III) Göl suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli.

Tablo 4.2: Ham ve I.İÖ prosesiyle seyrelmiş deniz suyunun arıtıldığı MD prosesinin su kalitesi sonuçları.

Parametre	Ham Deniz Suyu			Yeraltısuyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu			Göl Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu		
	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)
Sıcaklık (°C)	60	29,7	-	60	30	-	60	29,5	-
pH	8,74	8,12	-	8,48	8,65	-	8,83	8,33	-
Ec (mS/cm)	45800	96,8	99,79	47600	108	99,77	52900	88,3	99,83
KOİ (mg/L)	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-
TOK (mg/L)	5,04	0,07	98,61	5,2	0,05	99,04	4,64	0,04	99,14
ÇOK (mg/L)	4,42	0,06	98,64	1,07	0,03	97,20	3,57	0,03	99,16
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,06	0,001	98,33	0,067	0,001	98,51	0,089	0	100
Ba ²⁺ (mg/L)	0,16	<0,01	-	0,11	0,002	90,91	0,14	0,07	50,00
Ca ²⁺ (mg/L)	615	1,19	99,81	657	1,71	99,74	400	1,2	99,70
Mg ²⁺ (mg/L)	1184	1,49	99,87	1209	3,68	99,70	1836	3,76	99,80
Fe (mg/L)	0,003	0	100	0,002	0	100	0,017	0	100,00
Mn ²⁺ (mg/L)	0,002	0	100	0,001	0	100	0,001	0	100,00
K ⁺ (mg/L)	568	0,53	99,91	550	1,87	99,66	513	1,62	99,68
Na ⁺ (mg/L)	10834	0,11	100,00	10230	0,35	100,00	12023	1,08	99,99
Sr ²⁺ (mg/L)	4,70	0,01	99,79	4,7	0,03	99,36	3,96	0,02	99,49
B (mg/L)	3,65	0,02	99,45	3,32	0,02	99,40	2,39	0,02	99,16
Si (mg/L)	1,28	0,006	99,53	1,10	0,005	99,55	1,12	0,006	99,46
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	113,2	0,68	99,40	111,6	0,46	99,59	91	0,50	99,45
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	81,6	0	100	97,6	0	100	152	0	100
Alkalinite (mg/L)	194,8	0,68	99,65	209,2	0,46	99,78	243	0,50	99,79
Toplam sertlik (mg/L)	6007	13,12	99,78	5891,5	34	99,42	7352	30,25	99,59
AKM (mg/L)	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-
N.m. Ölçülmeyen parametreleri ifade etmektedir.									

Tablo 4.2: Devam.

Parametre	Ham Deniz Suyu			Yeraltısuyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu			Göl Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu		
	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)
Renk									
436 nm	0,001	0,001	-	0,004	0,0005	87,50	0,007	0,001	85,71
525 nm	0,001	0	100	0,002	0,001	50	0,003	0	100
620 nm	0,001	0	100	0,001	0,0005	50	0,0005	0	100
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	2446	6,4	99,74	2592,5	6,2	99,76	3026	6,8	99,78
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0	0	-	0	0	-	0	0	-
TP (mg/L)	0	0	-	0	0	-	0	0	-
Cl ⁻ (mg/L)	11195	16,49	99,85	11896	15,75	99,87	13225	9,55	99,93
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0,1	< 0,1	-	< 0,1	< 0,1	-	< 0,1	< 0,1	-
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,23	0	100	1,61	0,005	99,69	2,10	0,005	99,76
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0	0	-	0	0	-	0	0	-
TKN (mg/L)	< 0,1	< 0,1	-	< 0,1	< 0,1	-	< 0,1	< 0,1	-
TN (mg/L)	0,29	< 0,1	-	1,65	< 0,1	-	2,18	< 0,1	-

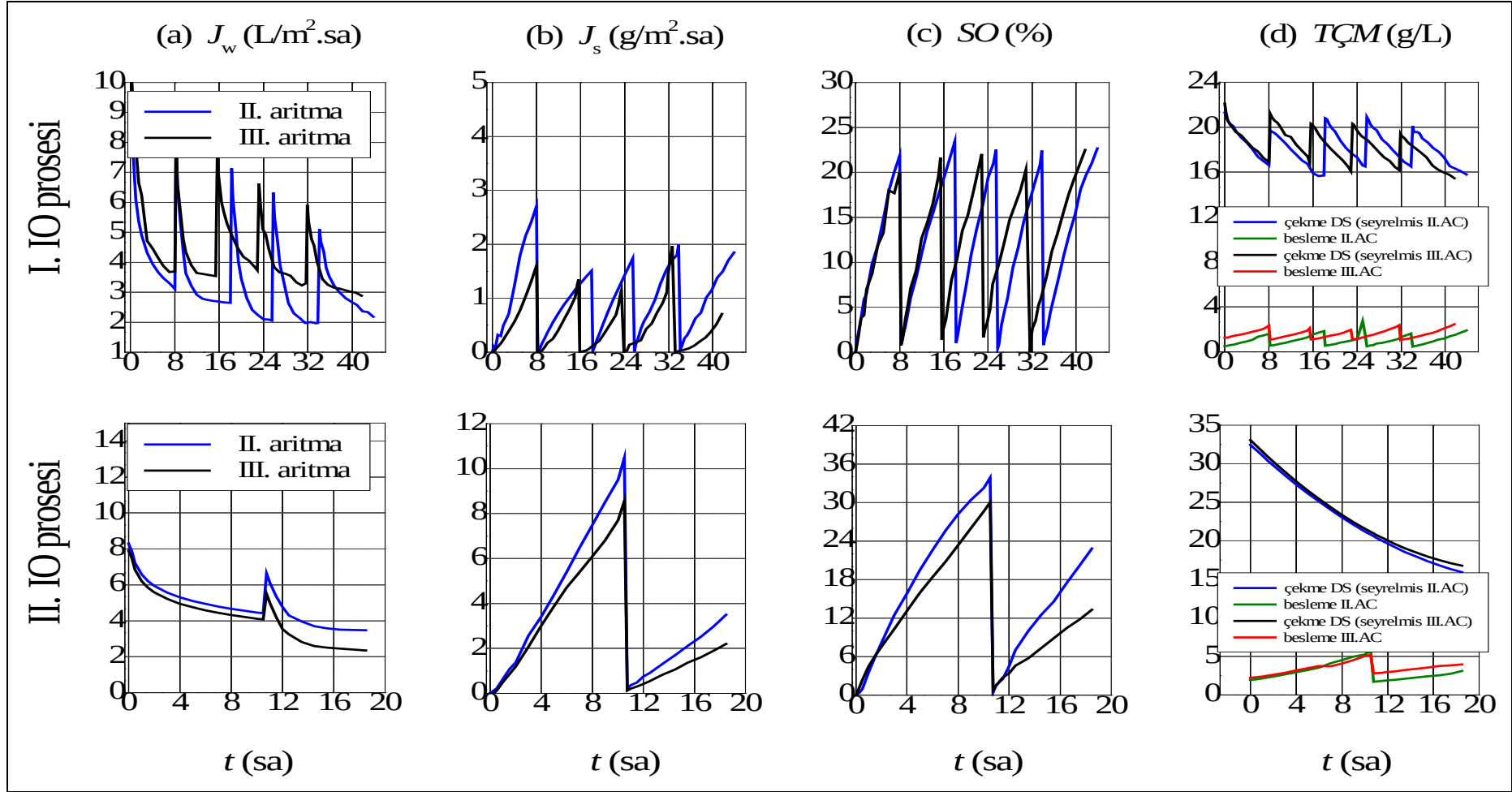
4.2. Kentsel Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Sisteminin Sürekli İşletimine Ait Deneysel Sonuçlar

4.2.1. İleri Osmoz Deneyleri

4.2.1.1. Deniz Suyunu II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyreltme

İO/MD sisteminde II. arıtma çıkış suyu ile yürütülen deneysel çalışmalar, tatlı su kaynağı için yapılan çalışmalardaki anlayışa göre gerçekleştirilmiştir. II. arıtma çıkış suyunun besleme akımı olarak kullanıldığı İO prosesine ait performans sonuçları Şekil 4.3'te gösterilirken, su kalitesine ait sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir. I.İO prosesinde ham deniz suyunun II. arıtma çıkış suyu ile seyreltilmesinde, 8 saat filtrasyon süresince kararlı bir proses işletimi sağlanarak deniz suyunda % 21,8-23,4 aralığında hacimsel seyrelme gerçekleşmiştir Proses 5 gün boyunca günde yaklaşık 8 saat çalıştırılmıştır. 8-43,8 saat filtrasyon sürelerinin sonunda su akılarının sırasıyla 3,12-2,18 L/m².sa hesaplanmıştır. Tuz akılarının ise 8. saatin sonunda 2,71 g/m².sa, 43,8. saatin sonunda 1,85 g/m².sa hesaplanarak, deniz suyundan II. arıtma çıkış suyu akımına deniz tuzu geçtiği görülmüştür. I.İO prosesinin saha uygulanabilirliği için son 4 günün ortalaması alınarak su akısı 2,02 L/ m².sa, tuz akısı 1,86 g/m².sa hesaplanmıştır. Deniz suyundaki TDS değişimi filtasyon süresince yaklaşık olarak 16,62 g/L – 15,80 g/L aralığında iken II arıtma suyunda TDS değişimi 1,60 g/L – 1,90 g/L aralığındadır.

Şekil 4.3 incelendiğinde II.İO prosesinde konsantre II. arıtma çıkış suyu ile konsantre deniz suyunun seyreltilmesinde 10,5 ve 18,5 sa filtrasyon sonucunda sırasıyla % 34 ve % 56 oranında deniz suyunda toplam hacimsel seyrelme gerçekleşmiştir. Su akısı 10,5 saatin sonunda 4,41 L/m².sa iken 18,5 saatin sonunda akı 3,41 L/m².sa düşmüştür. Tuz akısı 10,5 saatin sonunda , 10,48 ve 18,5 saatinde sonunda 4,3 g/m².saate düşmüştür. Tasarım su ve tuz akısı değerleri konsantre deniz suyunun 10,5 saat filtrasyon süresi sonunda deniz suyu tuzluluğuna ulaşması sebebiyle 4,41 L/m².sa ve 10,48 g/m².sa olarak belirlenmiştir. Başlangıçta 32,5 g/L olan deniz suyunun TÇM miktarı 10,5 saatin sonunda 20,6 g/L'ye, 18,5 saatin sonunda 16 g/L ye düşmüştür. II arıtma çıkışının TÇM miktarı 1,9-5,7 g/L aralığında değişmiştir.



Şekil 4.3: İleri osmoz prosesi deneysel performans sonuçları (a) su akışı, J_w (L/m².sa); (b) tuz akışı, J_s (L/m².sa); (c) seyrelme oranı SO (%); (d) toplam çözünmüş madde $TÇM$ (g/L).

Tablo 4.3: Deniz suyunun İO prosesiyle seyreltilmesinde elde edilen konsantre II. arıtma ve III. arıtma çıkış suları ile seyreltilmiş deniz suyunun su kalite analizleri.

Parametre	II. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu				III. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu			
	I. İO		II. İO		I. İO		II. İO	
	Konsantre II. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre II. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre III. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre III. AÇ	Seyrelmiş DS
Sıcaklık (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25
pH	8,84 ±0,08	8,60 ±0,1	8,64	8,91	8,42 ±0,11	8,26 ±0,02	8,82	8,51
Ec (mS/cm)	3395 ±265	27250 ±650	5870	33900	4510 ±40	27750 ±550	9760	35200
KOİ (mg/L)	39,6 ±0,8	N.m	48,4	N.m	110 ±37	N.m	308	N.m
TOK (mg/L)	9,42 ±1,3	3,83 ±0,1	8,36	1,77	10,76 ±1,5	3,87 ±0,11	9,55	1,77
ÇOK (mg/L)	7,16 ±0,77	2,84 ±0,06	7,46	1,45	8,67 ±0,96	2,87 ±0,1	8,53	1,47
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,24 ±0,01	0,03 ±0,01	0,39	0,09	0,175 ±0,01	0,025 ±0,01	0,402	0,072
Ba ²⁺ (mg/L)	N.d	1,05 ±0,1	N.d	1,3	N.d	0,98 ±0,02	N.d	0,09
Ca ²⁺ (mg/L)	73,14 ±2	226 ±7	402	288	63,4 ±1,8	288 ±2,8	75,2	274
Mg ²⁺ (mg/L)	18,79 ±0,43	628 ±16	108	823	52,6 ±1,95	614 ±4,3	86,3	812,5
Fe (mg/L)	0,03 ±0,01	0,001 ±0,01	0,005	0,004	0,009 ±0,001	0,003 ±0,01	0,021	0,038
Mn ²⁺ (mg/L)	N.d	0,03 ±0,02	N.d	0,06	N.d	0,008 ±0	N.d	0,044
K ⁺ (mg/L)	39,1 ±3,24	193 ±5	121	247	96,27 ±6,3	352 ±6,5	204	527
Na ⁺ (mg/L)	567 ±51	5149 ±156	2081	6595	8,31 ±0,56	5229 ±116	17,7	6687
Sr ²⁺ (mg/L)	N.d	3,78 ±0,1	N.d	4,95	N.d	2,75 ±0,06	N.d	3932
B (mg/L)	N.d	1,50 ±0,1	N.d	2,7	N.d	1,76 ±0,07	N.d	1959
Si (mg/L)	N.d	0,56 ±0,02	N.d	0,70	N.d	0,16 ±0,01	N.d	0,209
HCO ₃ (mg/L)	152 ±37,5	71,8 ±5	306	183	261 ±12	122 ±10,5	377	126
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	7,50 ±3,5	45 ±10	0	0	25,5 ±4	19,5 ±5	68	64
Alkalinite (mg/L)	160 ±6	143 ±15	306	183	287 ±14	141,5 ±2	445	190
Toplam sertlik (mg/L)	282 ±5,1	3499 ±100	953	4526	588 ±6	3465 ±12	1021	4600
AKM (mg/L)	26 ±2	N.m	44	N.m	21 ±3	N.m	41	N.m
N.m. Ölçülmeyen parametreleri ifade etmektedir.								
N.d Ölçümlerde değeri saptanamayan parametreleri ifade etmektedir.								

Tablo 4.3: Devam.

Parametre	II. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu				III. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu			
	I. İO		II. İO		I. İO		II. İO	
	Konsantre II. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre II. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre III. AÇ	Seyrelmiş DS	Konsantre III. AÇ	Seyrelmiş DS
Renk								
436 nm	0,018 ±0,001	0,001 ±0,001	0,031	0,005	0,016 ±0,001	0,0045 ±0,003	0,056	0,006
525 nm	0,010 ±0,001	0,001 ±0,001	0,015	0,005	0,007 ±0	0,0025 ±0,003	0,033	0,003
620 nm	0,005 ±0,001	0	0,01	0,003	0,004 ±0,001	0,0025 ±0,003	0,022	0,003
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	53 ±5,6	1973 ±350	190	1499	286 ±1,8	1286 ±21	439	2171
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,06 ±0,01	0,02 ±0,02	0,25	0	1,68 ±0,1	0,03 ±0,01	1,4	0,01
TP (mg/L)	0,19 ±0,01	0,02 ±0,02	0,34	0,02	1,73 ±0,18	0,04 ±0,01	1,06	0,02
Cl ⁻ (mg/L)	905 ±95	9452 ±155	3249	11197	1263 ±63	10422 ±75	2514	13456
NH ₄ ⁺ (mg/L)	3,68 ±0,01	<0,1	10	<0,1	3,32 ±0,23	<0,1	9,14	<0,1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	13,29 ±1	0,27 ±0,03	11,5	0,22	4,68 ±0,28	2 ±0,1	1,9	3,8
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0	0	0,05	0,39	0,63 ±0,2	0	0	0
TKN (mg/L)	8,04 ±2,2	<0,1	5,75	<0,1	2,11 ±0,1	<0,1	1,2	<0,1
TN (mg/L)	25,0 ±1,2	0,28 ±0,03	27,3	0,62	10,72 ±1,2	2,1 ±0,1	12,3	3,9

Tablo 4.3'te ki ileri osmoz prosesinin su kalitesi sonuçları incelendiğinde deniz suyu akımının seyrelmeye bağlı olarak kalitesi kısmen artarken II. arıtma çıkış suyu konsantre olarak su kalitesi azalmıştır.

4.2.1.2. Deniz Suyunu III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyreltme

İÖ/MD sisteminde III. arıtma çıkış suyunun besleme akımı olarak kullanıldığı İÖ prosesine ait performans sonuçları Şekil 4.3'de gösterilirken, su kalitesi analiz sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. I.İÖ prosesinde ham deniz suyunun III. arıtma çıkış suyu ile seyreltilmesinde, 8-41,7 saat filtrasyon süresince deniz suyunda yaklaşık % 20-22,5 hacimsel seyrelme gerçekleşmiştir. Proses 5 gün boyunca günde yaklaşık 8 saat çalıştırılmıştır. 8 saatin sonunda 3,70 L/m².sa olan su akısı, 41,7 saatin sonunda 2,88 L/ m².sa düşmüştür. Tuz akısı ise 8. saatin sonunda 1,6 g/m².sa, 41,7. saatin sonunda 0,71 g/m².sa hesaplanmıştır. Son 4 günün ortalaması alınarak su akısı 3,38 L/m².sa, tuz akısı 0,99 g/m².sa hesaplanmıştır. Deniz suyundaki TÇM miktarının değişimi yaklaşık olarak 16,9 g/L – 15,5 g/L aralığında iken III arıtma suyunda TÇM miktarının değişimi 2,3 g/L – 2,5 g/L aralığındadır.

Şekil 4.3'te II.İÖ prosesinde konsantre III. arıtma çıkış suyu ile konsantre deniz suyunun seyreltilmesinde 10,5 ve 18,5 sa filtrasyon sonucunda sırasıyla % 30 ve % 43 oranında deniz suyunda toplam hacimsel seyrelme gerçekleşmiştir. Su akısı 10,5 saatin sonunda 4,20 L/m².sa iken 18,5 saatin sonunda akı 2,44 L/m².sa düşmüştür. Tuz akısı 10,5 saatin sonunda 8,56 g/m².sa ve 18,5 saatinde sonunda 2,20 g/m².sa düşmüştür. Tasarım su ve tuz akısı değerleri konsantre deniz suyunun 10,5 saat filtrasyon süresi sonunda deniz suyu tuzluluğuna ulaştığı için 4,20 L/m².sa ve 8,56 g/m².sa olarak belirlenmiştir. Deniz suyunun TÇM miktarı 10,5 saatin sonunda 21,5 g/L'ye, 18,5 saatin sonunda 16,6 g/L ye düşmüştür. III arıtma çıkışının TÇM miktarı ise 3,6-5,2 g/L aralığında değiştiği görülmektedir.

4.2.2. Membran Distilasyon Deneyleri

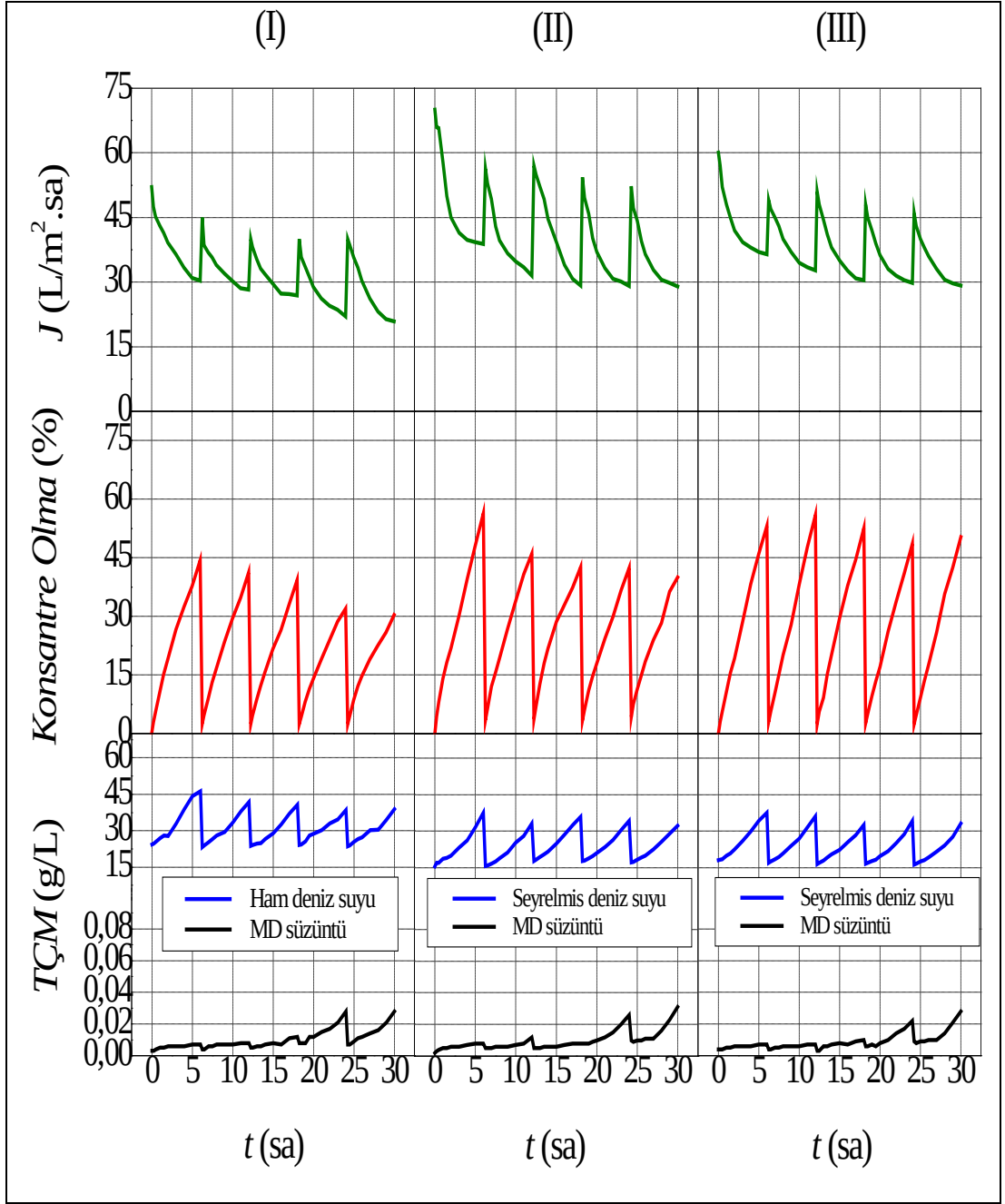
4.2.2.1. Ham Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi

Farklı deniz suyu akımı için farklı MD performansının ortaya çıktığının laboratuvar ortamında gözlenmiş olması dolayısıyla, MD prosesinin tek başına olan deniz suyu arıtma maliyetlerini İO/MD sistemi ile kıyaslanabilir yapmak amacıyla; II. Arıtma çıkış suyu ve III. Arıtma çıkış suyu beslenen İO/MD sistemi ile aynı ham deniz suyunun kullanıldığı tek başına MD verilerinin uzun süreli şartlar için yeniden üretilmesi gerekmiştir.

Ham deniz suyu ile işletilen MD sisteminin performans sonuçları Şekil 4.4 (I)'de gösterilmiştir. 5 gün boyunca günde 6 saat toplam 30 saat çalıştırılan prosesin 6-30 saat filtrasyon sonundaki su akıları $30,4-20,8 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ hesaplanmıştır. Su akısının 12. saatten itibaren kararlı hale geldiği görülmektedir. MD sisteminin saha uygulanabilirliğinde dikkate alınacak tasarım su akısı, 12-30. saate ait akı değerlerinin ortalaması alınarak $21,4 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ hesaplanmıştır. Konsantre olma oranı başlarda % 40 seviyesinde iken 30 saatin sonunda yaklaşık % 30'a düşmüştür. Deniz suyunun TÇM miktarı 23 g/L 'den deney sonunda $39-46 \text{ g/L}$ yükselirken, süzüntü akımının TÇM miktarı 30 saatin sonunda $0,03 \text{ g/L}$ yükselmiştir.

4.2.2.2. II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi

Şekil 4.4 (II)'ye bakıldığında, MD prosesinde azalan akı değerlerinde sırasıyla 6. saatin sonunda % 56 seviyelerinde konsantre edilen deniz suyunda konsantre olma oranlarının 30 saatin sonunda % 40'a düştüğü görülmektedir. 6-30 saatlik filtrasyon süresince su akılarının $38,8-28,9 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ aralığındadır MD prosesinin saha uygulanabilirliğinde dikkate alınacak tasarım su akısı değerinin, son 4 güne ait akı değerleri ortalaması alınarak $29,67 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ hesaplanmıştır. Belirlenen bu değer, tekli MD'de aynı deniz suyu ile yürütülen çalışmalar için elde edilmiş $21,4 \text{ L/m}^2.\text{sa}$ tasarım su akısı değerinden yaklaşık %38,6 daha yüksektir. Deniz suyunun TÇM miktarı deney sonunda $32-37 \text{ g/L}$ 'ye yükselirken, süzüntü akımının TÇM miktarı $0,03 \text{ g/L}$ 'ye artmıştır.



Şekil 4.4: Evsel atıksu arıtma çıkışı beslemeli İO/MD prosesinin MD deneysel performansları (I) Ham deniz suyu beslemeli, (II) II. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli, (III) III. arıtma çıkış suyu ile seyrelmiş deniz suyu beslemeli.

Tablo 4.4: Ham ve I.İÖ prosesiyle seyrelmiş deniz suyunun arıtıldığı MD prosesinin su kalitesi sonuçları.

Parametre	Ham Deniz Suyu			II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu			III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu		
	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)
Sıcaklık (°C)	60	30	-	60	30	-	60	30	-
pH	8,34	8,0	-	8,85	8,09	-	8,45	7,77	-
Ec (mS/cm)	62700	45,5	99,93	55050	47,6	99,91	56700	51,6	99,91
KOİ (mg/L)	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-
TOK (mg/L)	5,44	0,05	99,17	8,9	0,05	99,49	10,18	0,07	99,31
ÇOK (mg/L)	4,77	0,04	99,27	6,50	0,04	99,46	7,43	0,05	99,39
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,07	0,0005	99,37	0,10	0,0005	99,56	0,22	0,0011	99,53
Ba ²⁺ (mg/L)	1,59	0,01	99,15	1,64	0,01	99,18	1,22	0,01	99,39
Ca ²⁺ (mg/L)	655	1,10	99,83	560	1,1	99,80	447	2,1	99,54
Mg ²⁺ (mg/L)	1203	0,32	99,97	985	0,36	99,96	1230	0,11	99,99
Fe (mg/L)	0,14	0	100	0,16	0	100	0,17	0	100
Mn ²⁺ (mg/L)	0,142	0,001	99,29	0,09	0,001	98,86	0,015	0	100
K ⁺ (mg/L)	750	0,32	99,96	407	0,35	99,91	733	0,2	99,97
Na ⁺ (mg/L)	10876	0,04	100	10720	0,04	100	10180	0,12	100
Sr ²⁺ (mg/L)	5520	0,01	100	7,8	0,02	99,74	6,4	0,01	99,84
B (mg/L)	1898	0,02	100	3,2	0,02	99,41	3935	0,06	100
Si (mg/L)	0,163	0,001	99,38	0,47	0,001	99,79	0,22	0,002	99,07
HCO ₃ (mg/L)	115	1,03	99,11	135	1,25	99,07	133	0,98	99,27
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	138	0	100	160	0	100	158	0	100
Alkalinite (mg/L)	253	1,03	99,59	295	1,25	99,58	291	6,3	97,83
Toplam sertlik (mg/L)	7477	6,15	99,92	7263	8,2	99,89	6827	9,43	99,86
AKM (mg/L)	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-	N.m	N.m	-
N.m. Ölçülmeleyen parametreleri ifade etmektedir.									

Tablo 4.4: Devam.

Parametre	Ham Deniz Suyu			II. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu			III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyu		
	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)	Konsantre DS	İçme suyu	R (%)
Renk									
436 nm	0,001	0	100	0,005	0	100	0,024	0	100
525 nm	0	0	-	0,002	0	100	0,016	0	100
620 nm	0,001	0,001	50	0,001	0,0005	50	0,007	0	100
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	3235	7,42	99,77	3053	8,55	99,72	3189	7,46	99,77
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,02	0	100	0,02	0	100	0,02	0	100
TP (mg/L)	0,06	0	100	0,04	0	100	0,05	0	100
Cl ⁻ (mg/L)	23643	10,7	99,95	19294	9,35	99,95	21744	10,7	99,95
NH ₄ ⁺ (mg/L)	<0,1	< 0,1	-	<0,1	< 0,1	-	<0,1	<0,1	-
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,26	0	100	0,24	0	100	0,43	0	100
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0	0	-	0	0	-	0	0	-
TKN (mg/L)	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	-
TN (mg/L)	0,29	<0,1	>65	0,25	<0,1	>59,2	0,44	<0,1	>77

4.2.2.3. III. Arıtma Çıkış Suyu ile Seyrelmiş Deniz Suyunun İşlendiği MD Prosesi

Şekil 4.4 (III)'te, MD prosesinde azalan akı değerlerinde sırasıyla ilk 6 saat % 53 seviyelerinde konsantre edilen seyrelmiş deniz suyunda konsantre olma oranlarının 6-30 saat filtrasyon aralığında, % 48-56 aralığında değişmiştir. 6 saatin sonunda 39,2 L/m².sa olan akı 30 saatin sonunda 29,2 L/m².sa düşmüştür. Bütünleşik sistem kapsamında MD prosesinin saha uygulanabilirliğinde dikkate alınacak tasarım su akısı değerinin, son 4 güne ait akı değerleri ortalaması alınarak 30,5 L/m².sa hesaplanmıştır. Belirlenen bu değer, ham deniz suyunun arıtıldığı MD'de aynı deniz suyu ile yürütülen çalışmalar için elde edilmiş 21,4 L/m².sa tasarım su akısı değerinden yaklaşık % 42,5 daha yüksektir. Deniz suyunun TÇM miktarı işletim sonunda 33-37 g/L'ye artarken, süzüntü akımı 0,028 g/L'ye artmıştır.

4.3. Saha Uygulanabilirlik Maliyet Analiz Sonuçları

4.3.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD

4.3.1.1. Birim Arıtma Maliyeti

MD ve İO/MD senaryolarında değişen elektrik fiyatının (0,04-0,10 \$/kWsa) birim su arıtma maliyeti üzerine etkisi ısı geri kazanımsız ve ısı geri kazanımlı senaryolarda doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için hesaplanıp kıyaslanmıştır. İO/MD senaryolarında konsantre deniz suyunun üretildiği senaryolar A ile kodlanırken, deniz suyu konsantresinin üretilmediği senaryolar B ile kodlanarak gösterilmiştir. MD ve Yeraltı suyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneği için, ısı kazanımının uygulanmadığı MD senaryolarında MD'nin birim arıtma maliyetleri değişen elektrik fiyatları (0,04-0,10 \$/kWsa) için tek kademe MD için 4,14-4,22 \$/m³ arasında değişirken, ardışık olarak uygulanan MD (çift kademe) için 2,85-2,93 \$/m³ arasında değişmiştir. Isı kazanımının yapıldığı MD senaryolarında harici ısı kazanımı yapıldığında arıtma maliyeti tek

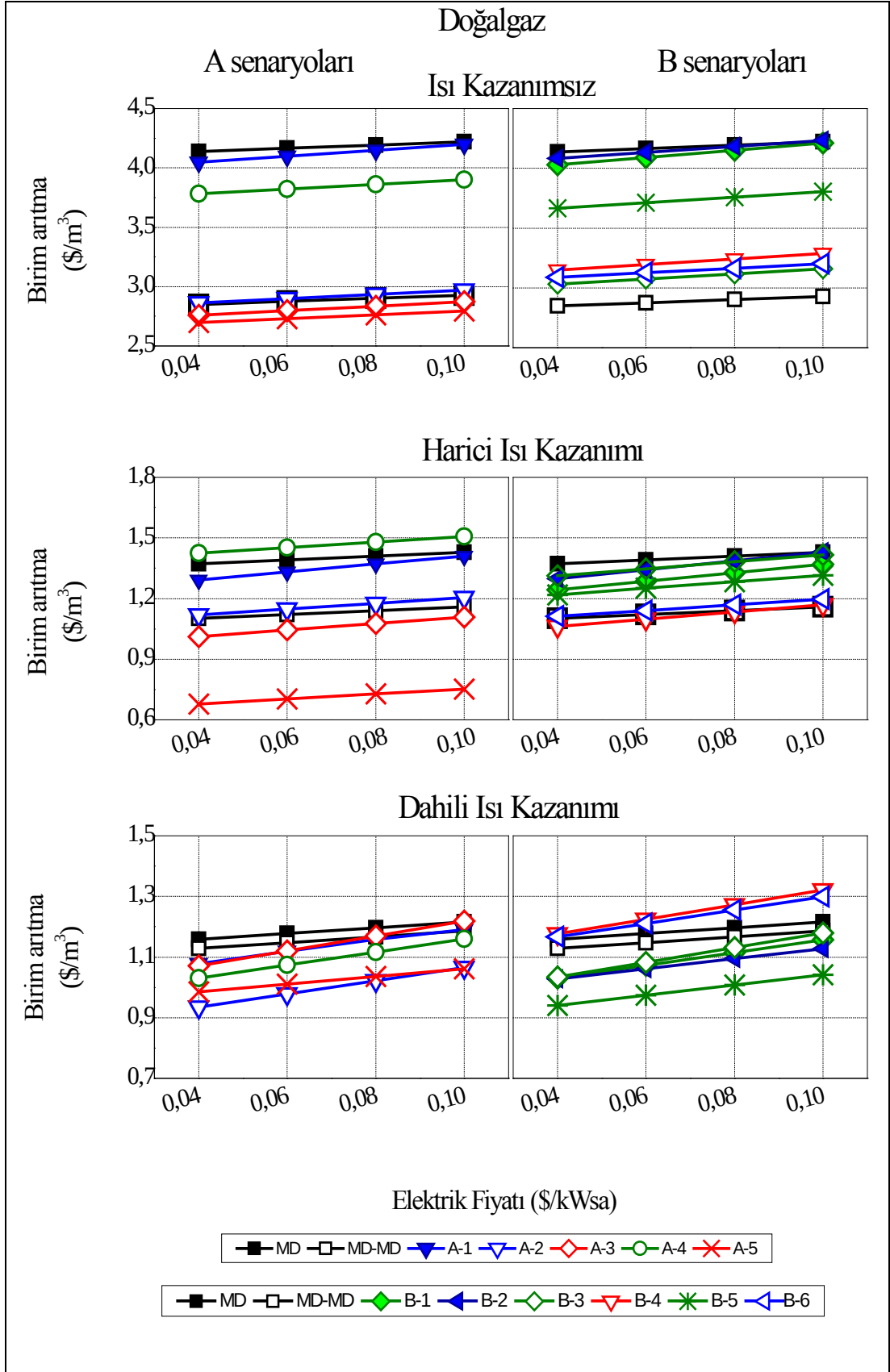
kademe MD için 1,37-1,43 \$/m³, çift kademe MD için 1,10-1,16 \$/m³, modülde ısı kazanımı yapılırsa tek kademe ve çift kademe için sırasıyla 1,16-1,22 \$/m³, 1,13-1,19 \$/m³ arasında değişmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneği için konsantre deniz suyunun üretildiği A senaryolarına bakıldığında, değişen elektrik fiyatlarına göre en düşük birim arıtma maliyetleri ısı kazanımı yapılmadığında A-5 senaryosu için 2,70-2,80 \$/m³ arasında değişirken, harici ısı kazanımı uygulandığında ise A-5 senaryosu için 0,68-0,75 \$/m³ arasında değişmiştir. Konsantre deniz suyunun üretilmediği B senaryolarında en düşük birim arıtma maliyetleri ısı kazanımı yapılmazsa B-3 senaryosu için 3,03-3,16 \$/m³ arasında değişirken, dahili ısı kazanımı yapıldığında B-4 senaryosu için 0,94-1,04 \$/m³ arasında değişmiştir.

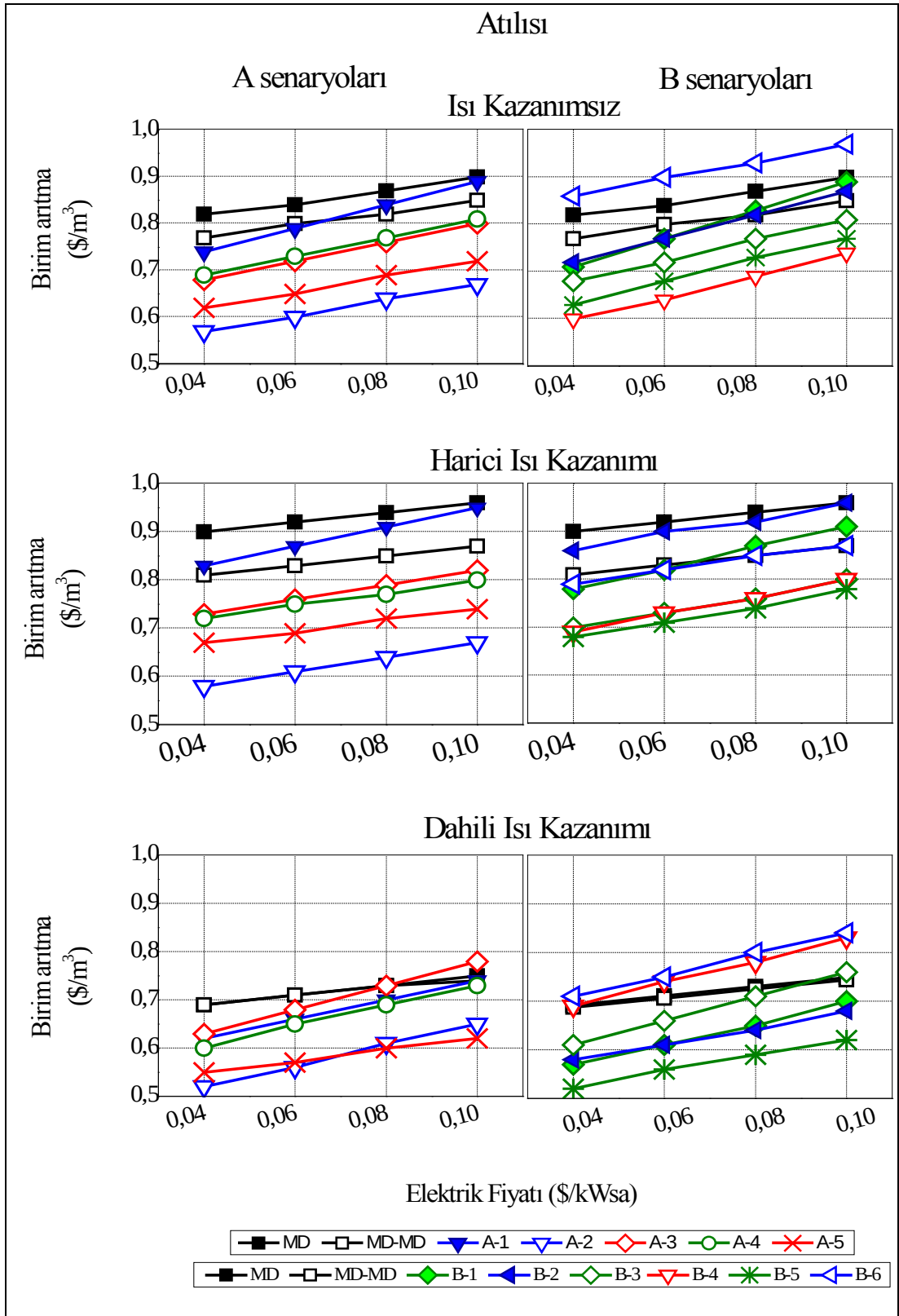
MD ve Yeraltı suyu beslemeli İO/MD senaryolarının atıl ısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Şekil 4.6 incelendiğinde atılısı ile ısıtma seçeneği için, MD senaryolarında MD'nin birim arıtma maliyetleri değişen elektrik fiyatları (0,04-0,10 \$/kWh) için tek kademe MD için 0,82-0,90 \$/m³ arasında değişirken, çift kademe MD için 0,77-0,85 \$/m³ arasında değişmiştir. Isı kazanımının yapıldığı MD senaryolarında harici ısı kazanımı yapıldığında arıtma maliyeti tek kademe MD için 0,90-0,96 \$/m³, çift kademe MD için 0,81-0,87 \$/m³, modülde ısı kazanımı yapılırsa tek kademe ve çift kademe için sırasıyla 0,69-0,75 \$/m³, 0,69-0,74 \$/m³ arasında değişmiştir.

Atılısı ile ısıtma seçeneği için konsantre deniz suyunun üretildiği İO/MD A senaryolarına bakıldığında, değişen elektrik fiyatlarına göre en düşük birim arıtma maliyetleri modülde ısı kazanımının yapıldığı A-2 senaryosu için 0,52-0,65 \$/m³ ve A-5 senaryosu için 0,55-0,62 \$/m³ olduğu görülmektedir. B senaryolarında en düşük birim arıtma maliyetleri yine modülde ısı kazanımı yapıldığında B-5 senaryosu için 0,52-0,62 \$/m³ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5: MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim ısıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

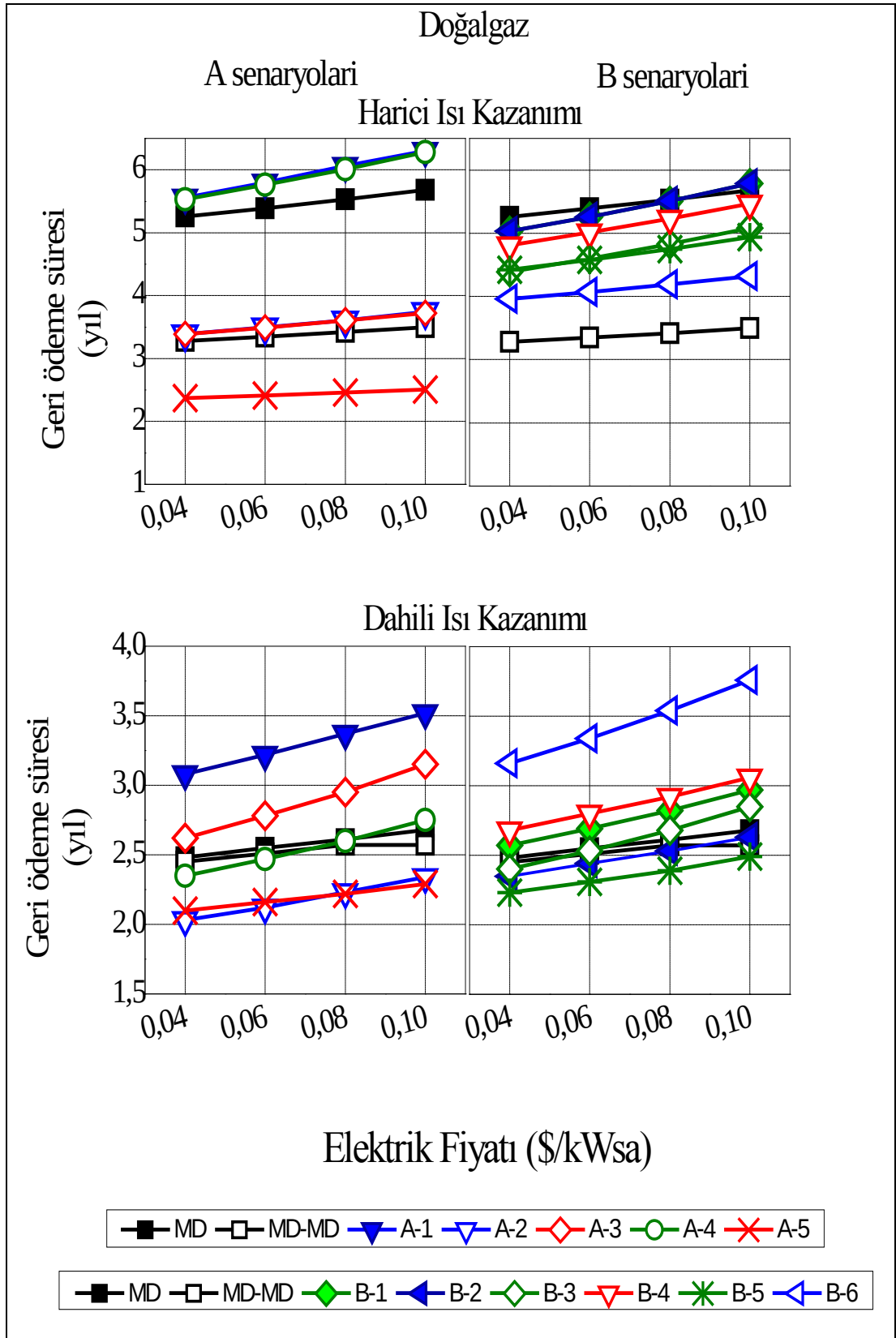


Şekil 4.6: MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının atıl ısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim ısıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

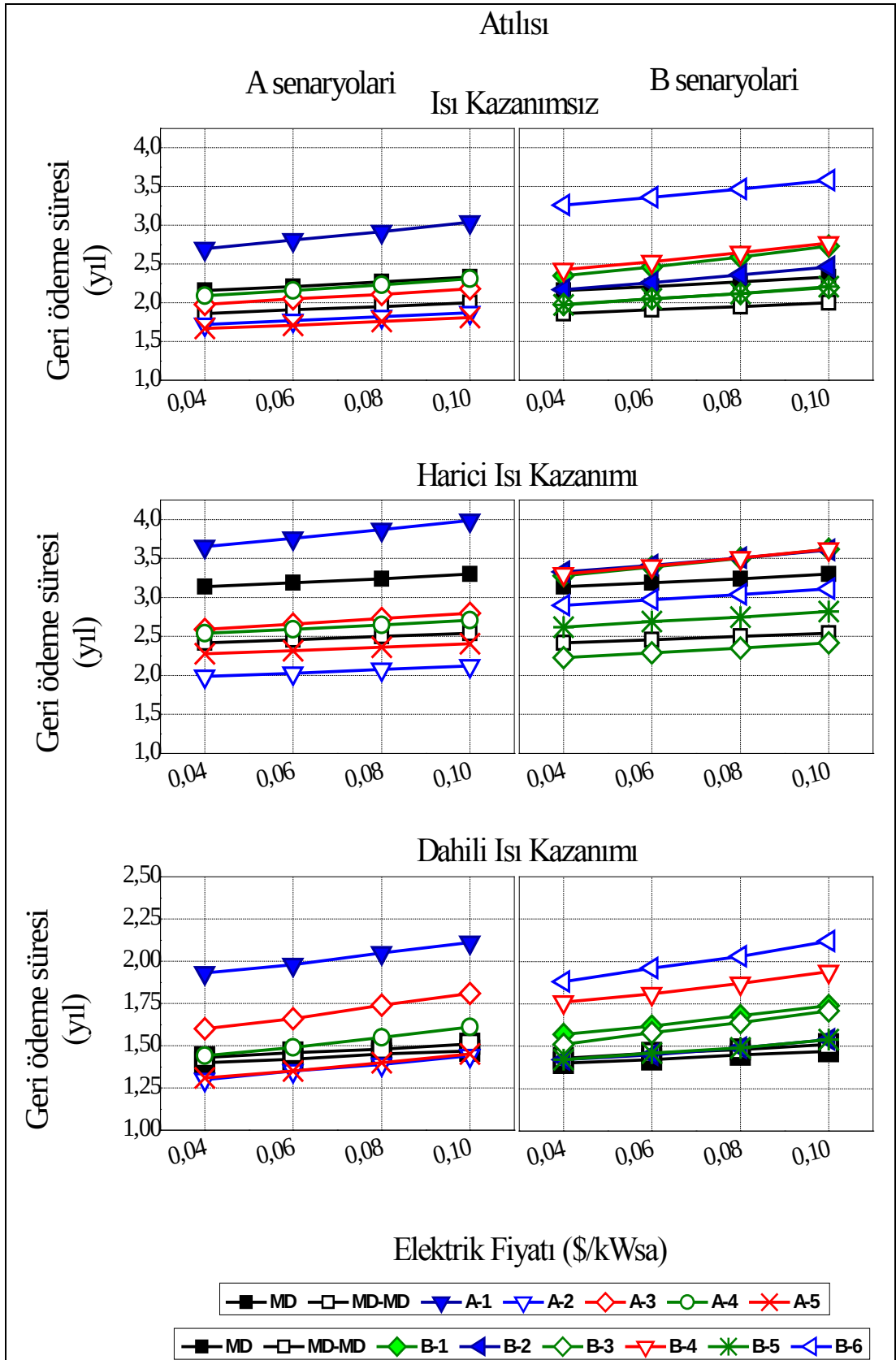
4.3.1.2. Geri Ödeme Süresi

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımının yapılmadığı MD ve İO/MD tesislerinde geri ödeme süresi pozitif elde edilemediği için program tarafından hesap edilememiştir. Şekil 4.7’de doğalgaz ile ısıtma için harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre MD tesisinin geri ödeme süresi tek kademe MD için 5,3-5,7 yıl arasında değişirken çift kademe MD’de 3,3-3,5 yıl arasında değişmiştir. Dahili ısı kazanımı uygulandığında ise tek kademe ve çift kademe MD için geri ödeme sürelerinin 2,5-2,7 yıl arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4.7’de İO/MD tesislerinin geri ödeme süreleri incelendiğinde en kısa süre harici ısı kazanımı yapıldığında A-5 senaryosu için 2,4-2,5 yıl, B-6 senaryosu için 4-4,3 yıl iken dahili ısı kazanımı uygulandığında A-2 ve A-5 senaryoları için 2-2,3 yıl, B-5 senaryosu için 2,2-2,5 yıl olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8’e bakıldığında atıl ısı ile ısıtma için harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre MD tesisinin geri ödeme süresi 2,42-2,54 yıl arasında değişmiştir. Dahili ısı kazanımı uygulandığında ise geri ödeme sürelerinin 1,40-1,51 yıl arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4.8’de İO/MD tesislerinin geri ödeme süreleri incelendiğinde en kısa süre harici ısı kazanımı yapıldığında A-5 senaryosu için 2,4-2,5 yıl, B-6 senaryosu için 4-4,3 yıl iken dahili ısı kazanımı uygulandığında A-2 ve A-5 senaryoları için 2-2,3 yıl, B-5 senaryosu için 2,2-2,5 yıl olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7: MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.



Şekil 4.8: MD ve yeraltısıyu beslemeli İO/MD senaryolarının atılışı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

4.3.1.3. Maliyet Bileşenleri

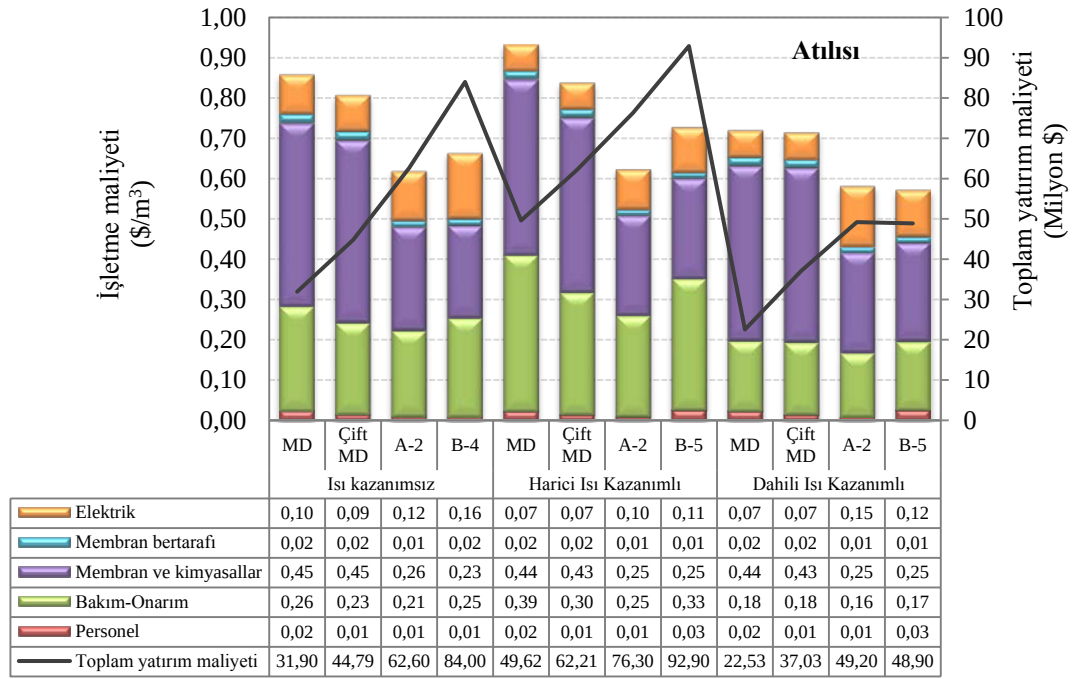
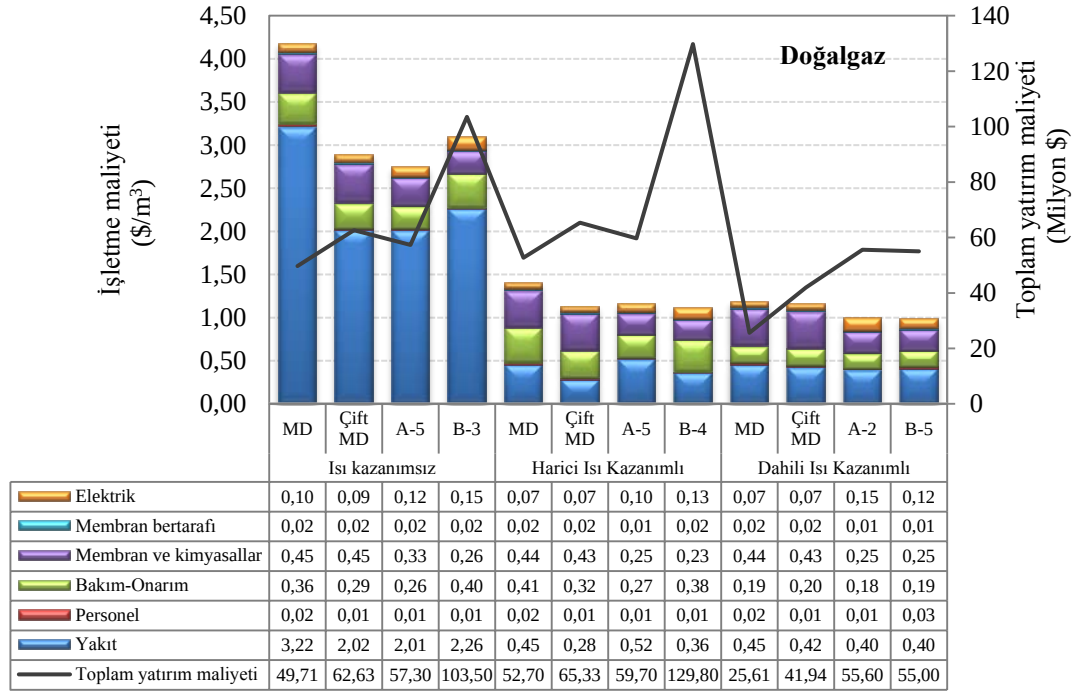
Senaryoların maliyet bileşenlerini yakıt, elektrik, membran bertarafı, membran ve kimyasallar, tesis kurma ve işçilik oluşturmaktadır. Farklı ısıtma seçenekleri için (doğalgaz-atılısı) en ekonomik senaryoların 0,07 \$/kWsa birim elektrik fiyatı için maliyet bileşenleri sırasıyla Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtmanın yapıldığı MD tesisinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %70-77 sinin yakıttan, %10-15’nin membran ve kimyasallardan, %8-10’nun bakım onarım maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %24-32’si yakıttan, %31-38 membran ve kimyasallardan, %27-29’nun bakım onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %37 yakıt, %37 membran ve kimyasallar, %17 bakım onarım maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı MD tesisinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %53-56’sının membran ve kimyasallardan, %28-30’unun bakım onarım maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %46-51’i membran ve kimyasallardan, %36-41’i bakım onarım, %11’i elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %60 membran ve kimyasallar, %25 bakım onarım maliyetinden kaynaklanmıştır.

Doğalgaz ile ısıtmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %73’ünün yakıttan, %8-12’sinin membran ve kimyasallardan, %10-13’nun bakım onarım maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %32-44’ü yakıttan, %21’i membran ve kimyasallardan, %23-33’ü bakım onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %40 yakıt, %25 membran ve kimyasallar, %18 bakım onarım maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %35-42’sinin membran ve kimyasallardan, %34-37’sinin bakım onarım, %20-25 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %34-40’ı membran ve kimyasallardan, %40-45’i bakım onarım, %15’i elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %42 membran ve kimyasallar, %27-30 bakım onarım, %20-25 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4.9: MD ve yeraltısuyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.

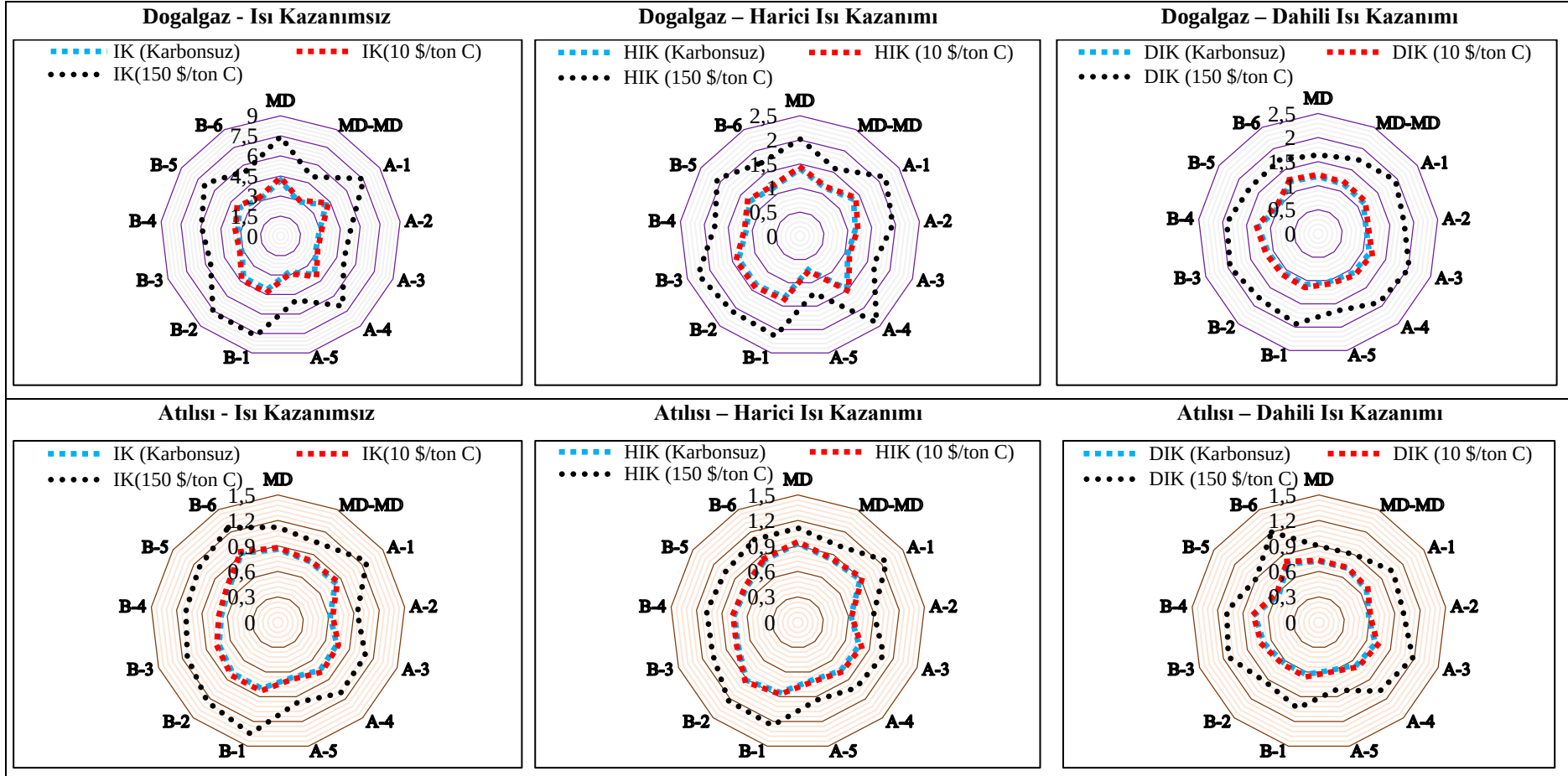
4.3.1.4. Karbon Maliyetleri

MD ve İO/MD tesislerinin maliyetleri hesaplanırken karbondan kaynaklı maliyetlerin de birim arıtma maliyetine etkisi incelenmiştir. Karbon vergisi hesaplarında tesislerde kullanılan elektriğin tüketim fiyatı 0,07 \$/kWsa kabul edilmiştir. Farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım alternatifleri için tüm MD ve İO/MD tesislerinin karbonsuz birim arıtma maliyetleri ile karbonlu maliyetleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. En ekonomik sonucu veren tesislerin toplam su arıtma maliyetlerinin değişen karbon vergilerine (10-150 \$/ton CO₂-e) göre değişimi ise Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

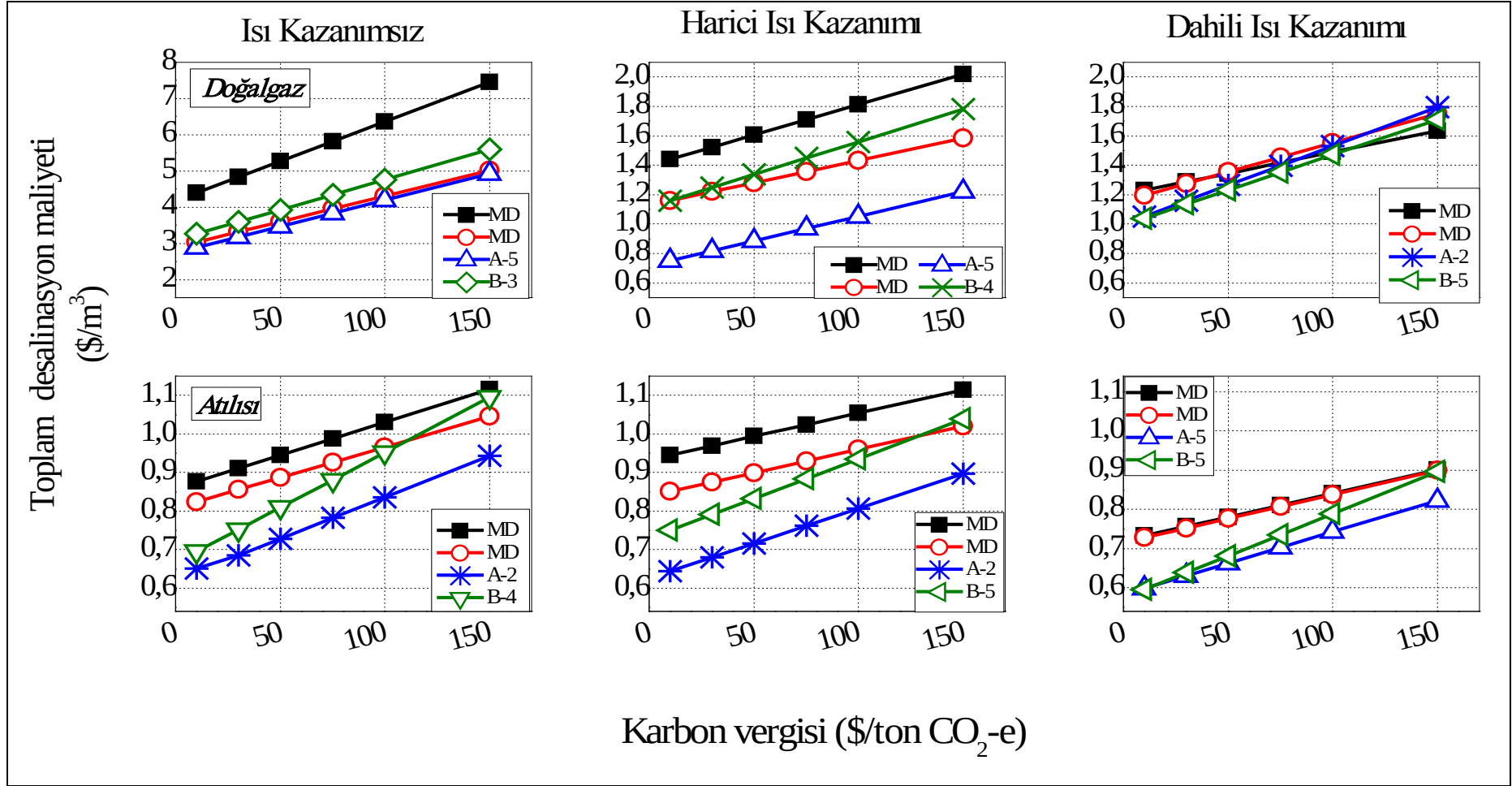
Düşük karbon ayak izi vergisi (10 \$/ton CO₂-e) karbon vergisi bulunmayan maliyetlere göre maliyeti çok az arttırarak sistemlerin maliyete göre tercih edilebilirliğini değiştirmemiştir. Karbon vergisi 150 \$/ton CO₂-e'ne arttığında toplam desalinasyon maliyetinin önemli ölçüde arttığı ve İO/MD senaryolarının MD senaryolarına karşı çoğunlukla ekonomik üstünlüğünü kaybettiği görülmektedir.

Şekil 4.11'de ısı kazanımının uygulanmadığı senaryolar incelendiğinde doğalgaz ile ısıtma seçeneği için çift kademe MD prosesinin toplam desalinasyon maliyeti farklı karbon vergilerine göre 3,0-5,0 \$/m³ arasında değişmiştir. MD prosesine alternatif olabilecek İO/MD senaryosunun (A-5) toplam desalinasyon maliyetinin 2,9-4,8 \$/m³ arasındadır. Atılısı ile ısıtma yapıldığında çift kademe MD'nin maliyeti 0,82-1,04 \$/m³ aralığında değişirken A-2 senaryosu 0,64-0,94\$/m³ ile MD prosesine alternatif olurken B-3 senaryosu 0,69-1,09 \$/m³ ile karbon vergisinin 100 \$/tonne-CO₂-e'nin altında olduğunda MD prosesine alternatif olabildiği gözükmemektedir.

Isı kazanımının yapıldığı senaryolarda doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde harici ısı kazanımı yapıldığında çift kademe MD'nin maliyeti 1,16-1,58 \$/m³ iken A-5 senaryosu 0,76-1,48 \$/m³ ile MD'ye alternatif olmuştur. Atılısı ile ısıtma alternatifinde ise dahili ısı kazanımı yapıldığında tek kademe ve çift kademe MD'nin maliyetleri 0,72-0,90 \$/m³ arasında değişirken B-4 senaryosunda 0,57-0,90 \$/m³ arasında değişerek MD'ye göre daha düşük maliyetler elde edilirken A-2 senaryosunun 0,61-0,99 \$/m³ ile karbon vergisinin 100 \$/tonne-CO₂-e'nin altında olduğunda MD prosesine alternatif olabildiği gözükmemektedir.



Şekil 4.10: MD ve yeraltısıyu beslemeli İO/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.



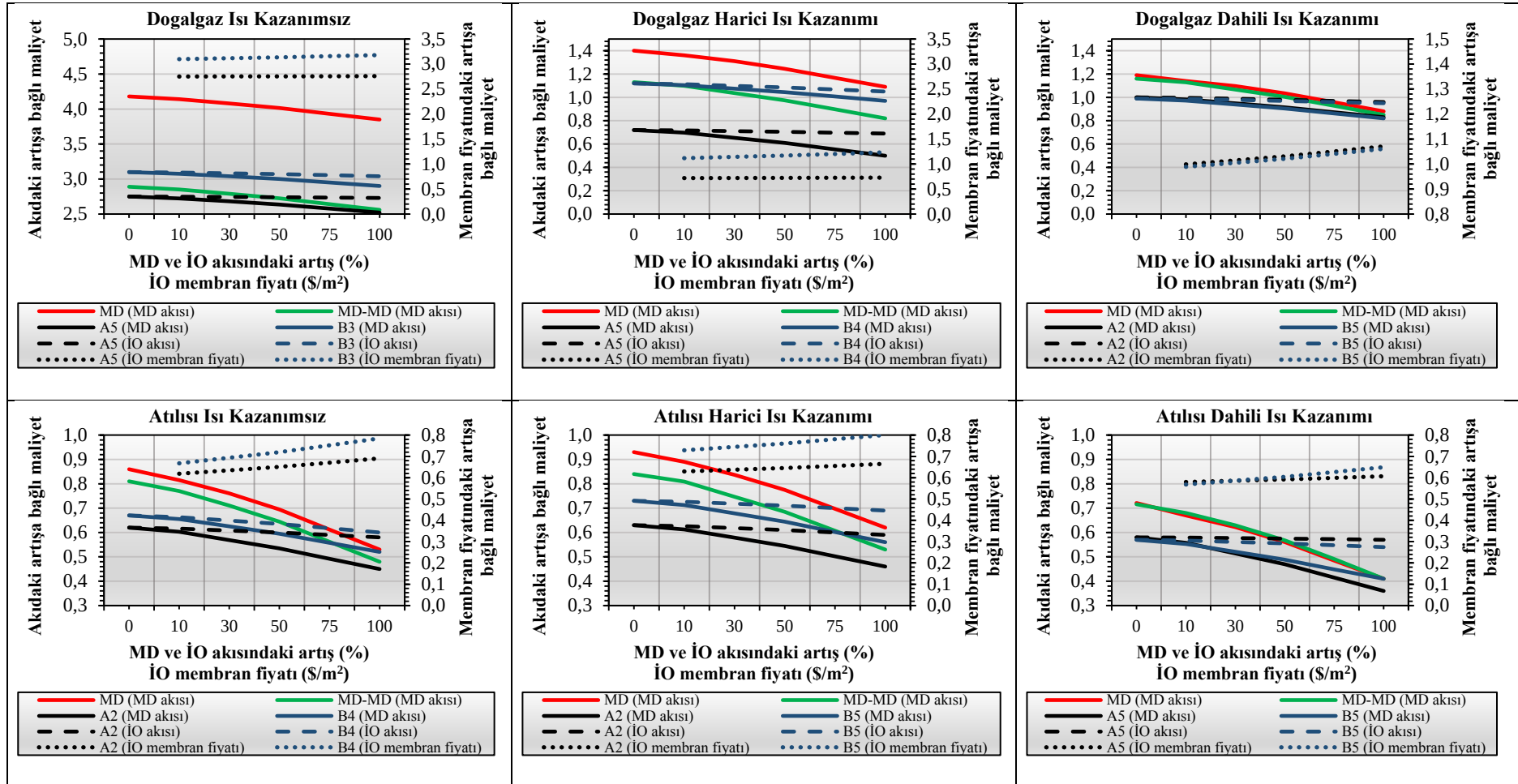
Şekil 4.11: MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İÖ/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.

4.3.1.5. Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizinde İO ve MD akıları ile İO membran fiyatının maliyete etkisi incelenmiştir. MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketimi için farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Her bir senaryodaki tüm İO ve MD akıları %100 arttırılarak 2 katına çıkarılmış, İO membran fiyatı da 12 \$/m²’den 100 \$/m²’ye arttırılmıştır. Maliyet her iki akıdaki artış ile düşme eğilimi gösterirken, membran fiyatındaki artış ile artmıştır. Akıların ve membran fiyatının maliyetler üzerindeki etkileri birlikte incelendiğinde, MD akısındaki iyileşmenin maliyetleri önemli ölçüde azalttığı, FO akısının öneminin MD’ye kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, membran fiyatındaki artış çok düşük maliyet artışlarına yol açmıştır.

Doğalgaz ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD’nin maliyeti % 8-11 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 6-8 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 2 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 3’e kadar arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD’nin maliyeti % 22-27 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 13-31 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 4-6 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 1-9’a kadar arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD’nin maliyeti % 27 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 17 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 4 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 7 arttırdığı görülmektedir.

Atıl ısı ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD’nin maliyeti % 38-41 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 22-27 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 6-10 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 10-15 arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD’nin maliyeti % 33-37 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 23-27 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 5-6 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 5-9 arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD’nin maliyeti % 43 azalırken, İO/MD’nin maliyeti % 28-38 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 2-5 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 4-12 arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.12: MD ve yeraltısıyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim ısıtma maliyetine etkisi.

Tüm bu maliyet analizleri değerlendirildiğinde maliyet üzerinde en önemli etkinin MD akısındaki artış olduğu görülmektedir.

Yapılan bu hesaplamaların ve simülasyonların ışığında, daha yüksek akı değerlerinde işletilebilen membranların üretimiyle İO/MD sistemiyle deniz suyundan içme suyunun daha ekonomik bir şekilde üretilmesine katkıda bulunabileceği açıkça belirtilebilir.

4.3.1.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik

MD ve İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyeti, geri ödeme süresi, karbon vergilerine göre toplam desalinasyon maliyetleri, ekonomik tercih edilebilirlik sıralamaları doğalgaz ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.5'te, atıl ısı ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.6'da verilmiştir.

MD ve İO/MD senaryolarının su bilançoları eşliğinde ekonomik tercih edilebilirlikleri, karbon vergisi yokken ve birim arıtma maliyetine karbon vergisi dahil edildiğinde sıralanarak en ekonomik ilk 10 senaryo için Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Her ne kadar maliyet önemli bir ölçüt olsada İO/MD senaryoları deniz suyunun yanı sıra harici bir tatlı su kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Her ülkenin hatta her bölgenin tatlı su kaynağı rezervi farklı olduğundan maliyete göre sıralamanın yanı sıra tesislerden üretilen içme suyu miktarları, tesislerin tatlı su ihtiyaçları ve tatlı su kayıpları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla deniz suyu başına tatlı su ihtiyacı (TS/DS), tatlı su başına içme suyu (İS/TS), içme suyu başına kaybedilen tatlı su miktarları (KTS/İS) şekil üzerinde gösterilmiştir.

Isıtma kaynağı olarak doğalgaz tercih edildiğinde ısı kazanımının yapılmadığı senaryolar sıralamada yer almamıştır. Karbonsuz maliyetlerle düşük karbonlu maliyetlerde sıralama değişmezken, yüksek karbon vergisinin sıralamayı önemli ölçüde değiştirdiği görülmektedir. MD senaryolarının kendi içlerindeki sıralamalarında çift kademe MD uygulamasının hem karbonsuz hemde karbonlu maliyetlerde önde olduğu görülmektedir. MD senaryolarında harici tatlı su kaynağına ihtiyaç duyulmaması avantaj oluştursada, oluşacak konsantre deniz suyunun çevreye zararlı etkileri dezavantaj oluşturmaktadır. Karbon vergisiz veya düşük karbon vergisinde A senaryolarında A-5, A-2, A-3, A-4; B senaryolarında B-5, B-2, B-1, B-3, B-4 senaryoları MD'den daha iyi ya da MD'ye eşdeğer maliyetlerdedir. Yüksek

karbon vergisinde yalnızca A-5, MD ile rekabet edebilir maliyettedir. En ekonomik senaryo olan A-5 'te TS/DS oranı 0,60, İS/TS oranı 1,72 ve KTS/İS oranı 0,24'tür. Maksimum tatlı su kaybının B-4 (0,43) senaryosunda olduğu görülmektedir. Deniz suyu başına tatlı su tüketim oranı B-3, B-4, B-5'te yaklaşık 1,5-1,6 seviyesindedir.

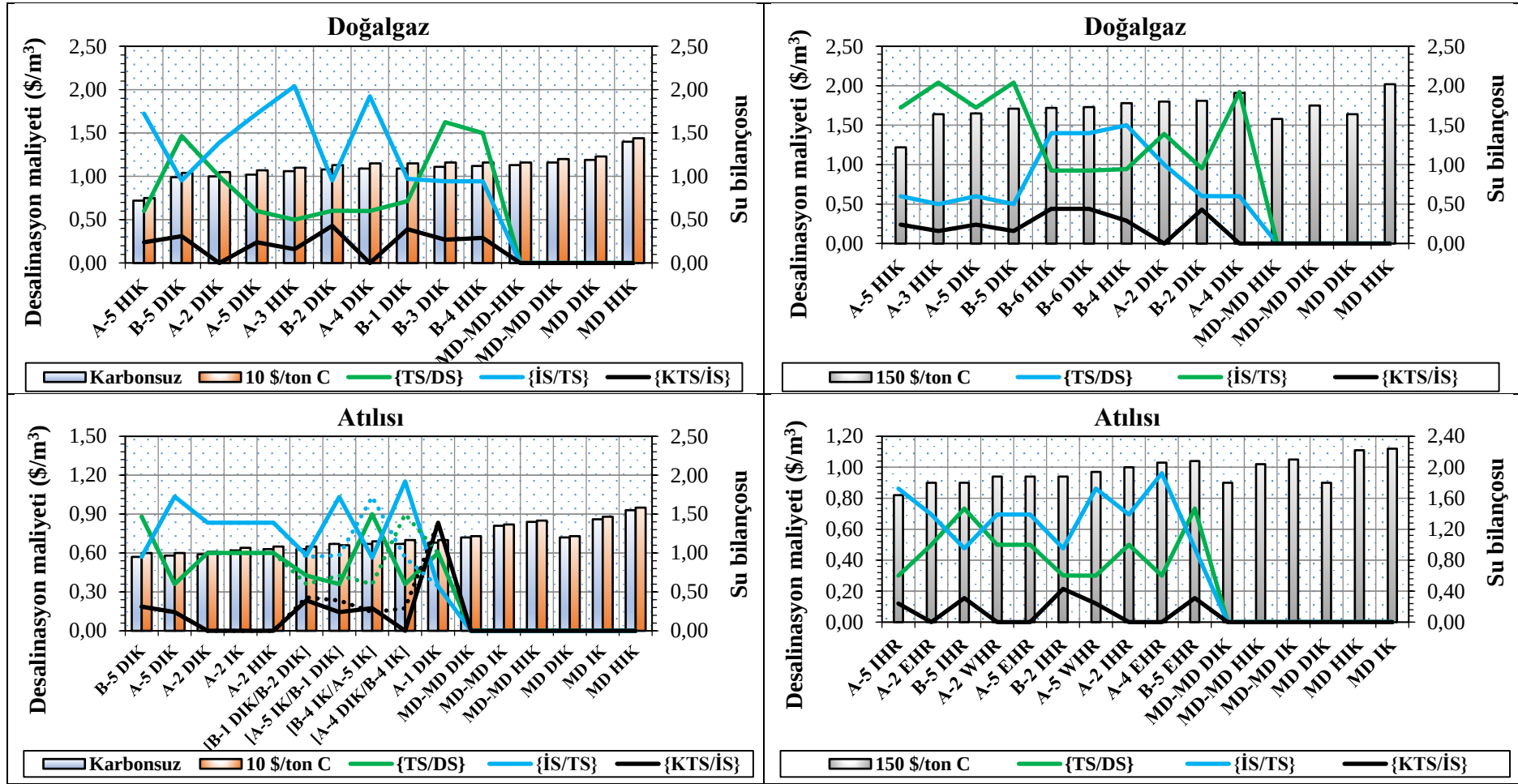
Isıtma kaynağı olarak atıl ısı tercih edildiğinde karbonsuz ve düşük karbon vergisinde A senaryolarında A-5, A-2, A-4, A-1; B senaryolarında B-5, B-1, B-2 ve B-4 senaryolarında MD'ye kıyasla daha iyi maliyetler elde edilmiştir. Yüksek karbon vergisinde A-5, A-2 ve B-5 senaryolarında MD'den iyi yada MD'ye eşdeğer maliyetlere ulaşılmıştır. En ekonomik senaryo düşük karbon vergisinde B-5; TS/DS oranı 1,47, İS/TS oranı 0,95 ve KTS/İS oranı 0,31'dir. Yüksek karbon vergisinde en ekonomik maliyet doğalgazda olduğu gibi A-5 senaryosundadır. A-5 'te TS/DS oranı 0,60, İS/TS oranı 1,72 ve KTS/İS oranı 0,24'tür. Maksimum tatlı su kaybının A-1 (1,39) senaryosunda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD	4,18	1,40	1,19	N.a.	5,46	2,58	4,40	7,45	1,44	2,02	1,23	1,64	13	10	10	7	9	1
MD-MD	2,89	1,13	1,16	N.a.	3,39	2,54	3,03	5,01	1,16	1,58	1,20	1,75	3	2	3	2	8	5
A-1	4,12	1,35	1,14	N.a.	5,93	3,30	4,35	7,57	1,41	2,16	1,19	1,95	10	11	8	11	7	10
A-2	2,92	1,16	1,00	N.a.	3,56	2,18	3,08	5,32	1,21	1,94	1,05	1,80	4	4	5	6	2	6
A-3	2,82	1,06	1,14	N.a.	3,55	2,87	2,97	5,06	1,10	1,64	1,20	2,02	2	3	2	3	8	12
A-4	3,84	1,47	1,09	N.a.	5,89	2,54	4,05	7,00	1,53	2,40	1,15	1,91	9	9	11	13	5	8
A-5	2,75	0,72	1,02	N.a.	2,44	2,19	2,89	4,93	0,75	1,22	1,07	1,65	1	1	1	1	3	2
B-1	4,12	1,31	1,09	N.a.	5,39	2,76	4,36	7,69	1,36	2,14	1,15	1,93	11	13	7	10	5	9
B-2	4,16	1,36	1,08	N.a.	5,39	2,49	4,39	7,62	1,41	2,10	1,13	1,81	12	12	8	9	4	7
B-3	3,10	1,36	1,11	N.a.	4,72	2,61	3,26	5,60	1,42	2,26	1,16	1,96	5	6	9	12	6	11
B-4	3,22	1,12	1,25	N.a.	5,12	2,86	3,40	5,96	1,16	1,78	1,29	1,91	7	7	3	5	11	8
B-5	3,73	1,27	0,99	N.a.	4,67	2,35	3,95	6,90	1,32	2,09	1,04	1,71	8	8	6	8	1	3
B-6	3,15	1,15	1,23	N.a.	4,13	3,44	3,30	5,51	1,19	1,72	1,27	1,73	6	5	4	4	10	4
N.a.: mevcut değil.																		

Tablo 4.6: Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m ³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m ³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD	0,86	0,93	0,72	2,24	3,22	1,44	0,88	1,12	0,95	1,11	0,73	0,90	11	7	11	9	7	2
MD-MD	0,81	0,84	0,72	1,93	2,48	1,47	0,82	1,05	0,85	1,02	0,73	0,90	8	3	7	3	7	2
A-1	0,82	0,89	0,68	2,87	3,82	2,02	0,85	1,27	0,92	1,27	0,70	1,06	10	12	9	12	5	6
A-2	0,62	0,63	0,59	1,80	2,06	1,37	0,65	0,94	0,64	0,90	0,61	1,00	1	1	1	1	2	4
A-3	0,74	0,77	0,71	2,08	2,70	1,70	0,76	1,10	0,80	1,08	0,74	1,18	5	5	6	7	8	10
A-4	0,75	0,76	0,67	2,20	2,62	1,52	0,78	1,11	0,78	1,03	0,70	1,08	7	6	5	4	5	7
A-5	0,67	0,70	0,58	1,74	2,34	1,38	0,69	0,97	0,72	0,94	0,60	0,82	2	2	2	2	1	1
B-1	0,80	0,85	0,63	2,53	3,45	1,65	0,83	1,35	0,87	1,25	0,66	1,04	9	13	8	11	4	5
B-2	0,80	0,91	0,63	2,31	3,51	1,47	0,83	1,25	0,93	1,23	0,65	0,94	9	10	10	10	3	3
B-3	0,74	0,75	0,69	2,09	2,32	1,61	0,77	1,14	0,77	1,07	0,72	1,14	6	9	4	6	6	9
B-4	0,67	0,75	0,76	2,59	3,46	1,84	0,70	1,09	0,77	1,08	0,78	1,09	3	4	4	6	9	8
B-5	0,70	0,73	0,57	2,09	2,72	1,48	0,73	1,13	0,75	1,04	0,60	0,90	4	8	3	5	1	2
B-6	0,92	0,83	0,78	3,42	3,01	2,00	0,94	1,26	0,85	1,10	0,81	1,20	13	11	7	8	10	11



Şekil 4.13: MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İÖ/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.

4.3.2. MD ve II. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD

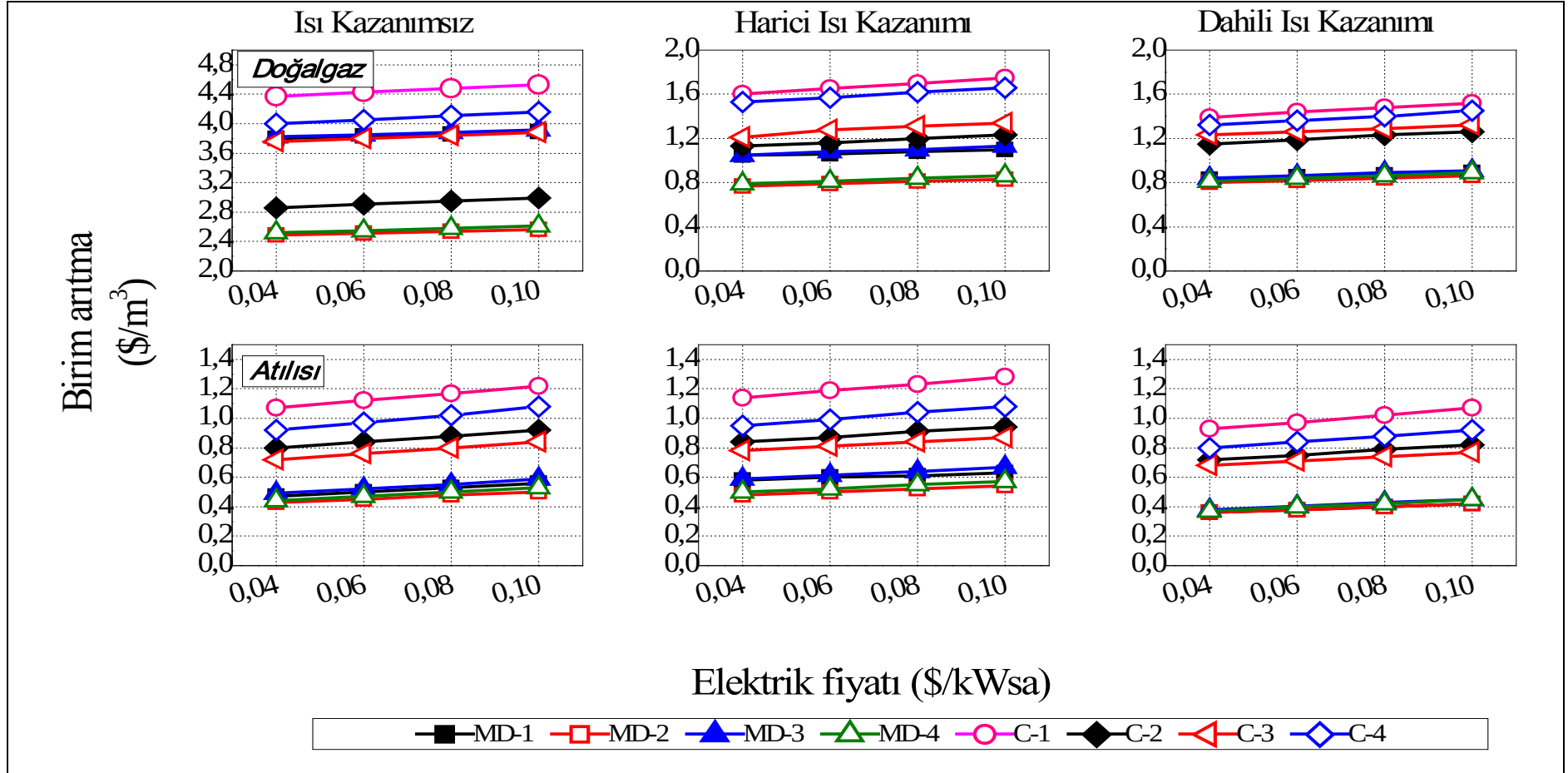
4.3.2.1. Birim Arıtma Maliyeti

MD ve İO/MD senaryolarında değişen elektrik fiyatının (0,04-0,10 \$/kWsa) birim su arıtma maliyeti üzerine etkisi ısı geri kazanımsız ve ısı geri kazanımlı senaryolarda doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için hesaplanıp kıyaslanmıştır. MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz/atıl ısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneği için, ısı kazanımının uygulanmadığı MD senaryolarında MD'nin birim arıtma maliyetleri değişen elektrik fiyatları (0,04-0,10 \$/kWsa) için MD-1'de 3,80-3,89 \$/m³ arasında değişirken, MD-2'de 2,49-2,56 \$/m³ arasında değişmiştir. Konsantre deniz suyunun üretilmediği MD senaryolarında ise MD-3'de 3,82-3,92 \$/m³, MD-4'te 2,52-2,61 \$/m³'tür. Harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre arıtma maliyeti MD-1'de 1,04-1,10 \$/m³, MD-2'de 0,77-0,83 \$/m³, MD-3'te 1,05-1,13 \$/m³, MD-4'te 0,79-0,86 \$/m³ aralığında değişmiştir. Modülde ısı kazanımı yapılırsa arıtma maliyeti MD-1'de 0,83-0,89 \$/m³, MD-2'de 0,80-0,86 \$/m³, MD-3'te 0,84-0,91 \$/m³, MD-4'te 0,81-0,89 \$/m³'tür.

Atıl ısı ile ısıtma tercih edildiğinde ve ısı kazanımı uygulanmadığında arıtma maliyetleri MD-1'de 0,47-0,56 \$/m³, MD-2'de 0,43-0,50 \$/m³, MD-3'te 0,49-0,59 \$/m³, MD-4'te 0,44-0,53 \$/m³ aralığında değişirken harici ısı kazanımı uygulandığında MD-1'de 0,58-0,63 \$/m³, MD-2'de 0,48-0,54 \$/m³, MD-3'te 0,59-0,67 \$/m³, MD-4'te 0,50-0,57 \$/m³ dahili ısı kazanımı uygulandığında ise MD-1 ve MD-2'de 0,36-0,42 \$/m³, MD-3'te 0,38-0,45 \$/m³, MD-4'te 0,37-0,45 \$/m³ aralığında değişmiştir.

II arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında doğalgaz ile ısıtma seçeneği için değişen elektrik fiyatlarına (0,04-0,10 \$/kWsa) göre en düşük birim arıtma maliyetleri ısı kazanımı yapılmadığında C-2. senaryosu için 2,86-2,99 \$/m³ arasında değişirken, harici ısı kazanımı uygulandığında C-2 senaryosu için 1,13-1,23 \$/m³ dahili ısı kazanımı yapıldığında yine C-2 senaryosu için 1,15-1,26 \$/m³ arasında değişmiştir.



Şekil 4.14: MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

II arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında atıl ısı ile ısıtma seçeneği için en düşük birim arıtma maliyetleri C-3 senaryosunda elde edilerek ısı kazanımı yapılmadığında 0,72-0,84 \$/m³, harici ısı kazanımı uygulandığında 0,78-0,87 \$/m³ dahili ısı kazanımı yapıldığında 0,68-0,77 \$/m³ arasında değişmiştir.

4.3.2.2. Geri Ödeme Süresi

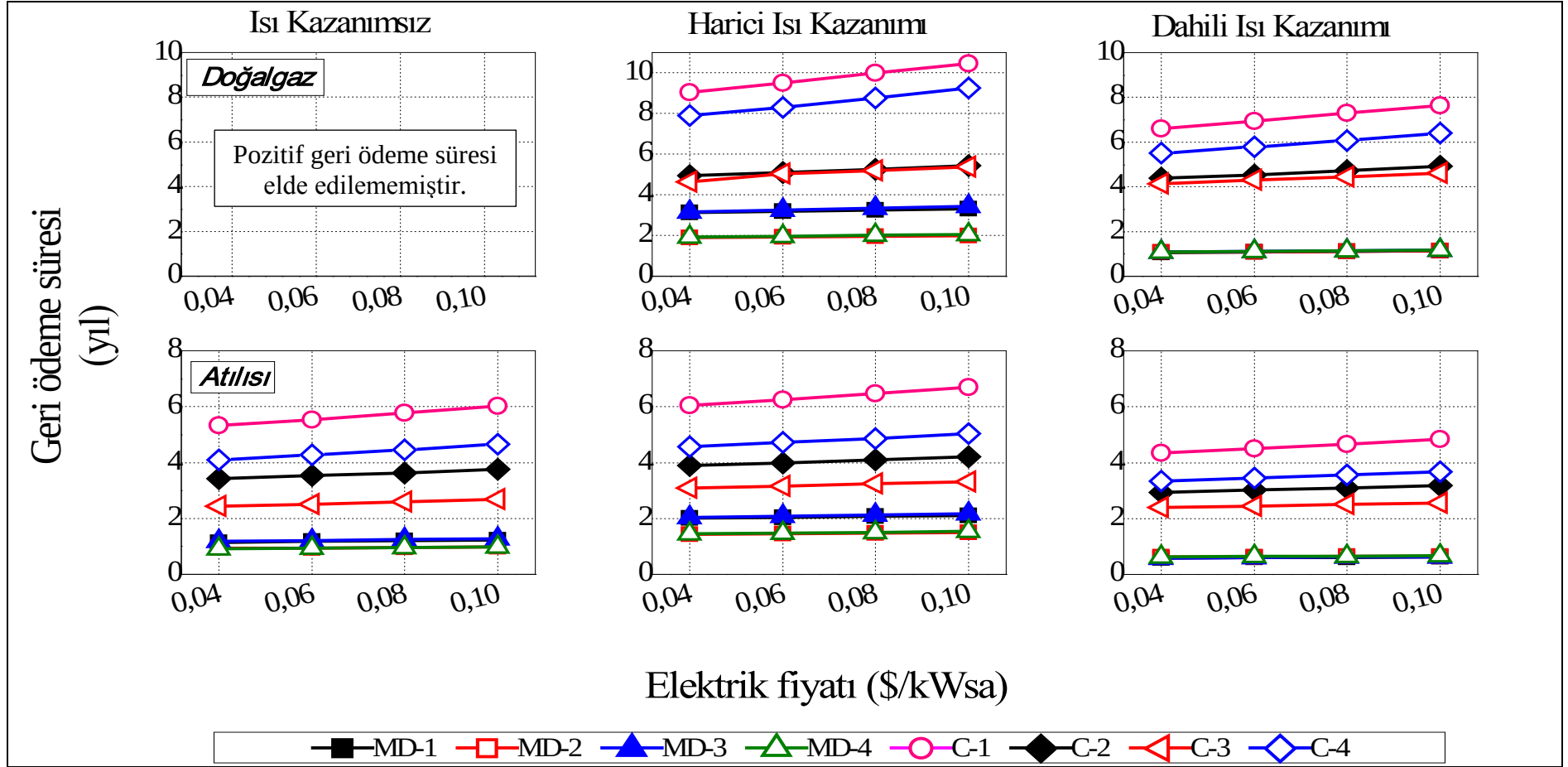
MD ve İO/MD senaryolarında değişen elektrik fiyatlarında (0,04-0,10 \$/kWsa) geri ödeme sürelerinin ısı geri kazanımsız ve ısı geri kazanımlı senaryolarda doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için hesaplanarak kıyaslanmıştır. MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz/atılısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımının yapılmadığı MD ve İO/MD tesislerinde geri ödeme süresi pozitif elde edilemediği için program tarafından hesap edilememiştir. Harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre geri ödeme süresi MD-1'de 3,14-3,33 yıl, MD-2'de 1,90-2,0 yıl, MD-3'te 3,18-3,44 yıl, MD-4'te 1,93-2,07 yıl aralığında değişmiştir. Dahili ısı kazanımında geri ödeme MD-1'de 1,07-1,14 yıl, MD-2'de 1,08-1,15 yıl, MD-3'te 1,08-1,17 yıl, MD-4'te 1,09-1,18 yıldır.

Atıl ısı ile ısıtma tercih edildiğinde ve ısı kazanımı uygulanmadığında geri ödeme süreleri MD-1'de 1,15-1,23 yıl, MD-2'de 0,93-0,98 yıl, MD-3'te 1,19-1,28 yıl, MD-4'te 0,92-0,99 yıl aralığında değişirken harici ısı kazanımı uygulandığında MD-1'de 2,02-2,11 yıl, MD-2'de 1,44-1,50 yıl, MD-3'te 2,05-2,17 yıl, MD-4'te 1,46-1,54 yıl, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise MD-1'de 0,59-0,62 yıl, MD-2'de 0,62-0,65 yıl, MD-3'te 0,59-0,63 yıl, MD-4'te 0,63-0,67 yıl aralığında değiştiği görülmüştür.

II arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında doğalgaz ile ısıtma seçeneği için değişen elektrik fiyatlarına göre en kısa geri ödeme süresi C-3 senaryosunda harici ısı kazanımı uygulandığında 4,65-5,39 yıl, dahili ısı kazanımı yapıldığında 4,15-4,63 yıldır.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneği için en kısa geri ödeme süresi C-3 senaryosunda elde edilerek ısı kazanımı yapılmadığında 2,44-2,68 yıl, harici ısı kazanımı uygulandığında 3,10-3,31 yıl, dahili ısı kazanımı yapıldığında 2,39-2,55 yıldır.



Şekil 4.15: MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

4.3.2.3. Maliyet Bileşenleri

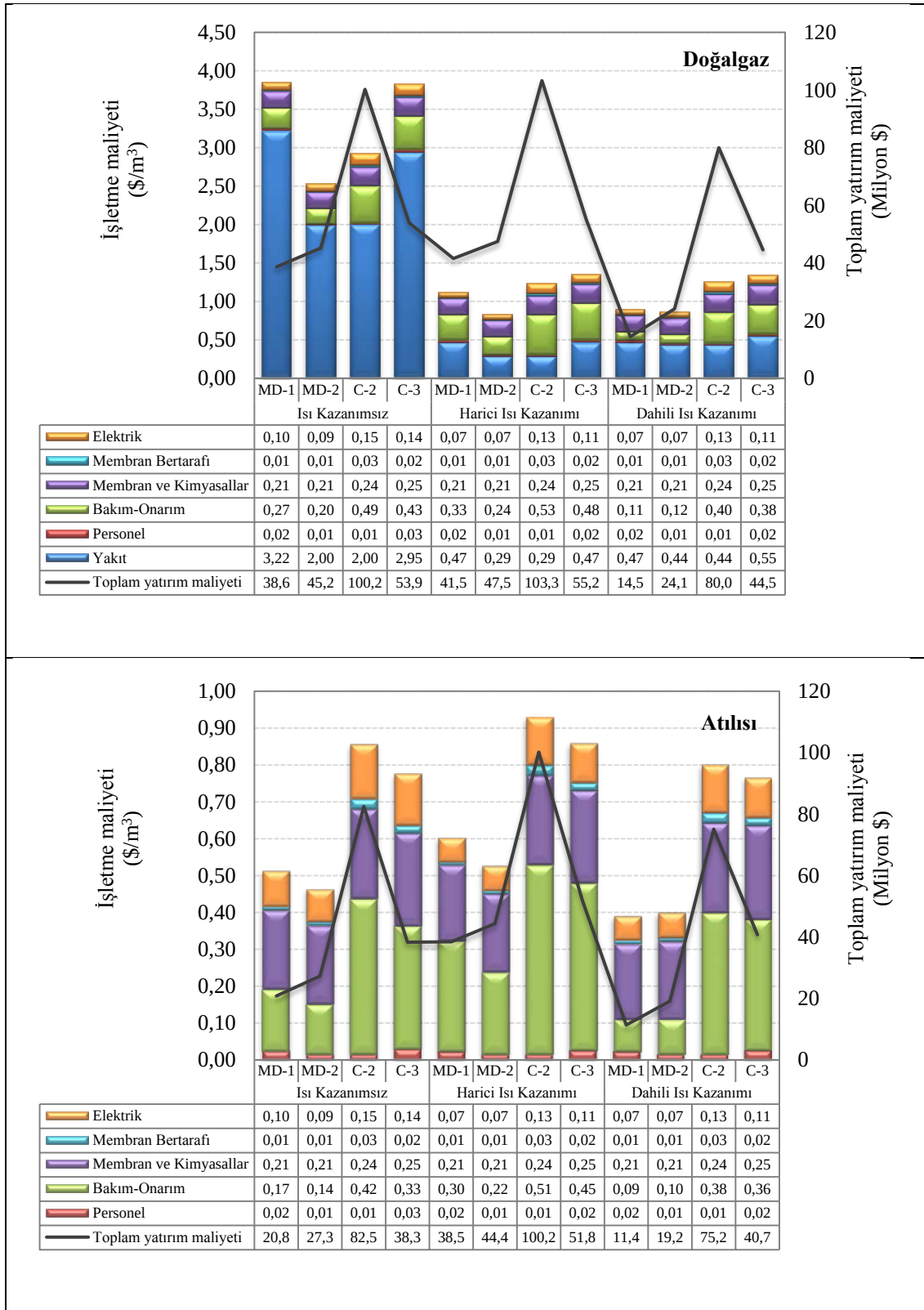
Doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için en ekonomik sonuçların elde edildiği senaryoların 0,07 \$/kWsa birim elektrik fiyatı için maliyet bileşenleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ıstmanın yapıldığı MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %79-84'ü yakıttan, %5,6-8,5'i membran ve kimyasallardan, %7-8'nin bakım ve onarım gibi tesise bağlı maliyetlerden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %35-42'si yakıttan, %19-26 membran ve kimyasallardan, %28-30'unun bakım ve onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %51-52 yakıt, %24-25 membran ve kimyasallar, %12-13 bakım onarım gibi tesis maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı MD tesisinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %42-46'sının membran ve kimyasallardan, %30-33'ünün bakım onarım maliyetinden, %19'unun elektrikten kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %34-40 membran ve kimyasallardan, %42-50'si bakım onarım, %14'ü elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %52,5'i membran ve kimyasallar, %23-24'ü bakım onarım, %17'si elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanmıştır.

Doğalgaz ile ıstmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %69-77'sinin yakıttan, %7-8'sinin membran ve kimyasallardan, %11-17'nun bakım onarım maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %24-35'i yakıttan, %20'si membran ve kimyasallardan, %35-43'ü bakım onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %35-41 yakıt, %20 membran ve kimyasallar, %29-32 bakım onarım maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %28-32'sinin membran ve kimyasallardan, %43-49'unun bakım onarım, %17-18 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %26-29'u membran ve kimyasallardan, %53-55'i bakım onarım, %13-14'i elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %30-33 membran ve kimyasallar, %47-48 bakım onarım, %14-16 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4.16: MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.

4.3.2.4. Karbon Maliyetleri

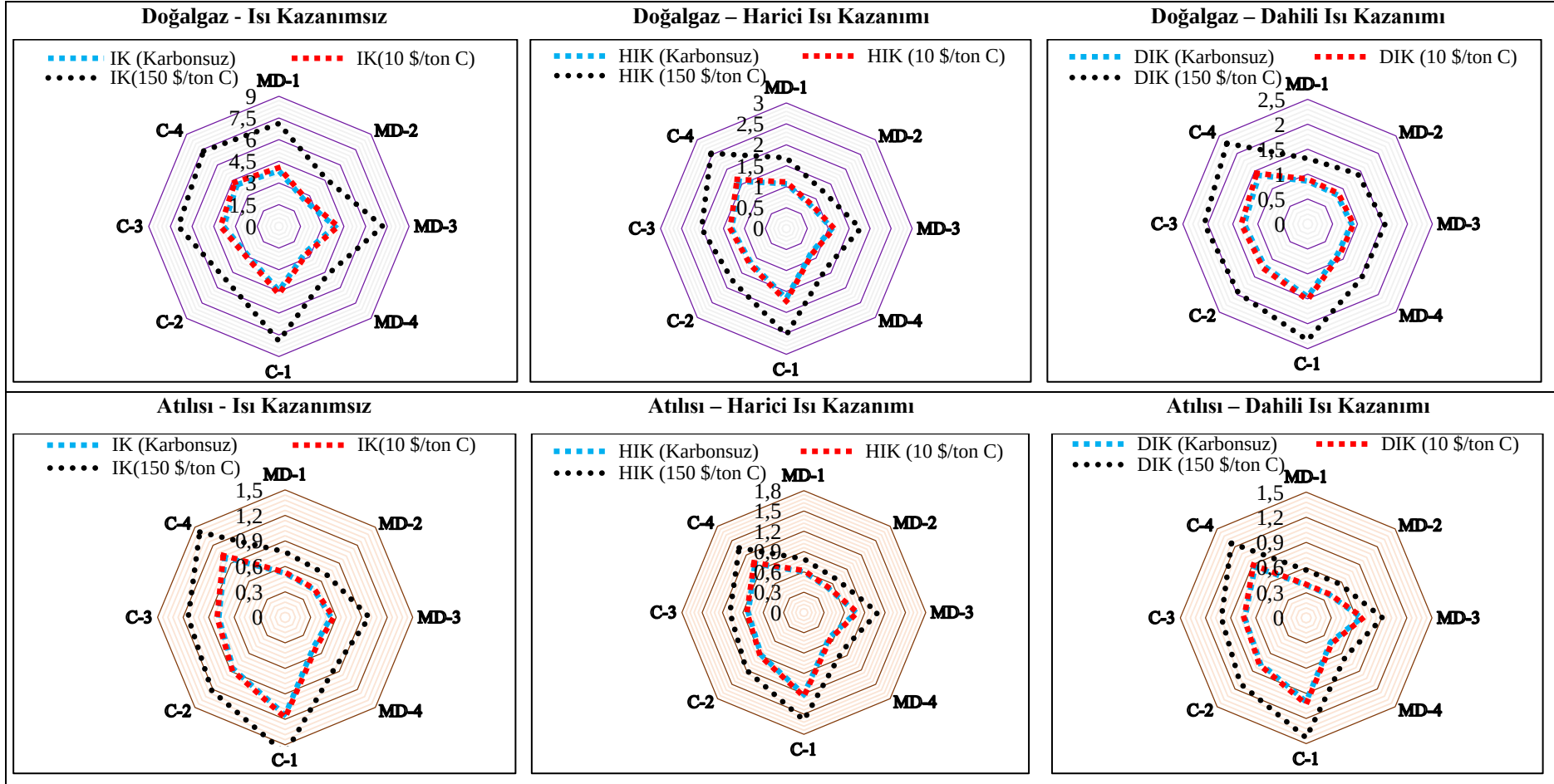
MD ve İO/MD tesislerinin maliyetleri hesaplanırken karbondan kaynaklı maliyetlerin de birim arıtma maliyetine etkisi incelenmiştir. Karbon vergisi hesaplarında tesislerde kullanılan elektriğin tüketim fiyatı 0,07 \$/kWsa kabul edilmiştir. Farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım alternatifleri için tüm MD ve İO/MD tesislerinin karbonsuz birim arıtma maliyetleri ile karbonlu maliyetleri Şekil 4.17’de gösterilmiştir. En ekonomik sonucu veren tesislerin toplam su arıtma maliyetlerinin değişen karbon vergilerine (10-150 \$/ton CO₂-e) göre değişimi ise Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Düşük karbon ayak izi vergisi (10 \$/ton CO₂-e) karbon vergisi bulunmayan maliyetlere göre yine maliyeti çok az arttırarak sistemlerin maliyete göre tercih edilebilirliğini değiştirmemiştir. Karbon vergisi 150 \$/ton CO₂-e’ne arttığında toplam desalinasyon maliyetinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

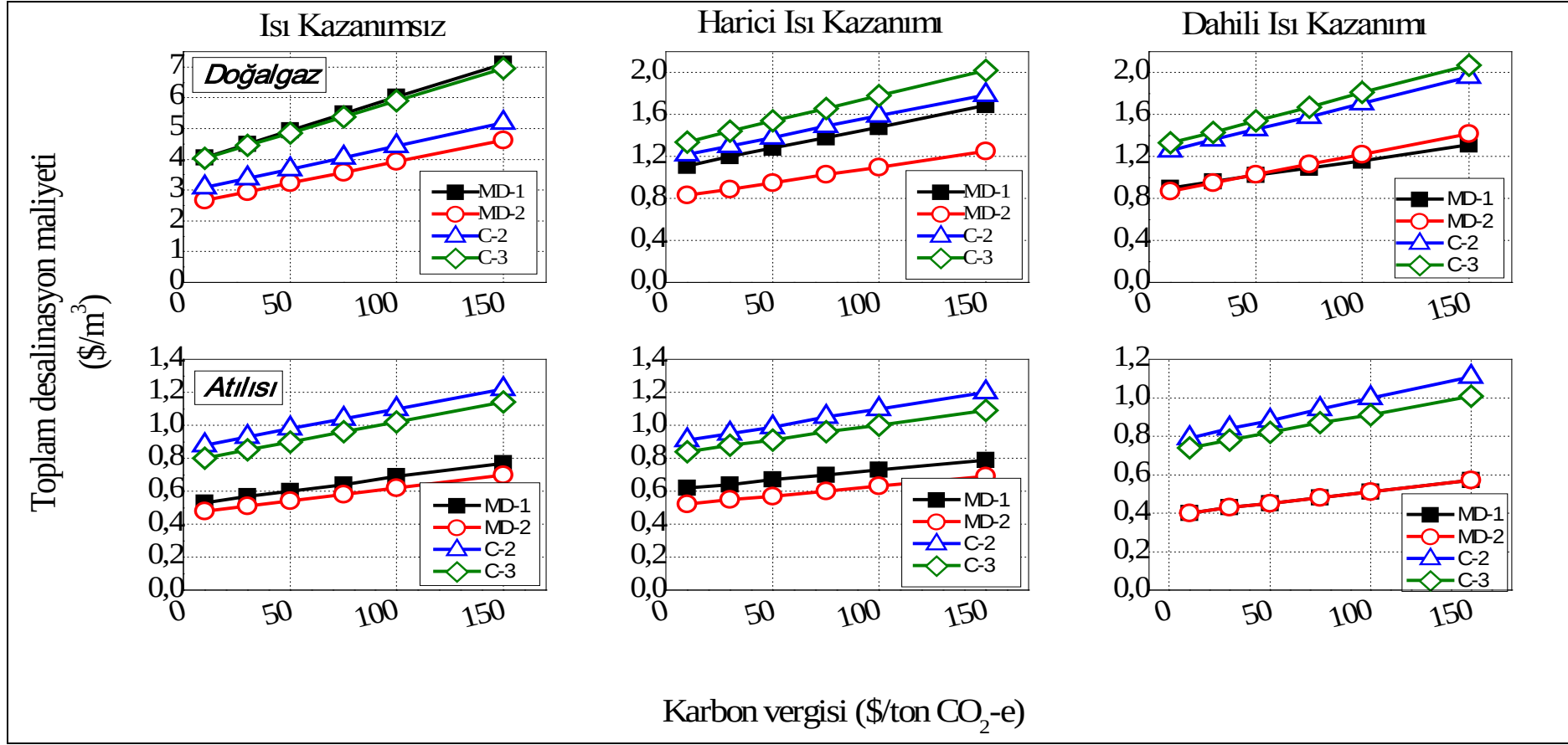
Şekil 4.18’de ısı kazanımının uygulanmadığı senaryolar incelendiğinde doğalgaz ile ısıtma seçeneği için en ekonomik MD senaryosunun (MD-2) toplam desalinasyon maliyeti farklı karbon vergilerine göre 2,7-4,6 \$/m³ arasında değişmiştir. En ekonomik İO/MD senaryosunun (C-2) toplam desalinasyon maliyeti ise 3,1-5,2 \$/m³ arasındadır. Atıl ısı ile ısıtma yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,48-0,70 \$/m³ aralığında değişirken C-3 senaryosu 0,80-1,14\$/m³ aralığında değişmiştir. Isı kazanımı yapılmadığında İO/MD senaryolarının maliyetlerinin MD prosesinden yüksek kaldığı görülmektedir.

Isı kazanımının yapıldığı senaryolarda doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde harici ısı kazanımı yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,83-1,25 \$/m³ iken C-2 senaryosunun toplam desalinasyon maliyeti 1,22-1,79 \$/m³’e yükselmiştir. Harici ısı kazanımında atıl ısı tercih edildiğinde ise MD-2’nin maliyetleri 0,52-0,69 \$/m³ arasında değişirken C-3 senaryosunda 0,84-1,09 \$/m³ arasında değiştiği görülmektedir.

Doğalgazla ısıtmada dahili ısı kazanımı yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,87-1,42 \$/m³ iken C-2 senaryosunun toplam desalinasyon maliyeti 1,26-1,96 \$/m³’e yükselmiştir. Atıl ısı tercih edildiğinde ise MD-1 ve MD-2’nin maliyetleri 0,40-0,57 \$/m³ arasında değişirken C-3 senaryosunda 0,74-1,01 \$/m³ arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.17: MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.



Şekil 4.18: MD ve en ekonomik II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.

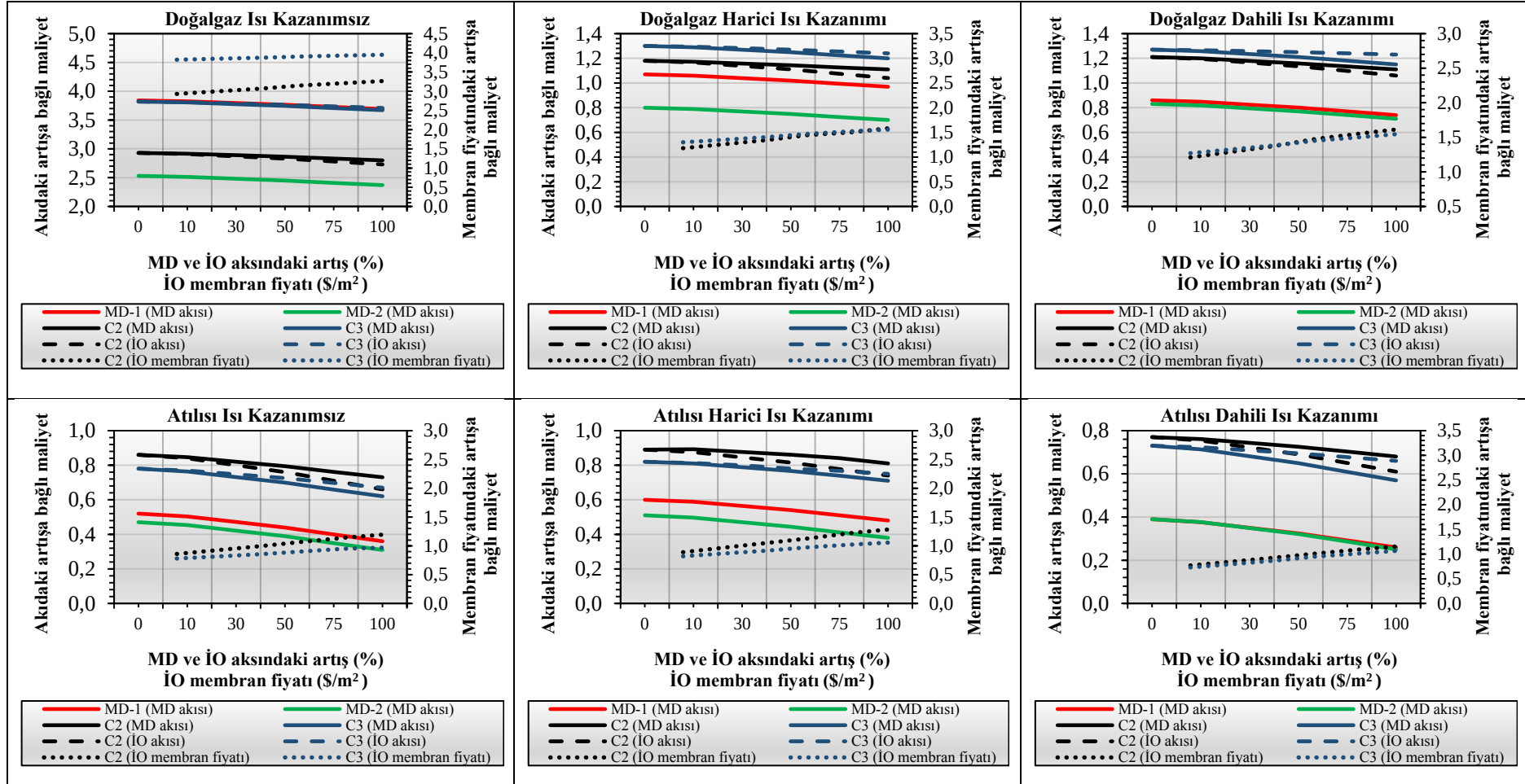
4.3.2.5. Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizinde İO ve MD akıları ile İO membran fiyatının maliyete etkisi incelenmiştir. MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının 0,07 \$/kWh elektrik tüketimi için farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Her bir senaryodaki tüm İO ve MD akıları %100 arttırılarak 2 katına çıkarılmış, İO membran fiyatı da 12 \$/m²'den 100 \$/m²'ye arttırılmıştır. Maliyet her iki akıdaki artış ile düşme eğilimi gösterirken, membran fiyatındaki artış ile artmıştır.

Doğalgaz ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD'nin maliyeti % 4-6 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 4-4,5 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 3-7 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 3-9 arasında arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD'nin maliyeti % 9-13 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 6-8 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 5-12 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 14-21'e kadar arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD'nin maliyeti % 14 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 8-9 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 3-12 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 15-22 arttırdığı görülmektedir.

Atıl ısı ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD'nin maliyeti % 31-34 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 15-21 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 14-23 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 18-25 arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD'nin maliyeti % 20-25 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 9-13 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 9-17 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 20-27 arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD'nin maliyeti % 33-36 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 12-22 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 10-21 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 28-29 arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.19: MD ve II arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi.

4.3.2.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik

MD ve İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyeti, geri ödeme süresi, karbon vergilerine göre toplam desalinasyon maliyetleri, ekonomik tercih edilebilirlik sıralamaları doğalgaz ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.7’de, atıl ısı ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.8’de verilmiştir.

MD ve İO/MD senaryolarının su bilançoları eşliğinde ekonomik tercih edilebilirlikleri, karbon vergisi yokken ve birim arıtma maliyetine karbon vergisi dahil edildiğinde sıralanarak en ekonomik ilk 10 senaryo için Şekil 4.20’de gösterilmiştir. İO/MD senaryoları deniz suyunun yanı sıra harici arıtma çıkış suyuna ihtiyaç duymaktadır. Deniz suyu başına arıtma çıkış suyu ihtiyacı (AÇ/DS), arıtma çıkış suyu başına içme suyu (İS/AÇ), içme suyu başına kazanılan arıtma çıkış suyu miktarları (KAÇ/İS) şekil üzerinde gösterilmiştir.

Isıtma kaynağı olarak doğalgaz tercih edildiğinde karbonsuz maliyetlerle düşük karbonlu maliyetlerde sıralama değişmezken, yüksek karbon vergisinin sıralamayı değiştirdiği görülmektedir. MD senaryolarının kendi içlerindeki sıralamalarında çift kademe uygulanan MD’lerin (MD-2, MD-4) hem karbonsuz hemde karbonlu maliyetlerde önde olduğu görülmektedir. Karbon vergisiz veya düşük karbon vergisinde İO/MD senaryolarında ilk sıralarda C-2, C-3 ve C-4 senaryolarının ısı kazanımlı uygulamaları yer almıştır. Yüksek karbon vergisinde sıralama sonlara doğru biraz değişse de ilk sıralarda düşük karbon vergisinde olduğu gibi yine C-2, C-3 ve C-4 senaryolarının ısı kazanımlı uygulamaları yer almaktadır. En ekonomik İO/MD senaryosu olan C-2’de AÇ/DS oranı 1,5, İS/AÇ oranı 0,64 ve KAÇ/İS oranı 0,17’dir. Arıtma çıkış suyundan en fazla suyun kazanıldığı C-4 senaryosunda KAÇ/İS oranının 0,30 olduğu görülmektedir. Arıtma çıkış suyundan en az su kazanım oranı (0,17) C-2 ve C-3 senaryolarındadır. Deniz suyu başına arıtma çıkış suyu tüketim oranı en az C-3 senaryosunda 0,77 en fazla C-4 senaryosunda 1,86 dır.

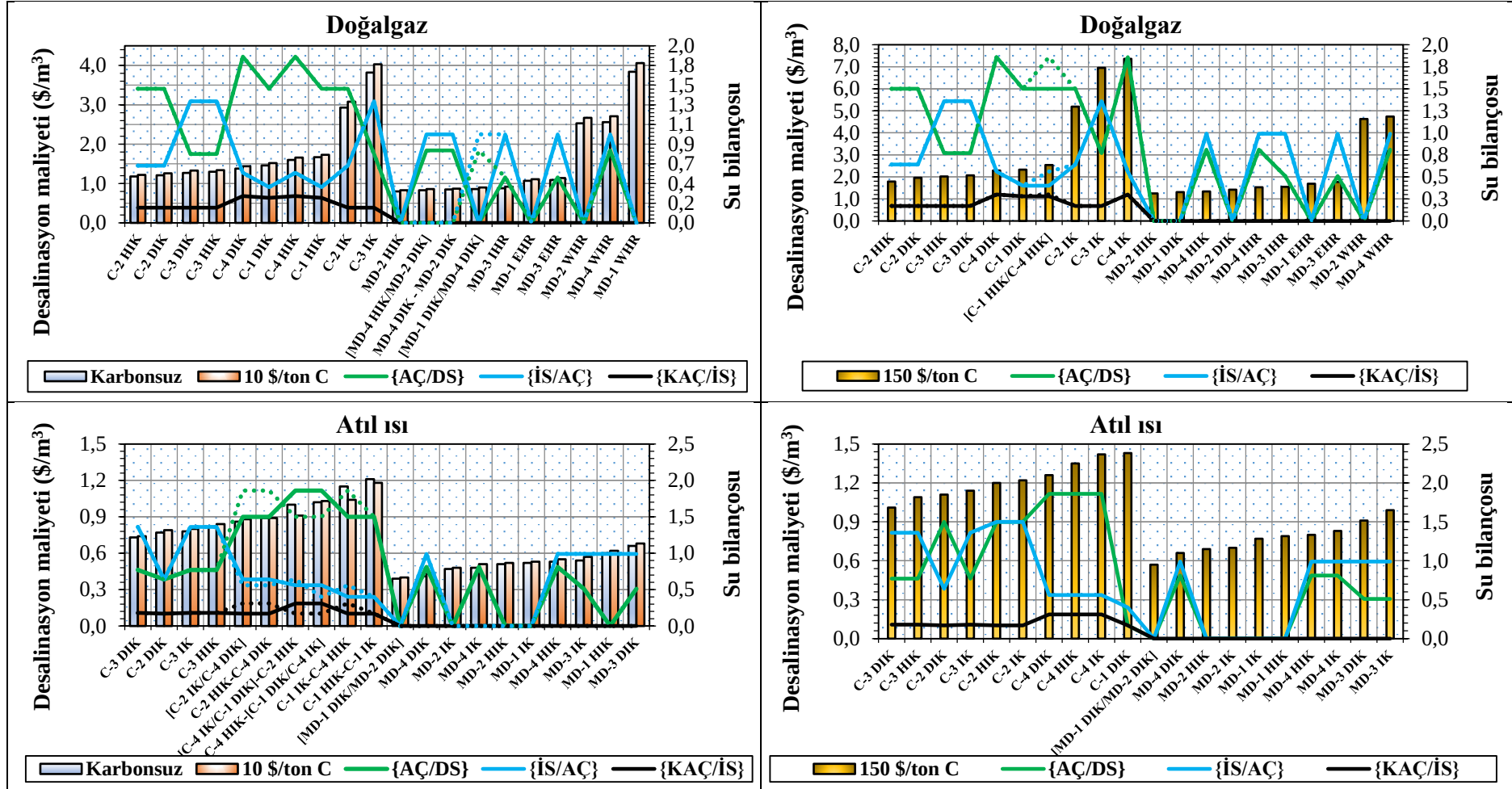
Isıtma kaynağı olarak atıl ısı tercih edildiğinde karbon vergisiz veya düşük karbon vergisinde İO/MD senaryolarında ilk sıralarda C-3, C-2 ve C-4 senaryoları uygulamaları yer almıştır. Yüksek karbon vergisinde sıralama biraz değişse de ilk sıralarda C-3 ve C-2 senaryoları yer aldığı görülüyor. En ekonomik İO/MD senaryosu olan C-3’de AÇ/DS oranı 0,77, İS/AÇ oranı 1,36 ve KAÇ/İS oranı 0,18’dir.

Tablo 4.7: Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için MD ve IL arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HİK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD-1	3,84	1,07	0,86	N.a.	3,24	1,10	4,06	7,11	1,11	1,69	0,90	1,31	5	5	3	3	2	1
MD-2	2,53	0,80	0,83	N.a.	1,95	1,12	2,67	4,63	0,83	1,25	0,87	1,42	1	1	1	1	1	2
MD-3	3,87	1,09	0,88	N.a.	3,31	1,13	4,09	7,18	1,14	1,77	0,92	1,55	6	6	4	4	3	4
MD-4	2,56	0,83	0,85	N.a.	2,00	1,14	2,71	4,74	0,86	1,34	0,90	1,53	2	2	2	2	2	3
C-1	4,45	1,67	1,46	N.a.	9,77	7,14	4,69	7,93	1,73	2,54	1,52	2,33	8	8	8	8	7	8
C-2	2,93	1,18	1,21	N.a.	5,20	4,64	3,08	5,19	1,22	1,79	1,26	1,96	3	3	5	5	4	5
C-3	3,82	1,30	1,27	N.a.	5,13	4,38	4,03	6,95	1,34	2,02	1,33	2,07	4	4	6	6	5	6
C-4	4,08	1,60	1,38	N.a.	8,55	5,94	4,30	7,36	1,66	2,54	1,44	2,29	7	7	7	7	6	7
N.a.: mevcut değil.																		

Tablo 4.8: Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HİK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD-1	0,52	0,60	0,39	1,20	2,07	0,61	0,53	0,77	0,62	0,79	0,40	0,57	3	2	3	2	1	1
MD-2	0,47	0,51	0,39	0,95	1,47	0,64	0,48	0,70	0,52	0,69	0,40	0,57	1	1	1	1	1	1
MD-3	0,54	0,77	0,66	1,24	2,11	0,62	0,57	0,99	0,79	1,09	0,68	0,91	4	4	4	4	3	3
MD-4	0,48	0,53	0,41	0,95	1,50	0,65	0,51	0,83	0,55	0,80	0,43	0,66	2	3	2	3	2	2
C-1	1,15	1,21	1,00	5,66	6,37	4,58	1,18	1,60	1,24	1,59	1,03	1,43	8	8	8	6	7	7
C-2	0,86	0,89	0,77	3,59	4,05	3,06	0,88	1,22	0,91	1,20	0,79	1,11	6	6	6	5	5	5
C-3	0,78	0,82	0,73	2,55	3,21	2,47	0,80	1,14	0,84	1,09	0,74	1,01	5	5	5	4	4	4
C-4	1,00	1,02	0,86	4,37	4,80	3,50	1,03	1,42	1,04	1,35	0,89	1,26	7	7	7	6	6	6



Şekil 4.20: MD ve en ekonomik II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.

4.3.3. MD ve III. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD

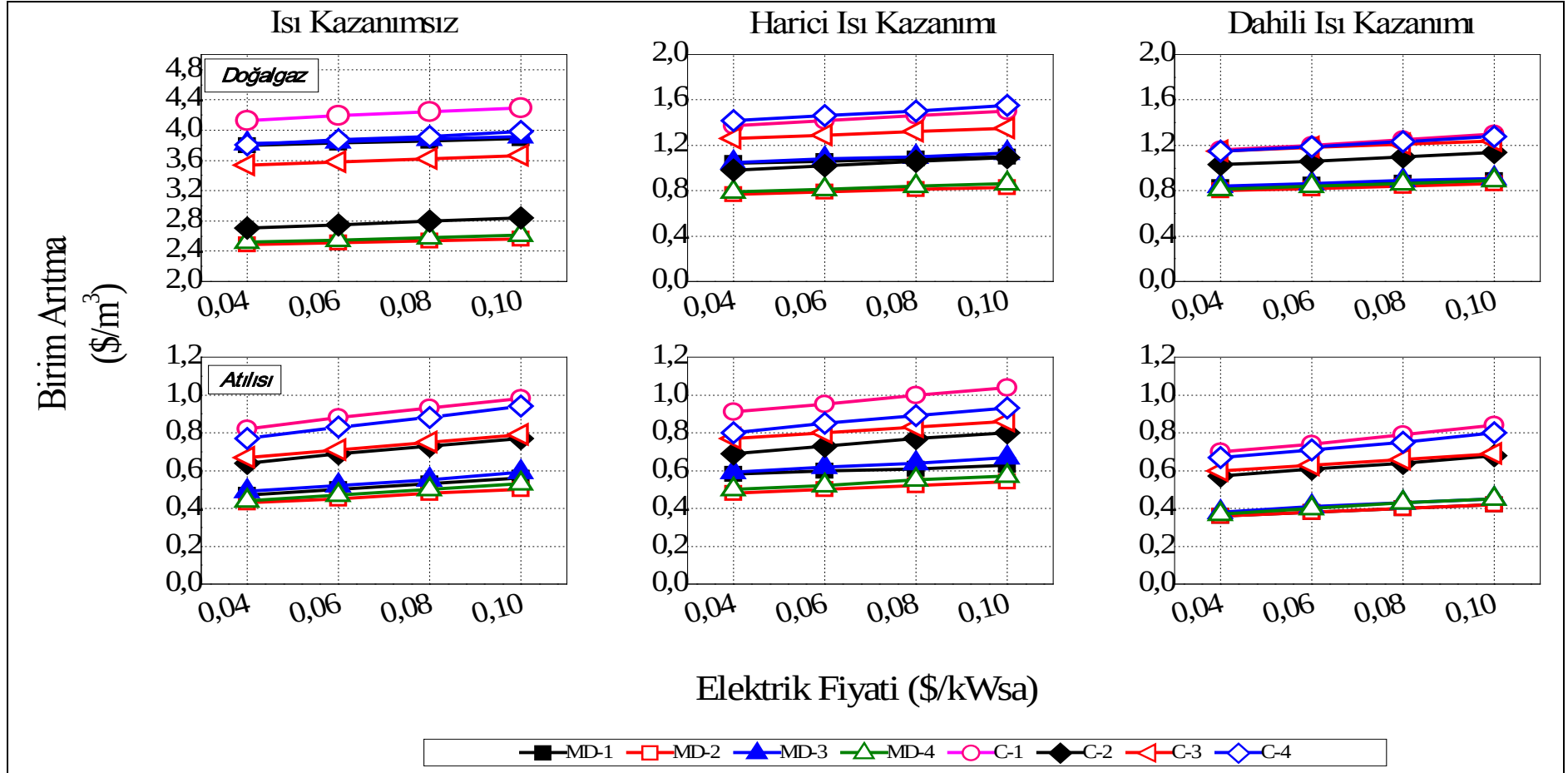
4.3.3.1. Birim Arıtma Maliyeti

MD ve İO/MD senaryolarında değişen elektrik fiyatının (0,04-0,10 \$/kWsa) birim su arıtma maliyeti üzerine etkisi ısı geri kazanımsız ve ısı geri kazanımlı senaryolarda doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için hesaplanıp kıyaslanmıştır. MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz/atılısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneği için, ısı kazanımının uygulanmadığı MD senaryolarında MD’nin birim arıtma maliyetleri değişen elektrik fiyatları (0,04-0,10 \$/kWsa) için MD-1’de 3,80-3,89 \$/m³ arasında değişirken, MD-2’de 2,49-2,56 \$/m³ arasında değişmiştir. Konsantre deniz suyunun üretilmediği MD senaryolarında ise MD-3’de 3,82-3,92 \$/m³, MD-4’te 2,52-2,61 \$/m³’tür. Harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre arıtma maliyeti MD-1’de 1.04-1.10 \$/m³, MD-2’de 0.77-0.83 \$/m³, MD-3’te 1,05-1,13 \$/m³, MD-4’te 0,79-0,86 \$/m³ aralığında değişmiştir. Modülde ısı kazanımı yapılırsa arıtma maliyeti MD-1’de 0,83-0,89 \$/m³, MD-2’de 0,80-0,86 \$/m³, MD-3’te 0,84-0,91 \$/m³, MD-4’te 0,81-0,89 \$/m³’tür.

Atıl ısı ile ısıtma tercih edildiğinde ve ısı kazanımı uygulanmadığında arıtma maliyetleri MD-1’de 0,47-0,56 \$/m³, MD-2’de 0,43-0,50 \$/m³, MD-3’te 0,49-0,59 \$/m³, MD-4’te 0,44-0,53 \$/m³ aralığında değişirken harici ısı kazanımı uygulandığında MD-1’de 0,58-0,63 \$/m³, MD-2’de 0,48-0,54 \$/m³, MD-3’te 0,59-0,67 \$/m³, MD-4’te 0,50-0,57 \$/m³ dahili ısı kazanımı uygulandığında ise MD-1’de 0,36-0,42 \$/m³, MD-2’de 0,38-0,45 \$/m³, MD-3’te 0,37-0,45 \$/m³ aralığında değişmiştir.

III arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında doğalgaz ile ısıtma seçeneği için değişen elektrik fiyatlarına (0,04-0,10 \$/kWsa) göre en düşük birim arıtma maliyetleri ısı kazanımı yapılmadığında C-2. senaryosu için 2,71-2,84 \$/m³ arasında değişirken, harici ısı kazanımı uygulandığında C-2 senaryosu için 0,98-1,09 \$/m³ dahili ısı kazanımı yapıldığında yine C-2 senaryosu için 1,03-1,14 \$/m³ arasında değişmiştir.



Şekil 4.21: MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyetlerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

III arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında atıl ısı ile ısıtma seçeneği için en düşük birim arıtma maliyetleri C-2 senaryosunda elde edilerek ısı kazanımı yapılmadığında 0,64-0,77 \$/m³, harici ısı kazanımı uygulandığında 0,69-0,80 \$/m³ dahili ısı kazanımı yapıldığında 0,57-0,68 \$/m³ arasında değişmiştir.

4.3.3.2. Geri Ödeme Süresi

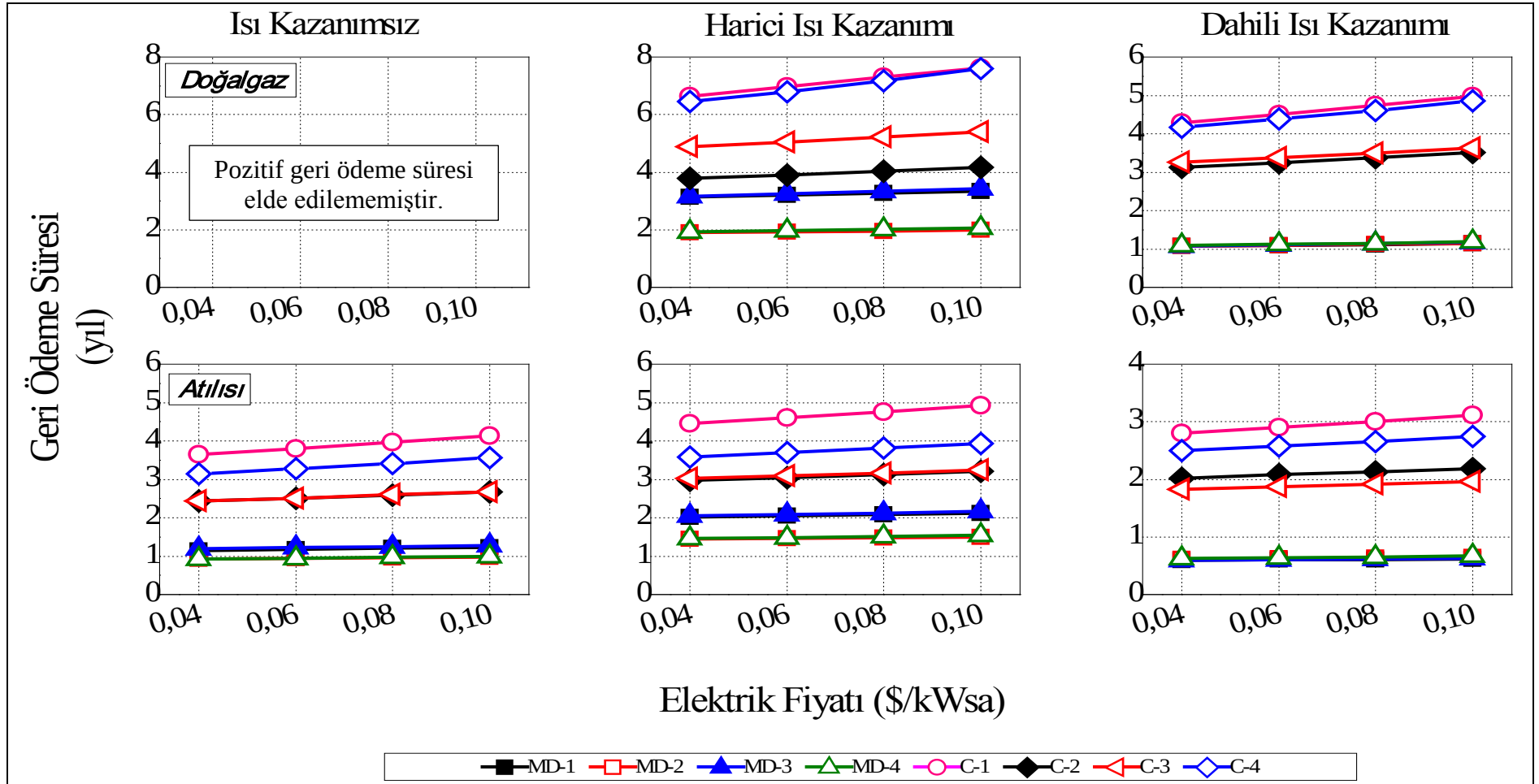
MD ve İO/MD senaryolarında değişen elektrik fiyatlarında (0,04-0,10 \$/kWsa) geri ödeme sürelerinin ısı geri kazanımsız ve ısı geri kazanımlı senaryolarda doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için hesaplanarak kıyaslanmıştır. MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının doğalgaz/atılı ısı ile ısıtma seçeneği ve farklı ısı kazanım uygulamalarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımının yapılmadığı MD ve İO/MD tesislerinde geri ödeme süresi pozitif elde edilemediği için program tarafından hesap edilememiştir. Harici ısı kazanımı uygulandığında değişen elektrik fiyatlarına göre geri ödeme süresi MD-1’de 3,14-3,33 yıl, MD-2’de 1,90-2,0 yıl, MD-3’te 3,17-3,43 yıl, MD-4’te 1,92-2,06 yıl aralığında değişmiştir. Dahili ısı kazanımında geri ödeme MD-1’de 1,07-1,14 yıl, MD-2’de 1,08-1,15 yıl, MD-3’te 1,08-1,17 yıl, MD-4’te 1,09-1,19 yıldır.

Atıl ısı ile ısıtma tercih edildiğinde ve ısı kazanımı uygulanmadığında geri ödeme süreleri MD-1’de 1,15-1,23 yıl, MD-2’de 0,93-0,98 yıl, MD-3’te 1,19-1,28 yıl, MD-4’te 0,92-0,99 yıl aralığında değişirken harici ısı kazanımı uygulandığında MD-1’de 2,02-2,11 yıl, MD-2’de 1,44-1,50 yıl, MD-3’te 2,05-2,16 yıl, MD-4’te 1,46-1,54 yıl, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise MD-1’de 0,59-0,62 yıl, MD-2’de 0,62-0,65 yıl, MD-3’te 0,59-0,63 yıl, MD-4’te 0,63-0,67 yıl aralığında değiştiği görülmüştür.

III arıtma beslemeli İO/MD senaryolarında doğalgaz ile ısıtma seçeneği için değişen elektrik fiyatlarına göre en kısa geri ödeme süresi C-2 senaryosunda harici ısı kazanımı uygulandığında 3,79-4,17 yıl, dahili ısı kazanımı yapıldığında 3,13-3,51 yıldır.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneği için en kısa geri ödeme süresi ısı kazanımı yapılmadığında C-2 senaryosunda 2,43-2,68 yıl, harici ısı kazanımı uygulandığında C-2’de 2,97-3,21 yıl, dahili ısı kazanımı yapıldığında C-3 senaryosunda 1,83-1,96 yıldır.



Şekil 4.22: MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İÖ/MD senaryolarının geri ödeme sürelerinin elektrik fiyatına göre değişimleri.

4.3.3.3. Maliyet Bileşenleri

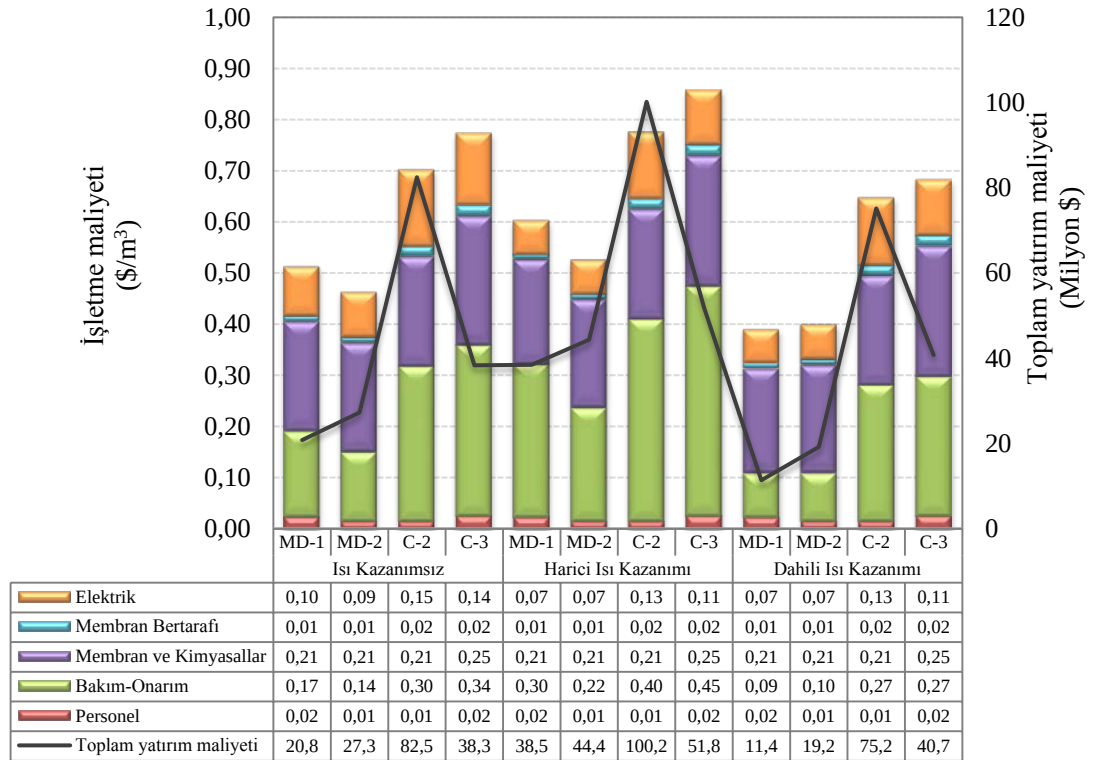
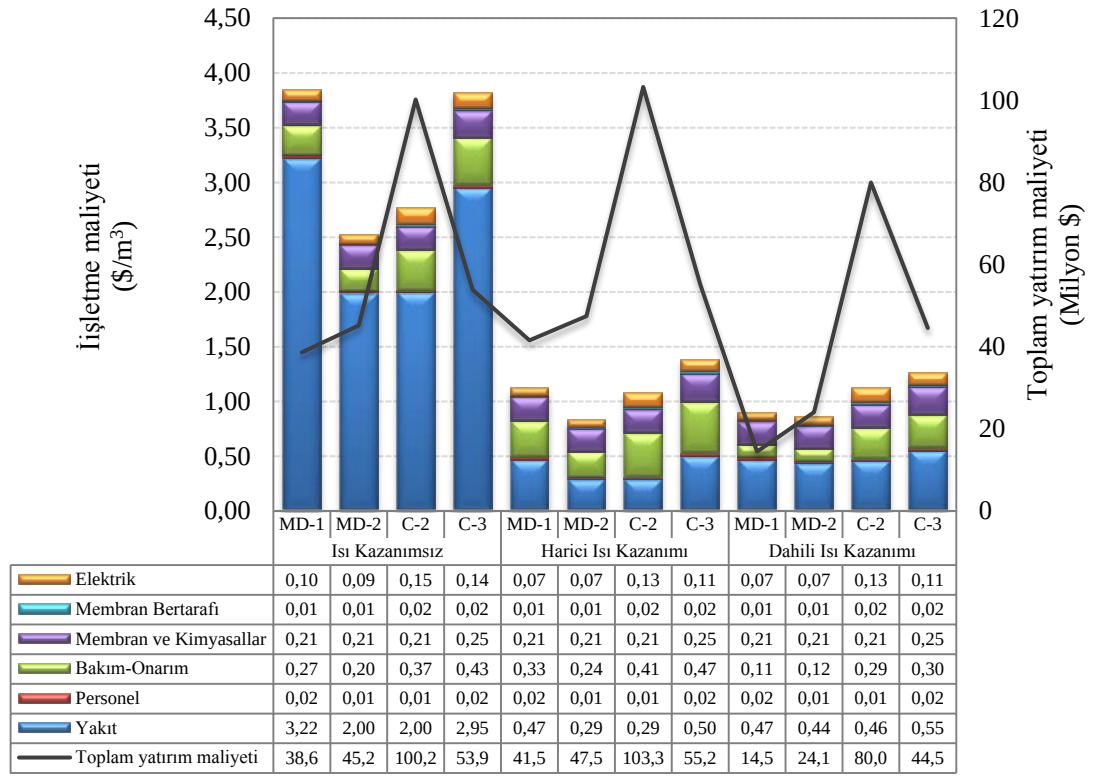
Doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçenekleri için en ekonomik sonuçların elde edildiği senaryoların 0,07 \$/kWsa birim elektrik fiyatı için maliyet bileşenleri Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Doğalgaz ile ısıtmanın yapıldığı MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %79-84’ü yakıttan, %5,6-8,5’i membran ve kimyasallardan, %7-8’nin bakım ve onarım gibi tesise bağlı maliyetlerden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %35-42’si yakıttan, %19-26 membran ve kimyasallardan, %28-30’unun bakım ve onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %51-52 yakıt, %24-25 membran ve kimyasallar, %12-13 bakım onarım gibi tesis maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı MD tesisinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %42-46’sının membran ve kimyasallardan, %30-33’ünün bakım onarım maliyetinden, %19’unun elektrikten kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %34-40 membran ve kimyasallardan, %42-50’si bakım onarım, %14’ü elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %52,5’i membran ve kimyasallar, %23-24’ü bakım onarım, %17’si elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanmıştır.

Doğalgaz ile ısıtmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %72-77’sinin yakıttan, %7-8’inin membran ve kimyasallardan, %11-13’ünün bakım onarım maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %27-35’i yakıttan, %18-20’si membran ve kimyasallardan, %34-38’i bakım onarım maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %41-44 yakıt, %19-20 membran ve kimyasallar, %24-26 bakım onarım maliyetinden kaynaklanmıştır.

Atılısı ile ısıtmanın yapıldığı İO/MD tesislerinde ısı kazanımı yapılmadığında su arıtma maliyetinin %31-33’ünün membran ve kimyasallardan, %43’ünün bakım onarım, %18-21 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklandığı görülmektedir. Harici ısı kazanımı yapıldığında maliyetin %28-30’u membran ve kimyasallardan, %52’si bakım onarım, %13-17’si elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanırken, dahili ısı kazanımında %33-37 membran ve kimyasallar, %41 bakım onarım, %16-20 elektrik tüketim maliyetinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4.23: MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD tesislerinin toplam yatırım maliyetleri ve işletme maliyet bileşenleri.

4.3.3.4. Karbon Maliyetleri

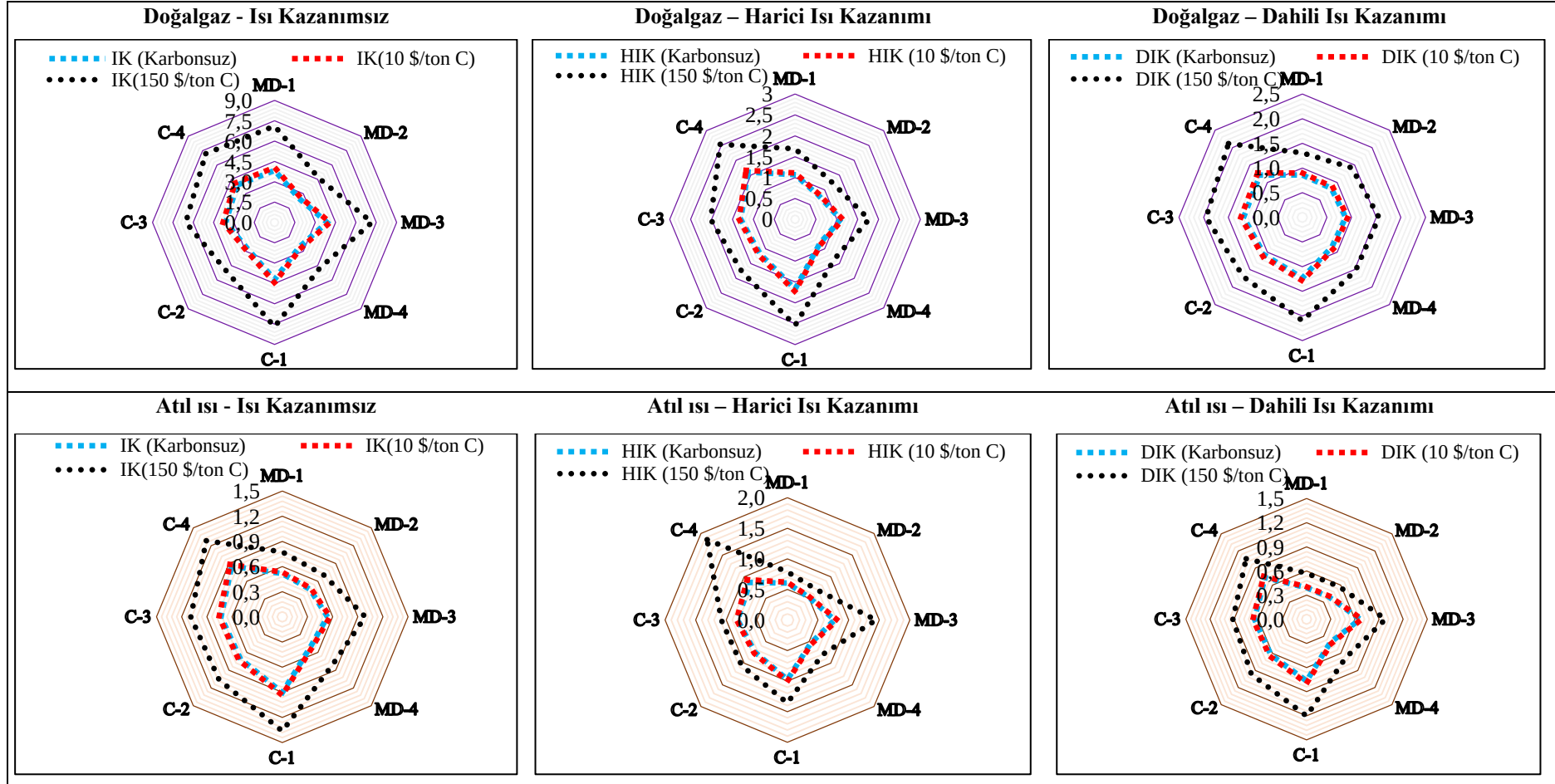
MD ve İO/MD tesislerinin maliyetleri hesaplanırken karbondan kaynaklı maliyetlerin de birim arıtma maliyetine etkisi incelenmiştir. Karbon vergisi hesaplarında tesislerde kullanılan elektriğin tüketim fiyatı 0,07 \$/kWsa kabul edilmiştir. Farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım alternatifleri için tüm MD ve İO/MD tesislerinin karbonsuz birim arıtma maliyetleri ile karbonlu maliyetleri Şekil 4.24’de gösterilmiştir. En ekonomik sonucu veren tesislerin toplam su arıtma maliyetlerinin değişen karbon vergilerine (10-150 \$/ton CO₂-e) göre değişimi ise Şekil 4.25’de gösterilmiştir.

Düşük karbon ayak izi vergisi (10 \$/ton CO₂-e) karbon vergisi bulunmayan maliyetlere göre yine maliyeti çok az arttırarak sistemlerin maliyete göre tercih edilebilirliğini değiştirmemiştir. Karbon vergisi 150 \$/ton CO₂-e’ne arttığında toplam desalinasyon maliyetinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

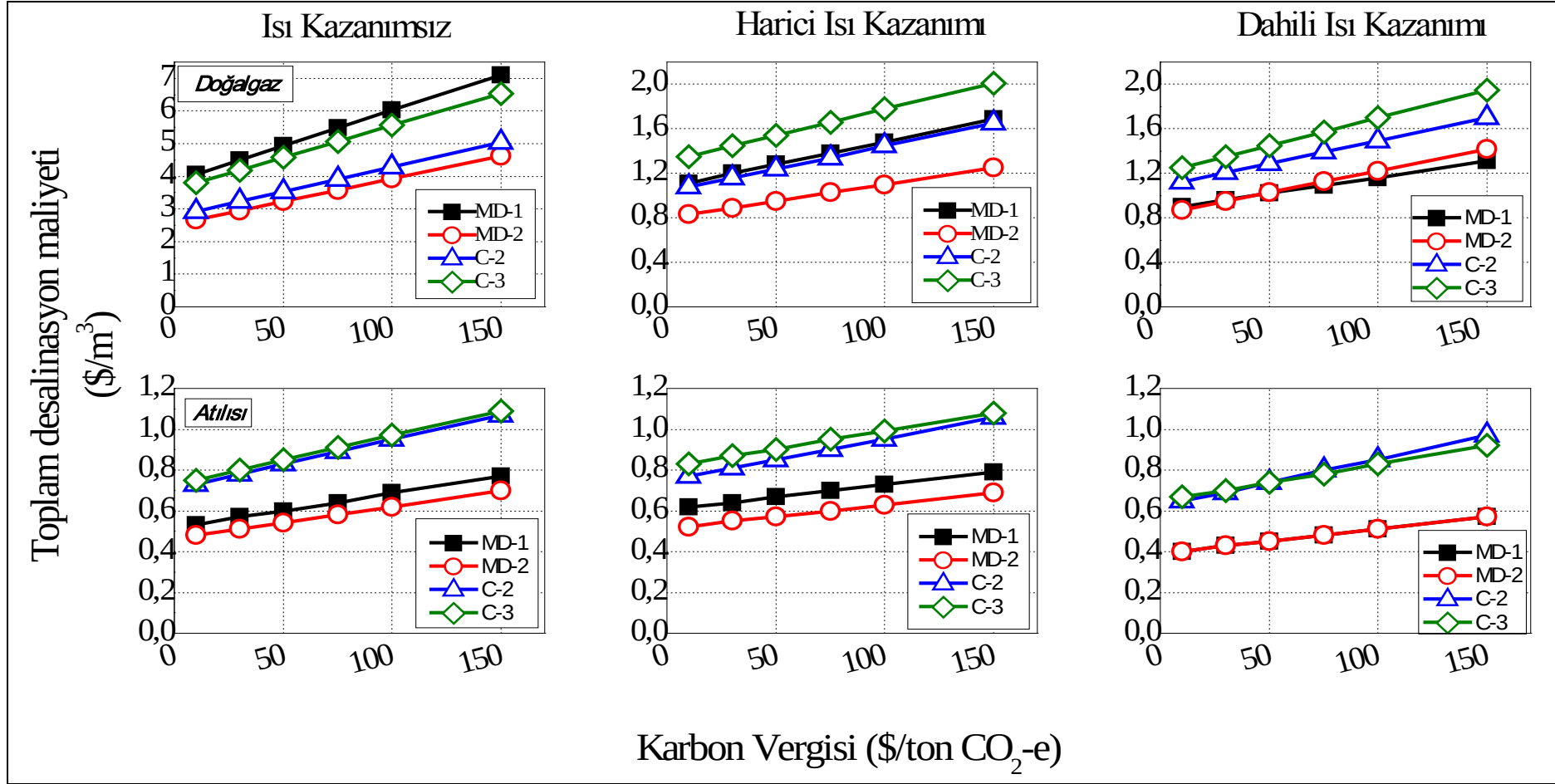
Şekil 4.25’de ısı kazanımının uygulanmadığı senaryolarda doğalgaz ile ısıtma seçeneği için en ekonomik MD senaryosu olan MD-2’de toplam desalinasyon maliyeti farklı karbon vergilerine göre 2,7-4,6 \$/m³ arasında değişmiştir. En ekonomik İO/MD senaryosu C-2’de toplam desalinasyon maliyeti ise 2,9-5,0 \$/m³ arasındadır. Atıl ısı ile ısıtma yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,48-0,70 \$/m³ aralığında değişirken C-2 senaryosu 0,73-1,10 \$/m³ aralığında değişmiştir.

Isı kazanımının yapıldığı senaryolarda doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde harici ısı kazanımı yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,83-1,25 \$/m³ iken C-2 senaryosunun toplam desalinasyon maliyeti 1,08-1,65 \$/m³’e yükselmiştir. Harici ısı kazanımında atıl ısı tercih edildiğinde ise MD-2’nin maliyetleri 0,52-0,69 \$/m³ arasında değişirken C-2 senaryosunda 0,77-1,06 \$/m³ arasında değiştiği görülmektedir.

Doğalgazla ısıtmada dahili ısı kazanımı yapıldığında MD-2’nin maliyeti 0,87-1,42 \$/m³ iken C-2 senaryosunun toplam desalinasyon maliyeti 1,12-1,70 \$/m³’e yükselmiştir. Atıl ısı tercih edildiğinde ise MD-1 ve MD-2’nin maliyetleri 0,40-0,57 \$/m³ arasında değişirken C-3 senaryosunda 0,67-0,92 \$/m³ arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.24: MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İÖ/MD desalinasyon tesislerinin 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisi yokken ve karbon vergisi dahil edildiğinde toplam desalinasyon maliyeti.



Şekil 4.25: MD ve en ekonomik III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWh elektrik tüketiminde, farklı ısı kazanım alternatifleri için doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde karbon vergisine göre toplam desalinasyon maliyetinin değişimi.

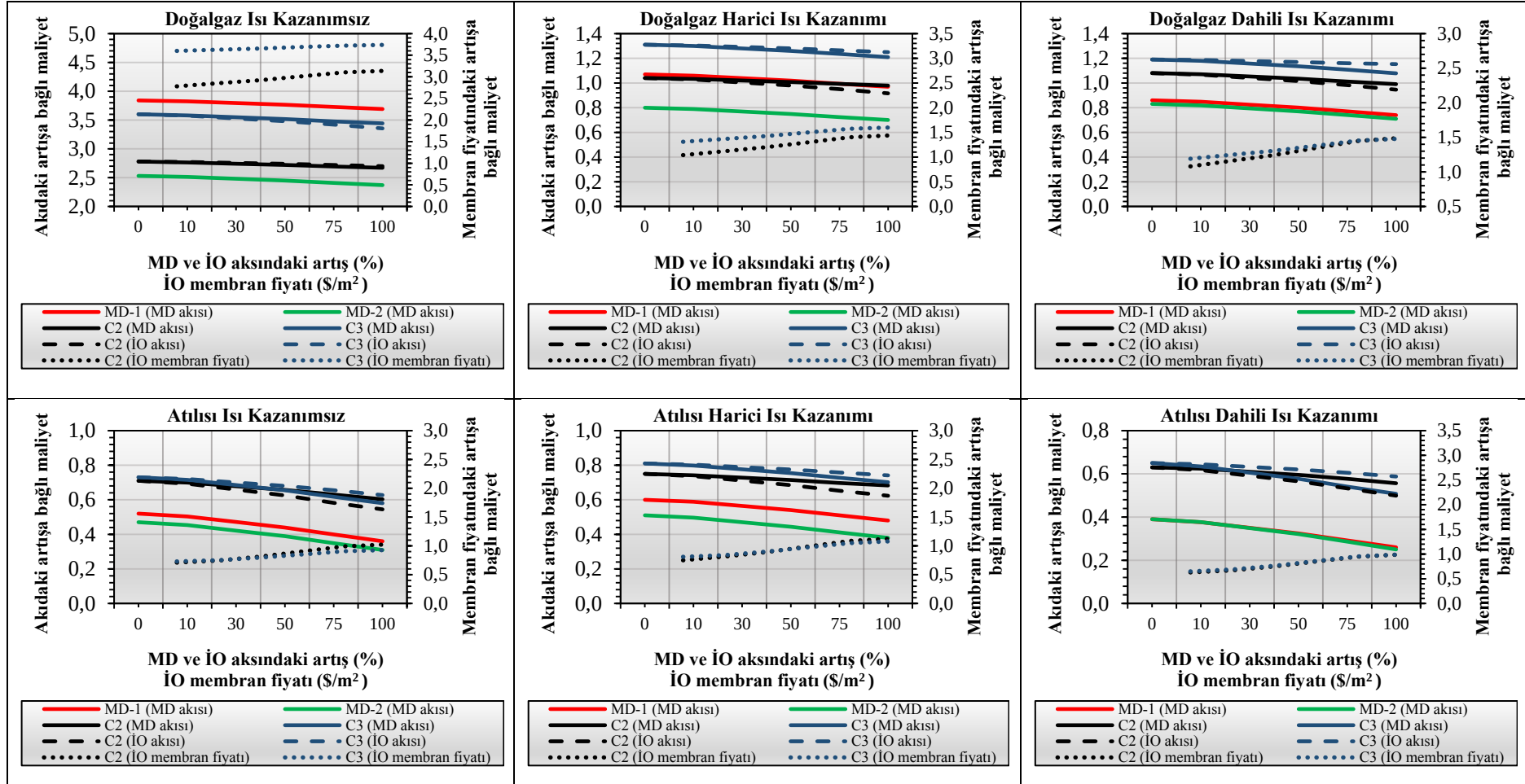
4.3.3.5. Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizinde İO ve MD akıları ile İO membran fiyatının maliyete etkisi incelenmiştir. MD ve en ekonomik yeraltısuyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akısı ile İO membran fiyatının 0,07 \$/kWh elektrik tüketimi için farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

Her bir senaryodaki tüm İO ve MD akıları %100 arttırılarak 2 katına çıkarılmış, İO membran fiyatı da 12 \$/m²'den 100 \$/m²'ye arttırılmıştır. Maliyet her iki akıdaki artış ile düşme eğilimi gösterirken, membran fiyatındaki artış ile artmıştır.

Doğalgaz ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD'nin maliyeti % 4-6 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 4-4,5 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 3-7 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 3-10 arasında arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD'nin maliyeti % 9-13 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 6-8 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 5-12 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 17-26 kadar arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD'nin maliyeti % 14 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 8-9 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 3-12 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 18-25 arttırdığı görülmektedir.

Atıl ısı ile ısıtmada ısı kazanımı yapılmadığında MD akısındaki iyileşmeye bağlı olarak MD'nin maliyeti % 31-34 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 15-21 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 14-23 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 20-28 arttırmıştır. Harici ısı kazanımı uygulandığında MD akısıyla MD'nin maliyeti % 20-25 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 9-13 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 8-17 azaltırken, İO membran fiyatındaki artış maliyeti % 23-31 arttırmıştır. Dahili ısı kazanımı uygulandığında MD akısının artışıyla MD'nin maliyeti % 33-36 azalırken, İO/MD'nin maliyeti % 12-22 azalmıştır. İO akısındaki iyileşme maliyeti % 10-21 azaltırken, İO membran fiyatındaki artışın maliyeti % 32-34 arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.26: MD ve İO akışta çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarında MD ve İO akışı ile İO membran fiyatının farklı ısıtma seçenekleri ve ısı kazanım uygulamalarında birim arıtma maliyetine etkisi.

4.3.3.6. Ekonomik Tercih Edilebilirlik

MD ve İO/MD senaryolarının birim arıtma maliyeti, geri ödeme süresi, karbon vergilerine göre toplam desalinasyon maliyetleri, ekonomik tercih edilebilirlik sıralamaları doğalgaz ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.9’da, atıl ısı ile ısıtma seçeneği için Tablo 4.10’da verilmiştir.

MD ve İO/MD senaryolarının su bilançoları eşliğinde ekonomik tercih edilebilirlikleri, karbon vergisi yokken ve birim arıtma maliyetine karbon vergisi dahil edildiğinde sıralanarak en ekonomik ilk 10 senaryo için Şekil 4.27’de gösterilmiştir. İO/MD senaryolarının deniz suyu başına arıtma çıkış suyu ihtiyacı (AÇ/DS), arıtma çıkış suyu başına içme suyu (İS/AÇ), içme suyu başına kazanılan arıtma çıkış suyu miktarları (KAÇ/İS) şekil üzerinde gösterilmiştir.

Isıtma kaynağı olarak doğalgaz tercih edildiğinde karbonsuz maliyetlerle düşük karbonlu maliyetlerde sıralama değişmezken, yüksek karbon vergisinin sıralamayı değiştirdiği görülmektedir. MD senaryolarının kendi içlerindeki sıralamalarında çift kademe uygulanan MD lerin (MD-2, MD-4) hem karbonsuz hemde karbonlu maliyetlerde önde olduğu görülmektedir. Karbon vergisiz veya düşük karbon vergisinde İO/MD senaryolarında ilk sıralarda C-2, C-3, C-4 ve C-1 senaryolarının ısı kazanımlı uygulamaları yer almıştır. Yüksek karbon vergisinde de sıralama pek değişim göstermeyerek ilk sıralarda düşük karbon vergisinde olduğu gibi yine C-2, C-3 ve C-1 senaryolarının ısı kazanımlı uygulamalarının yer aldığı görülüyor. En ekonomik İO/MD senaryosu olan C-2’de AÇ/DS oranı 1,56, İS/AÇ oranı 0,62 ve KAÇ/İS oranı 0,18’dir. Arıtma çıkış suyundan en fazla suyun kazanıldığı C-4 senaryosunda KAÇ/İS oranının 0,31 olduğu görülmektedir. Arıtma çıkış suyundan en az su kazanım oranı (0,17) C-3 senaryosundadır. Deniz suyu başına arıtma çıkış suyu tüketim oranı en az C-3 senaryosunda 0,77 en fazla C-4 senaryosunda 1,92 dir.

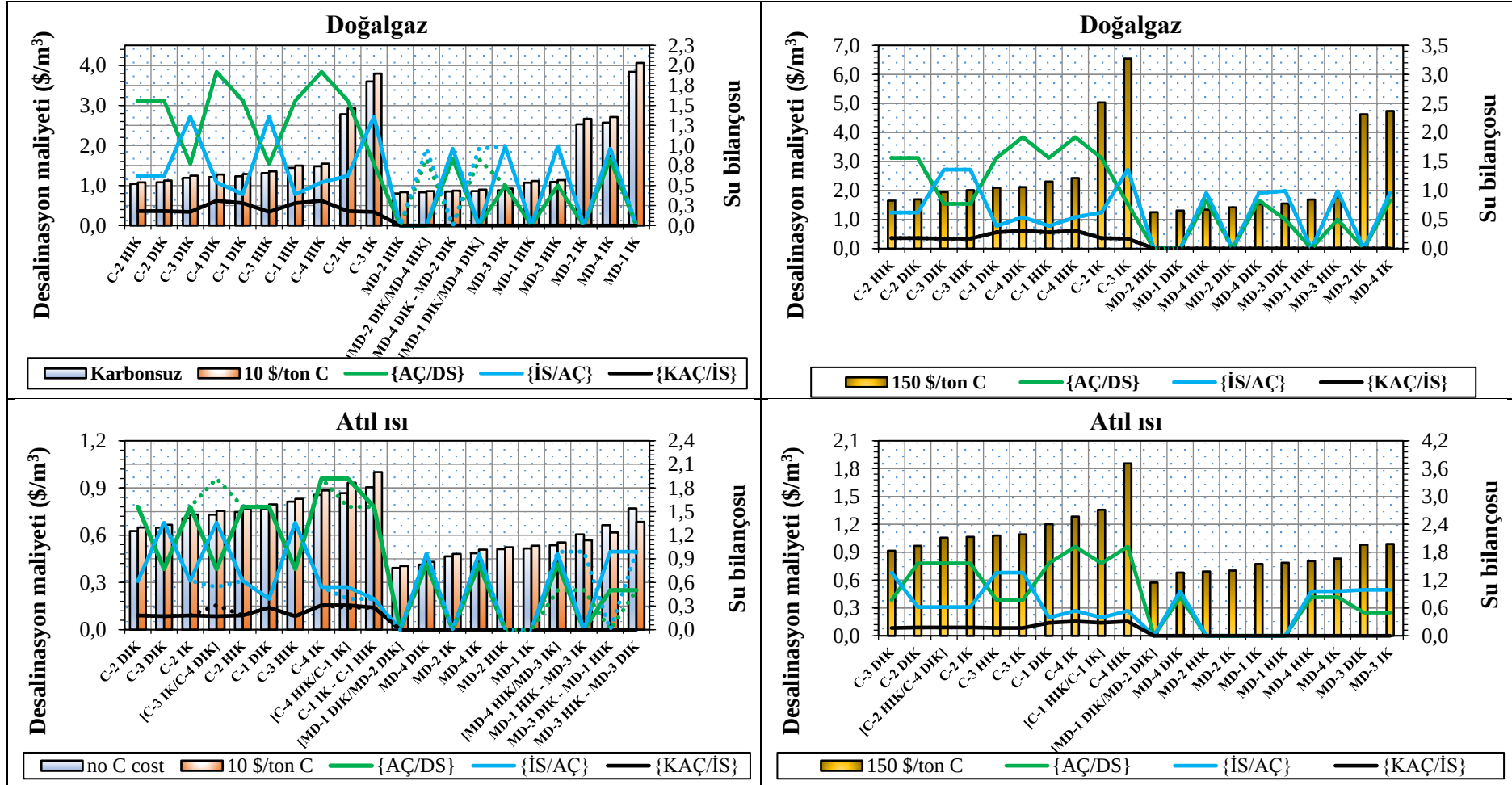
Isıtma kaynağı olarak atıl ısı tercih edildiğinde karbon vergisiz veya düşük karbon vergisinde İO/MD senaryolarında ilk sıralarda C-2, C-3 ve C-4 senaryoları yer almıştır. Yüksek karbon vergisinde sıralama biraz değişse de ilk sıralarda yine C-3, C-2 ve C-4 senaryoları yer aldığı görülüyor. En ekonomik İO/MD senaryosu olan C-2’de AÇ/DS oranı 1,56, İS/AÇ oranı 0,62 ve KAÇ/İS oranı 0,18’dir.

Tablo 4.9: Doğalgaz ile ısıtma opsiyonu için MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HİK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD-1	3,84	1,07	0,86	N.a.	3,24	1,10	4,06	7,11	1,11	1,69	0,90	1,31	5	5	4	4	3	1
MD-2	2,53	0,80	0,83	N.a.	1,95	1,12	2,67	4,63	0,83	1,25	0,87	1,42	1	1	1	1	1	2
MD-3	3,87	1,09	0,88	N.a.	3,30	1,13	4,09	7,18	1,14	1,77	0,92	1,55	6	7	5	5	4	4
MD-4	2,57	0,83	0,85	N.a.	1,99	1,14	2,71	4,74	0,86	1,34	0,90	1,53	2	2	2	2	2	3
C-1	4,21	1,44	1,23	N.a.	7,14	4,62	4,44	7,69	1,50	2,31	1,29	2,10	8	8	7	7	8	7
C-2	2,78	1,04	1,08	N.a.	3,97	3,31	2,93	5,04	1,08	1,65	1,12	1,70	3	3	3	3	5	5
C-3	3,60	1,31	1,19	N.a.	5,14	3,43	3,80	6,54	1,35	2,01	1,25	1,95	4	4	6	6	6	6
C-4	3,90	1,48	1,21	N.a.	6,99	4,49	4,12	7,18	1,55	2,43	1,27	2,12	7	6	8	8	7	8
N.a.: mevcut değil.																		

Tablo 4.10: Atıl ısı ile ısıtma opsiyonu için MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli desalinasyon tesislerinin ekonomik tercih edilebilirliği (Elektrik tüketimi 0,07 \$/kWsa, IK: Isı kazanımsız, HIK: Harici ısı kazanımı, DIK: Dahili ısı kazanımı).

Senaryolar	Birim arıtma maliyeti (\$/m³)			Geri ödeme süresi (yıl)			Toplam desalinasyon maliyeti (\$/m³)						Ekonomik sıralama					
	İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK	İK		HIK		DIK		İK		HIK		DIK	
							Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)						Karbon vergisi (\$/ton CO ₂ -e)					
							10	150	10	150	10	150	10	150	10	150	10	150
MD-1	0,52	0,60	0,39	1,20	2,07	0,61	0,53	0,77	0,62	0,79	0,40	0,57	3	2	3	2	1	1
MD-2	0,47	0,51	0,39	0,95	1,47	0,64	0,48	0,70	0,52	0,69	0,40	0,57	1	1	1	1	2	2
MD-3	0,54	0,77	0,66	1,24	2,10	0,62	0,57	0,99	0,82	1,45	0,68	0,98	4	4	5	7	6	6
MD-4	0,49	0,54	0,41	0,96	1,50	0,65	0,51	0,83	0,55	0,80	0,43	0,68	2	3	2	3	3	3
C-1	0,90	0,98	0,77	3,88	4,68	2,95	0,93	1,36	1,00	1,36	0,80	1,20	8	8	8	6	8	8
C-2	0,71	0,75	0,63	2,55	3,08	2,11	0,73	1,07	0,77	1,06	0,65	0,97	5	5	4	4	4	5
C-3	0,73	0,81	0,65	2,56	3,13	1,90	0,75	1,09	0,83	1,08	0,67	0,92	6	6	6	5	5	4
C-4	0,86	0,87	0,73	3,34	3,75	2,62	0,88	1,28	0,93	1,86	0,75	1,06	7	7	7	8	7	7



Şekil 4.27: MD ve en ekonomik III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının 0,07 \$/kWsa elektrik tüketiminde doğalgaz ve atıl ısı ile ısıtma seçeneklerinde ekonomik tercih edilebilirliği.

4.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Desalinasyon Tesislerinin Tercih Edilebilirlik Analizi

4.4.1. MD ve Tatlı Su Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.28’de, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.29’da gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.7’de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.9’da verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-3>B-5=B-6>B-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-3) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %37 ekonomik, %49 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-3’dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %27 ekonomik, %60 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-3’dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %29 ekonomik, %58 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %27 ekonomik, %61 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir

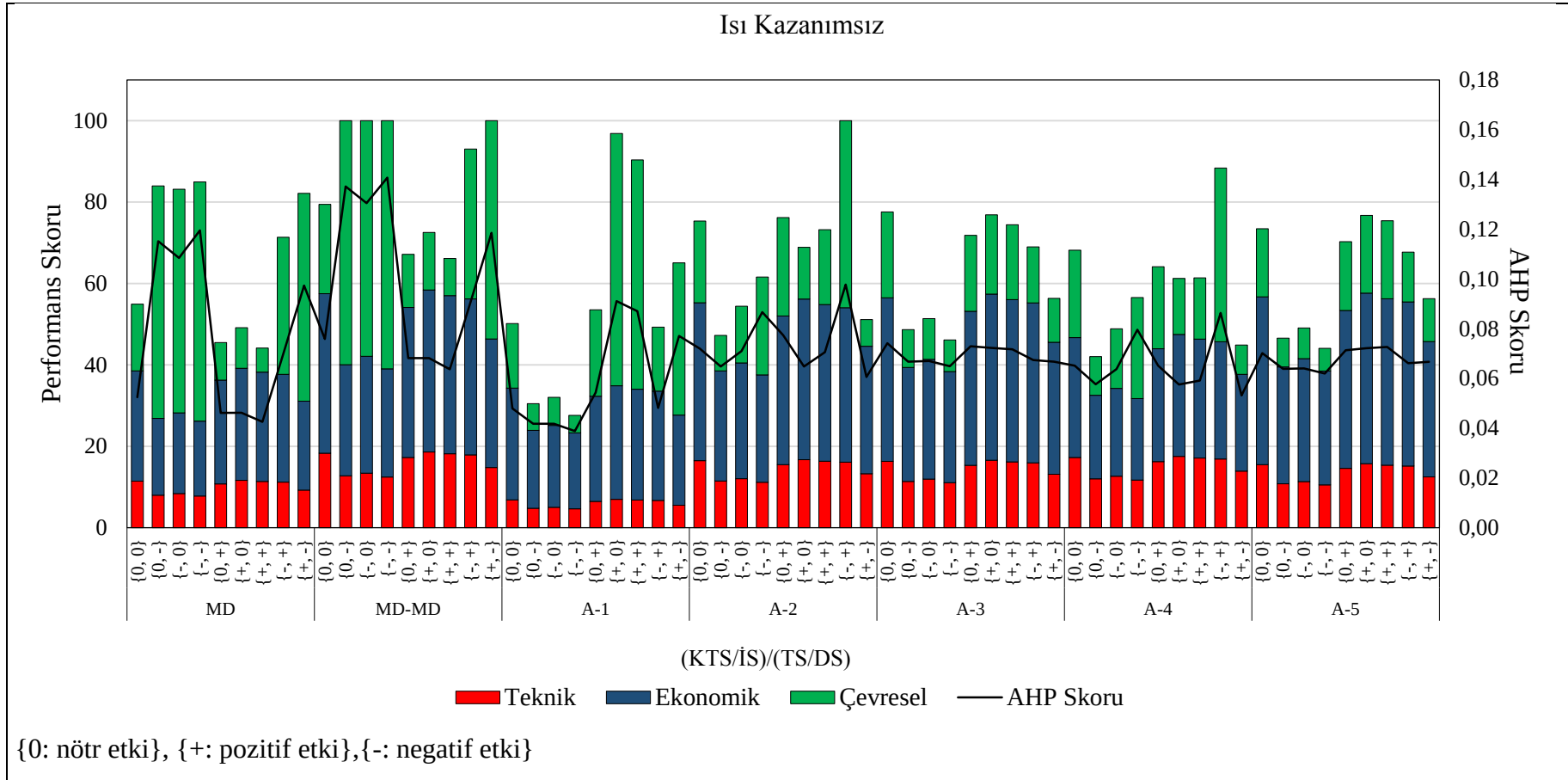
senaryolar B-3>B-4>B-5=B-6'dır. En tercih edilebilir senaryonun (B-3) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %34 ekonomik, %52 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-6>A-1>B-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-6) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %37 ekonomik, %50 çevreseldir.

Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-3=B-6>B-4>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryoların (B-3, B-6) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı B-3 için yaklaşık %15 teknik, %36 ekonomik, %49 çevresel; B-6 için yaklaşık %13 teknik, %36 ekonomik, %51 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>MD-MD>B-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %38 ekonomik, %46 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-6'dır. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %32 ekonomik, %54 çevreseldir.



Şekil 4.28: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantré akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.30'da, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.31'de gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.8'de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.10'da verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-2>B-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %36 ekonomik, %52 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %25 ekonomik, %62 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>A-2>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %17 teknik, %33 ekonomik, %49 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %23 ekonomik, %64 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %35 ekonomik, %53 çevreseldir.

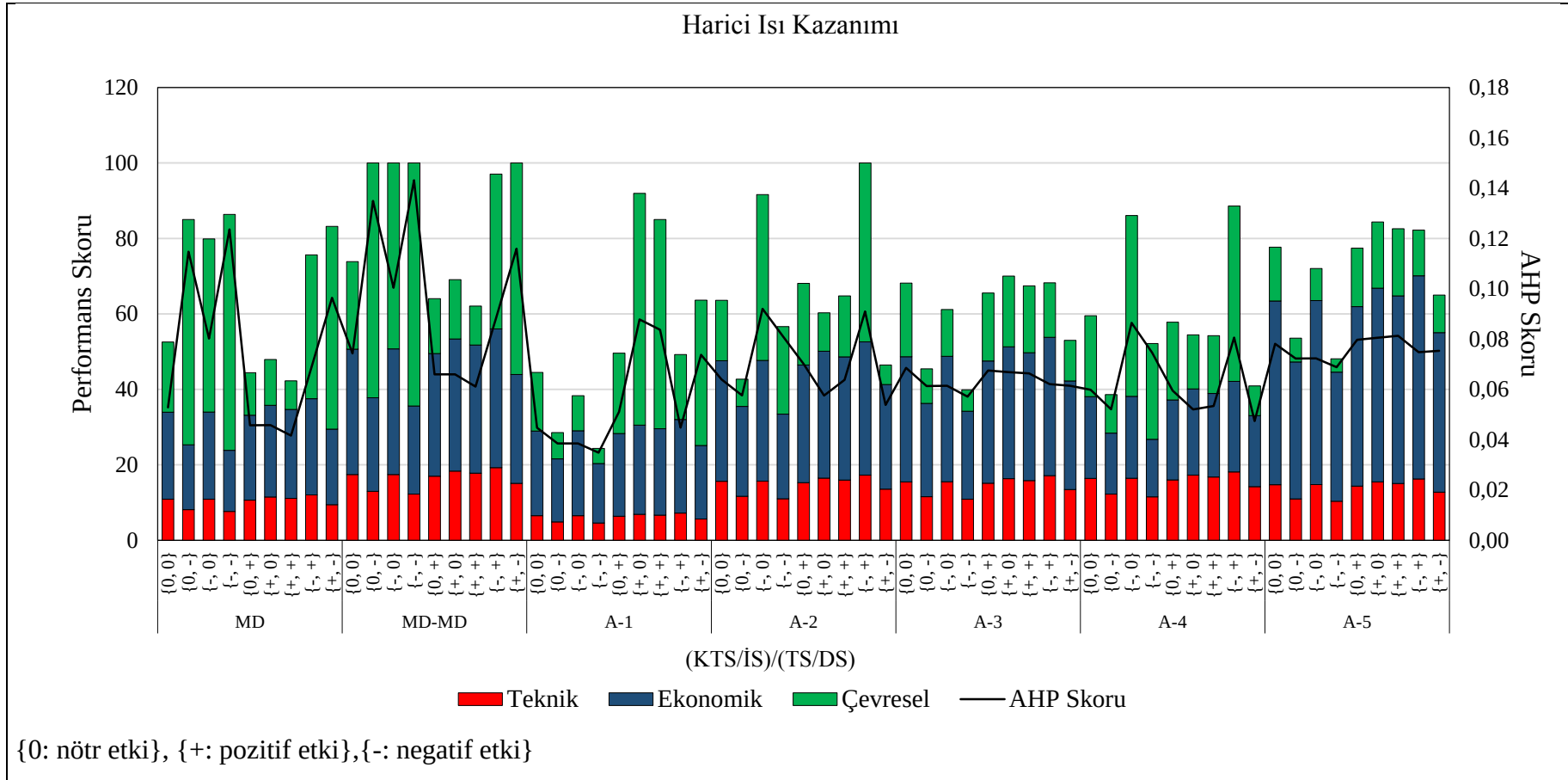
Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-2=B-5>B-6>B-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-2) teknik,

ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %9 teknik, %39 ekonomik, %53 çevreseldir.

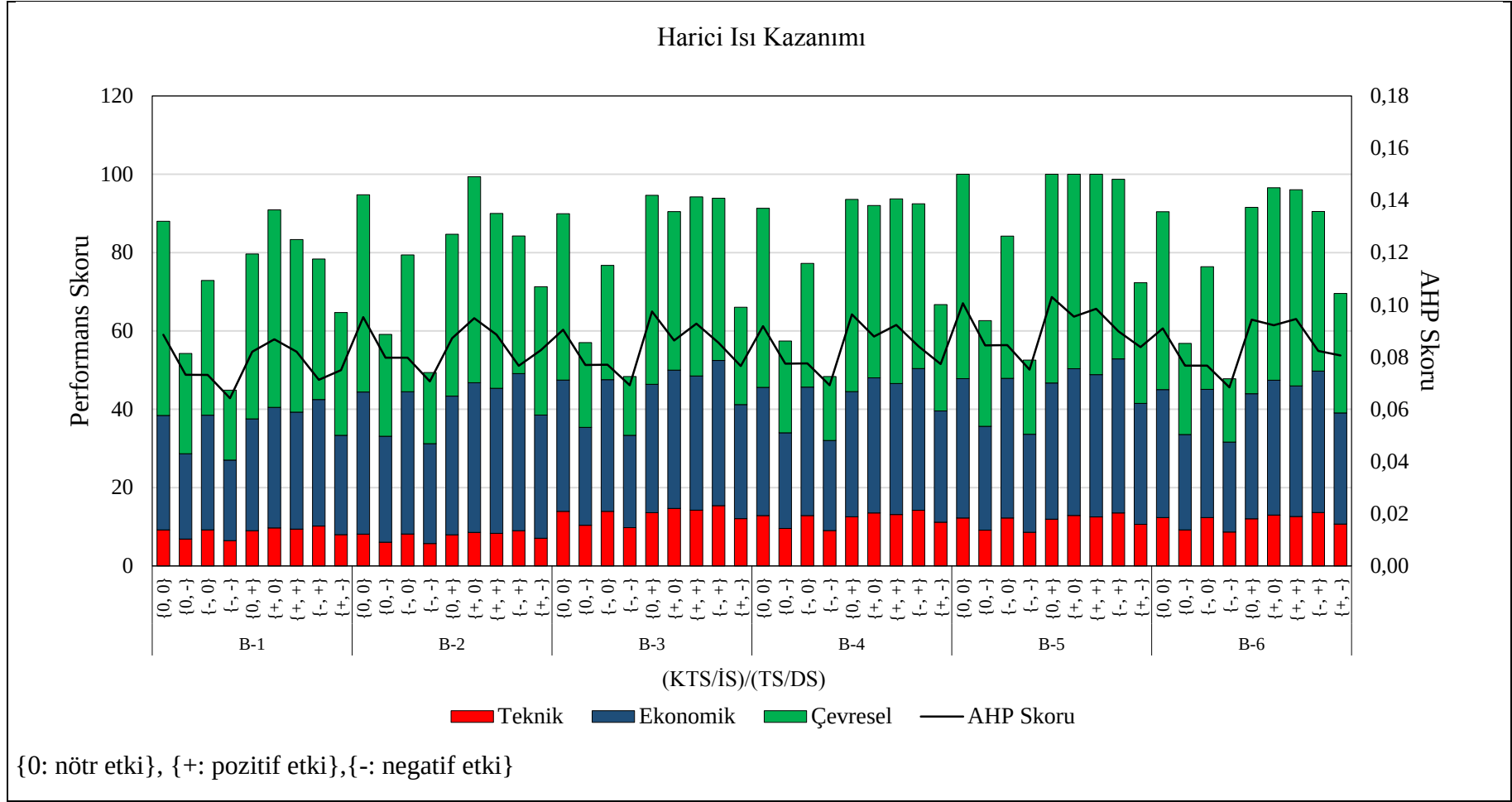
Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-6>B-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %13 teknik, %36 ekonomik, %51 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>B-5>MD-MD'dir. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %17 teknik, %35 ekonomik, %47 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %29 ekonomik, %56 çevreseldir.



Şekil 4.30: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.



Şekil 4.31: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.32’de, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.33’de gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.11’de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.13’de verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-2>B-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %35 ekonomik, %54 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %24 ekonomik, %62 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar A-2>MD-MD=A-4>MD’dir. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %38 ekonomik, %46 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %23 ekonomik, %65 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %34 ekonomik, %54 çevreseldir.

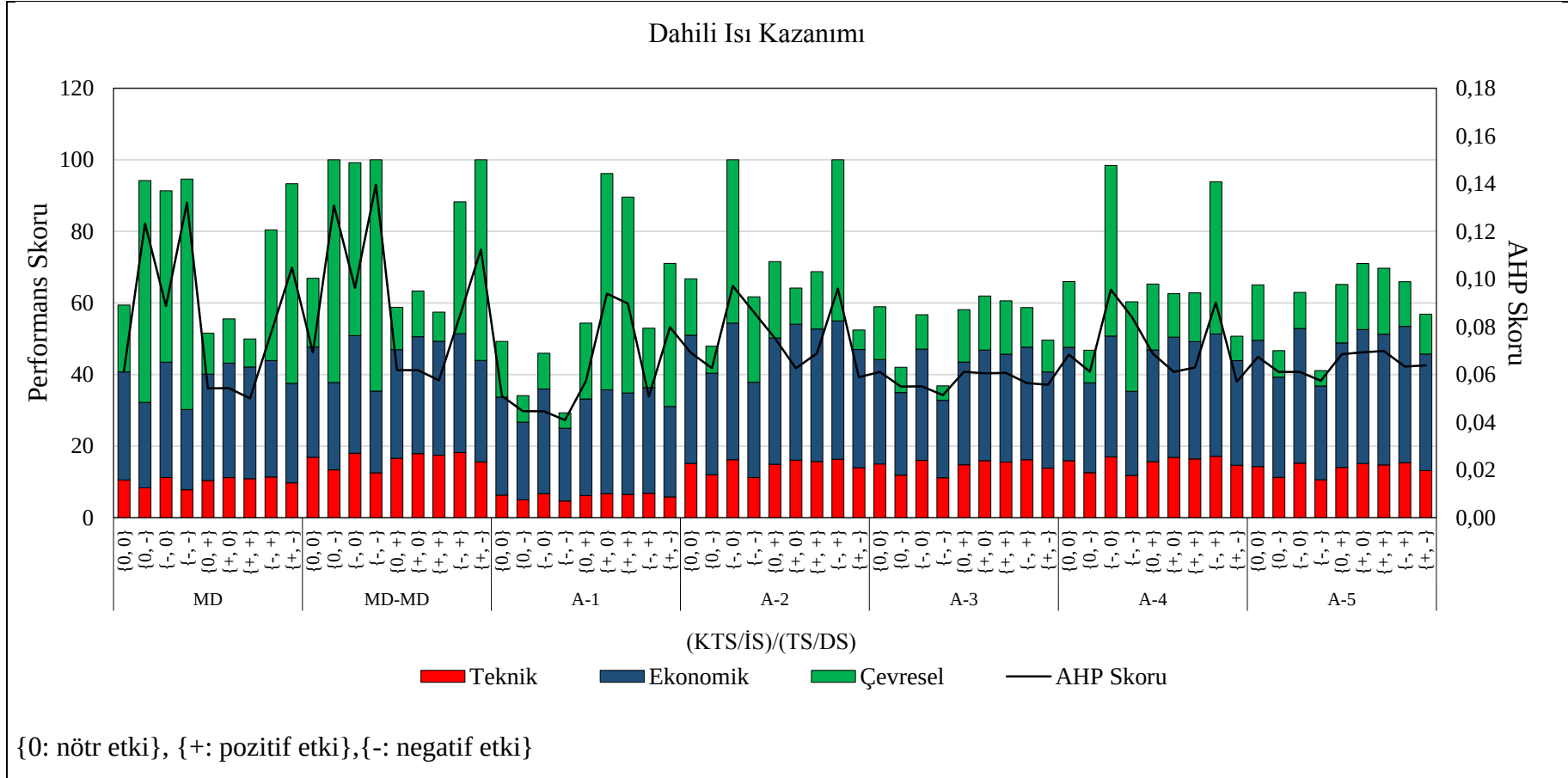
Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>A-1>B-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik

ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %37 ekonomik, %51 çevreseldir.

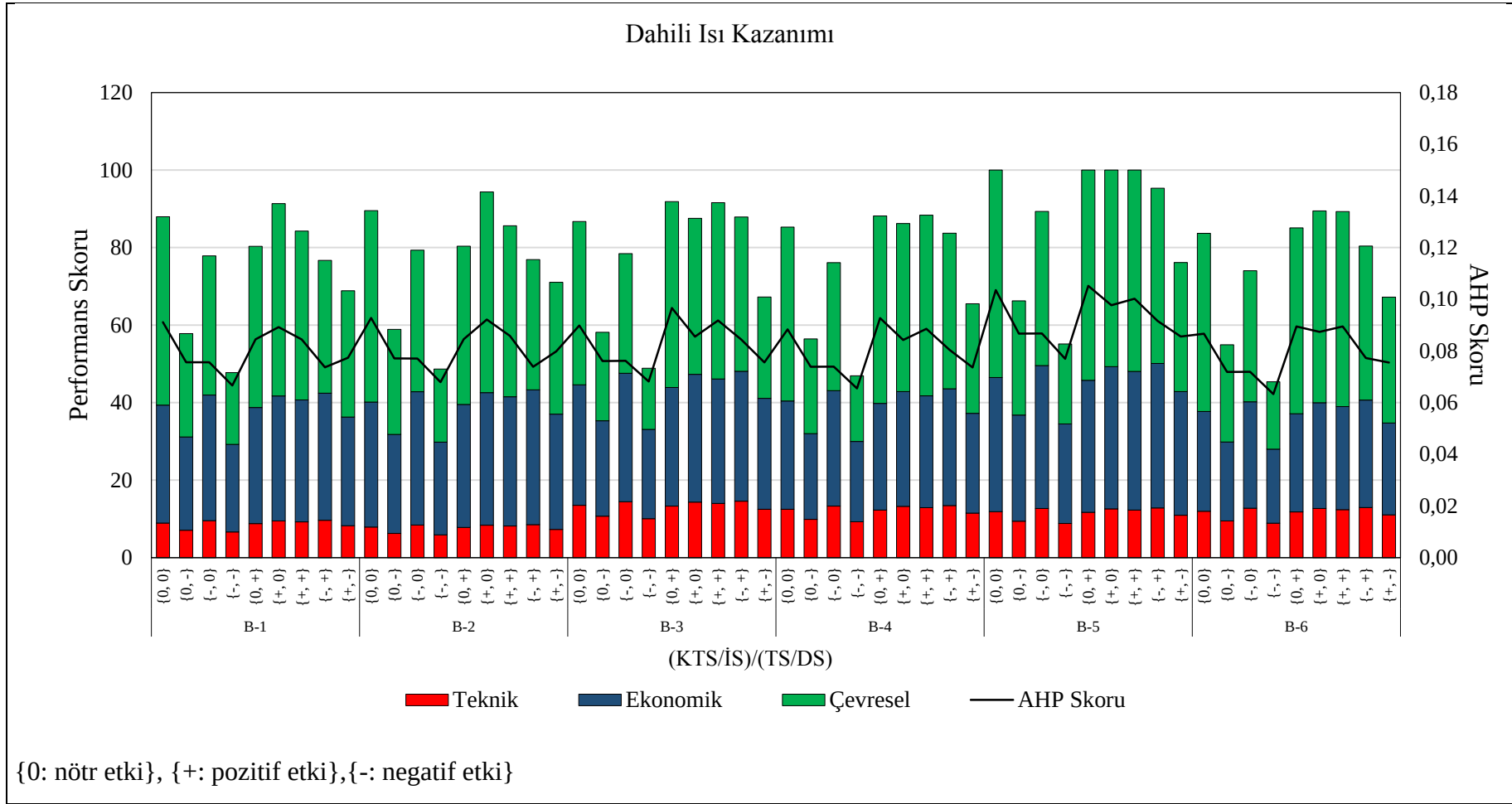
Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>A-1'dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %12 teknik, %36 ekonomik, %52 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>B-5>A-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %39 ekonomik, %45 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %28 ekonomik, %56 çevreseldir.



Şekil 4.32: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.



Şekil 4.33: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.34’de, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.35’de gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.12’de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.14’de verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %35 ekonomik, %52 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %25 ekonomik, %62 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar A-2>MD-MD>A-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %39 ekonomik, %46 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %23 ekonomik, %64 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %34 ekonomik, %54 çevreseldir.

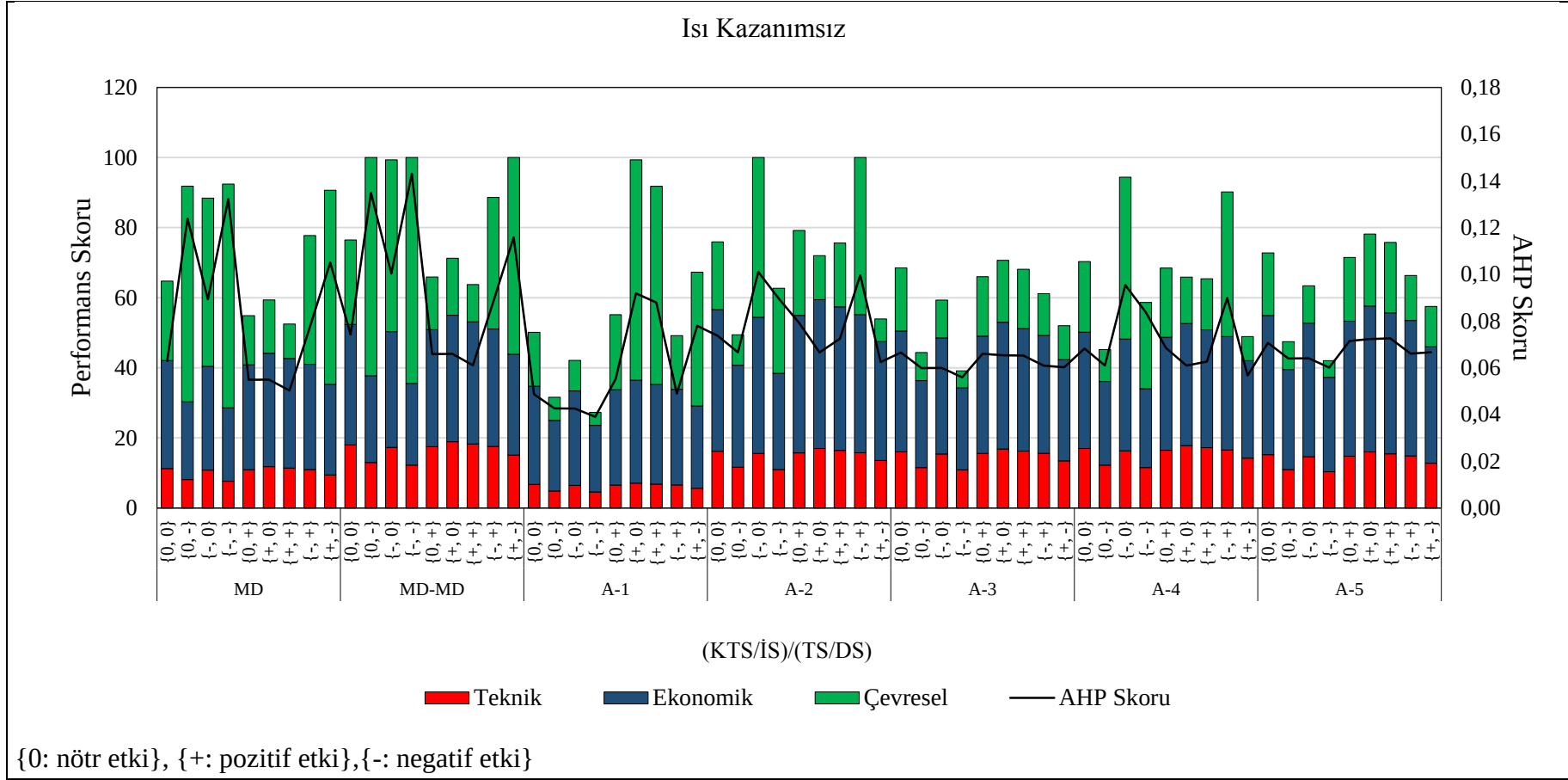
Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir

senaryolar B-5>A-1>B-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %13 teknik, %37 ekonomik, %50 çevreseldir.

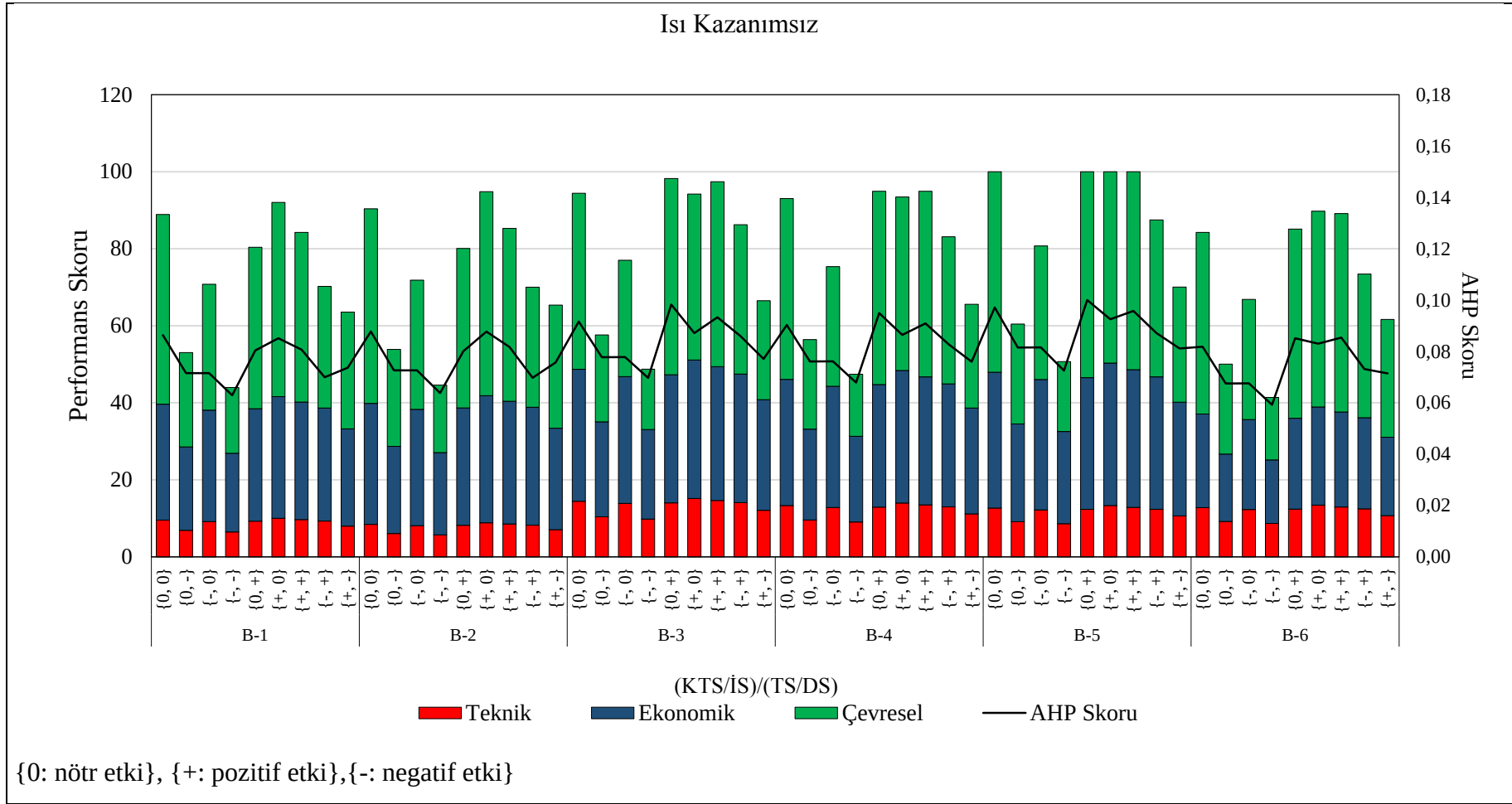
Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %13 teknik, %36 ekonomik, %51 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>A-4>MD-MD'dir. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %39 ekonomik, %45 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %29 ekonomik, %56 çevreseldir.



Şekil 4.34: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.



Şekil 4.35: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performansları.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.36’da, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.37’de gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.15’de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.17’de verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-6’dır. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %35 ekonomik, %52 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %25 ekonomik, %62 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar A-2>MD-MD>A-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %41 ekonomik, %44 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %23 ekonomik, %65 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-3>B-5>B-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-3) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %36 ekonomik, %50 çevreseldir.

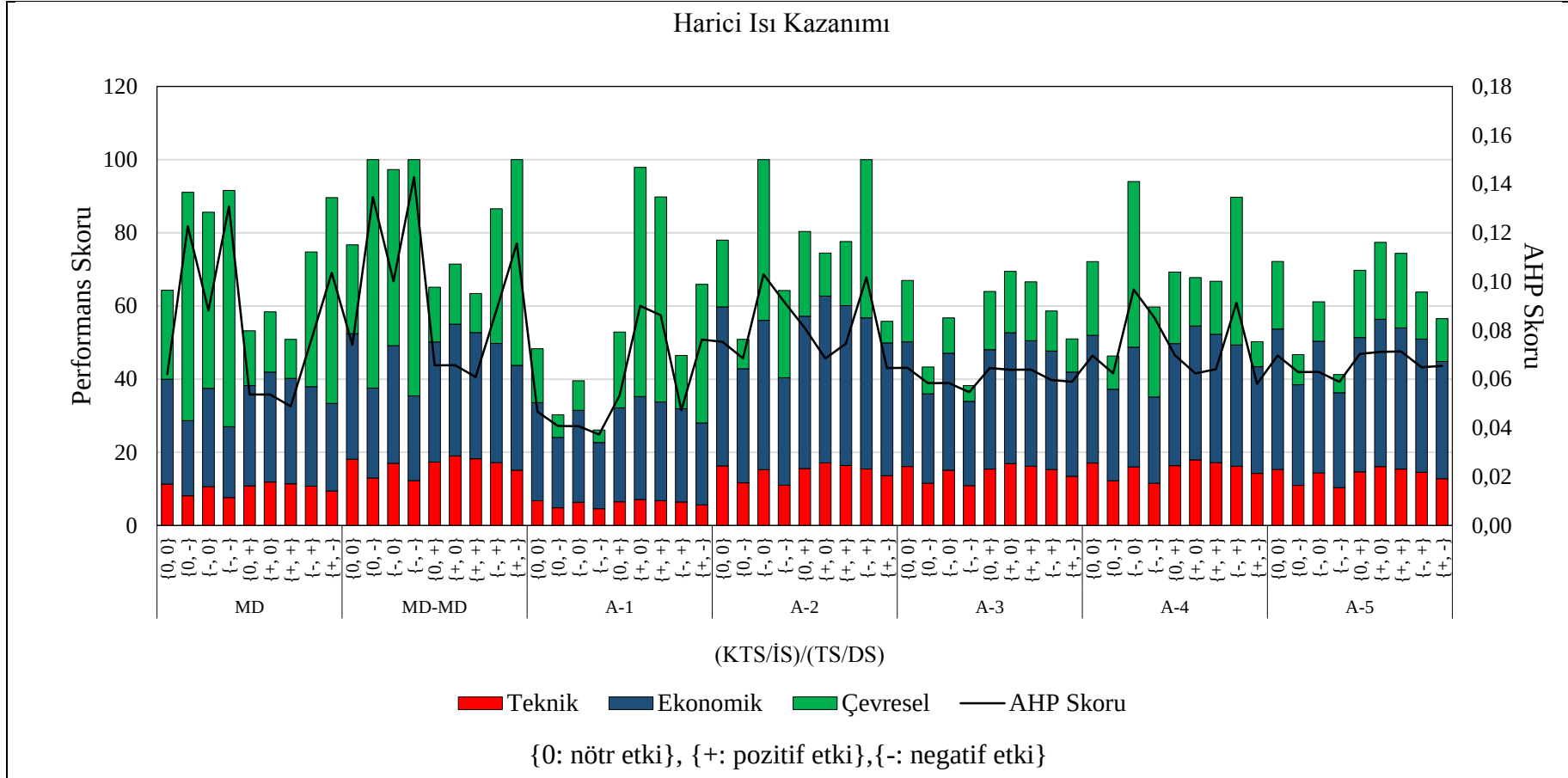
Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir

senaryolar B-5>A-1>B-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %13 teknik, %37 ekonomik, %50 çevreseldir.

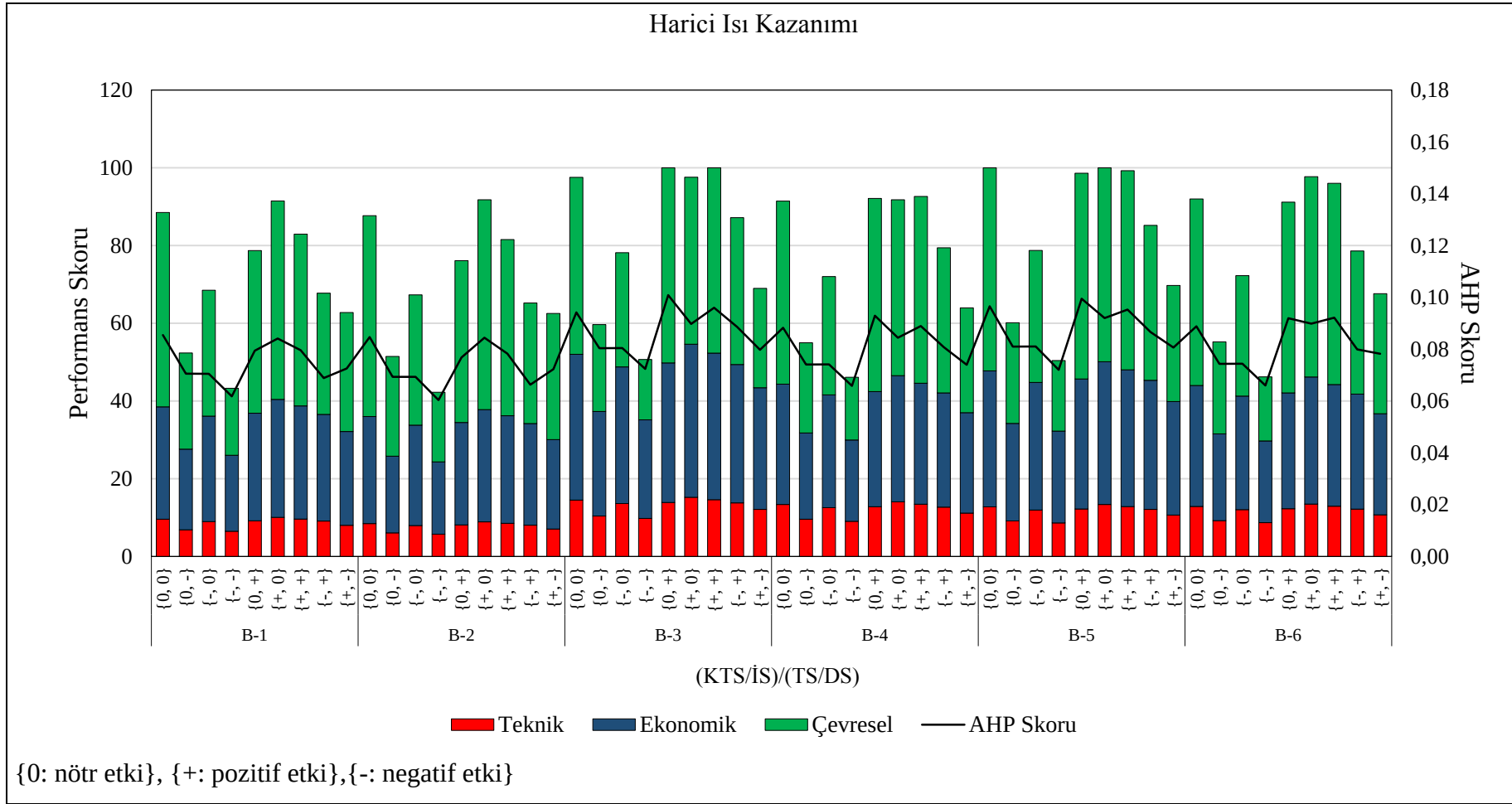
Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-3>B-5>B-6'dır. En tercih edilebilir senaryonun (B-3) için yaklaşık %15 teknik, %38 ekonomik, %48 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>A-4>B-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %41 ekonomik, %43 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %29 ekonomik, %56 çevreseldir.



Şekil 4.36: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.



Şekil 4.37: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları Şekil 4.38’de, konsantre akımsız senaryoların AHP performansları Şekil 4.39’da gösterilmiştir. AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.16’da, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.18’de verilmiştir.

Yeterli tatlı su kaynağı mevcut olduğunda ve tatlı suyun temini ile kaybının tatlı su ekosistemine ve deniz ekosistemine ne fayda ettiği ne de zarar verdiği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-2>B-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %38 ekonomik, %50 çevreseldir.

Tatlı su kaynağı miktarının sınırlı olduğu bu nedenle tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği ve kaybedilen tatlı suyun deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-5’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %24 ekonomik, %63 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemini olumsuz etkilerken tatlı su temini tatlı su ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>A-4>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %17 teknik, %32 ekonomik, %51 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>A-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %22 ekonomik, %65 çevreseldir.

Tatlı su kaybı deniz ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediğinde ve tatlı su temininin tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>B-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %36 ekonomik, %52 çevreseldir.

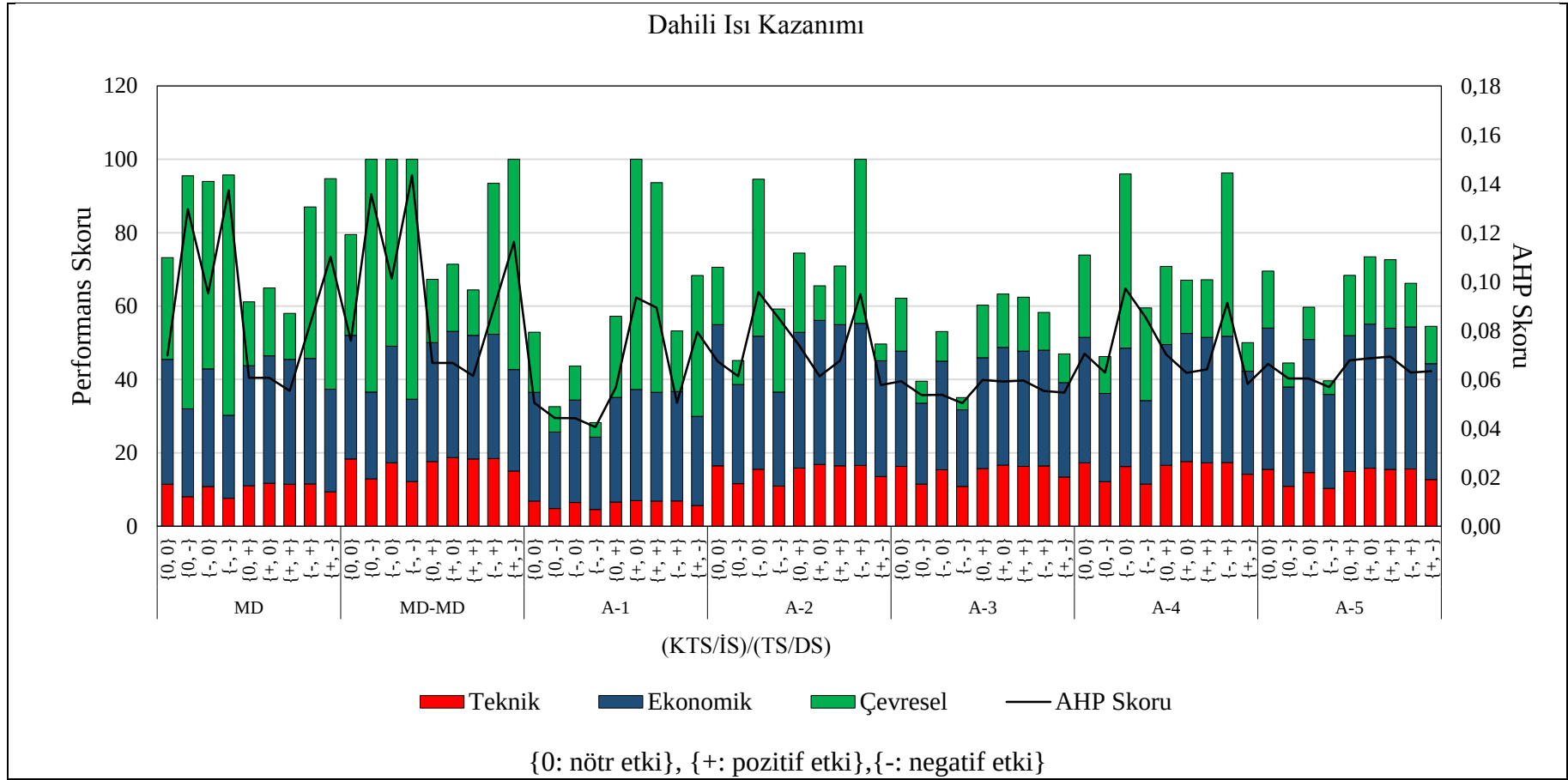
Tatlı su kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken tatlı su temini tatlı suyun ekosistemini ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir

senaryolar A-1>B-2>B-5'dir. En tercih edilebilir senaryonun (A-1) için yaklaşık %7 teknik, %30 ekonomik, %63 çevreseldir.

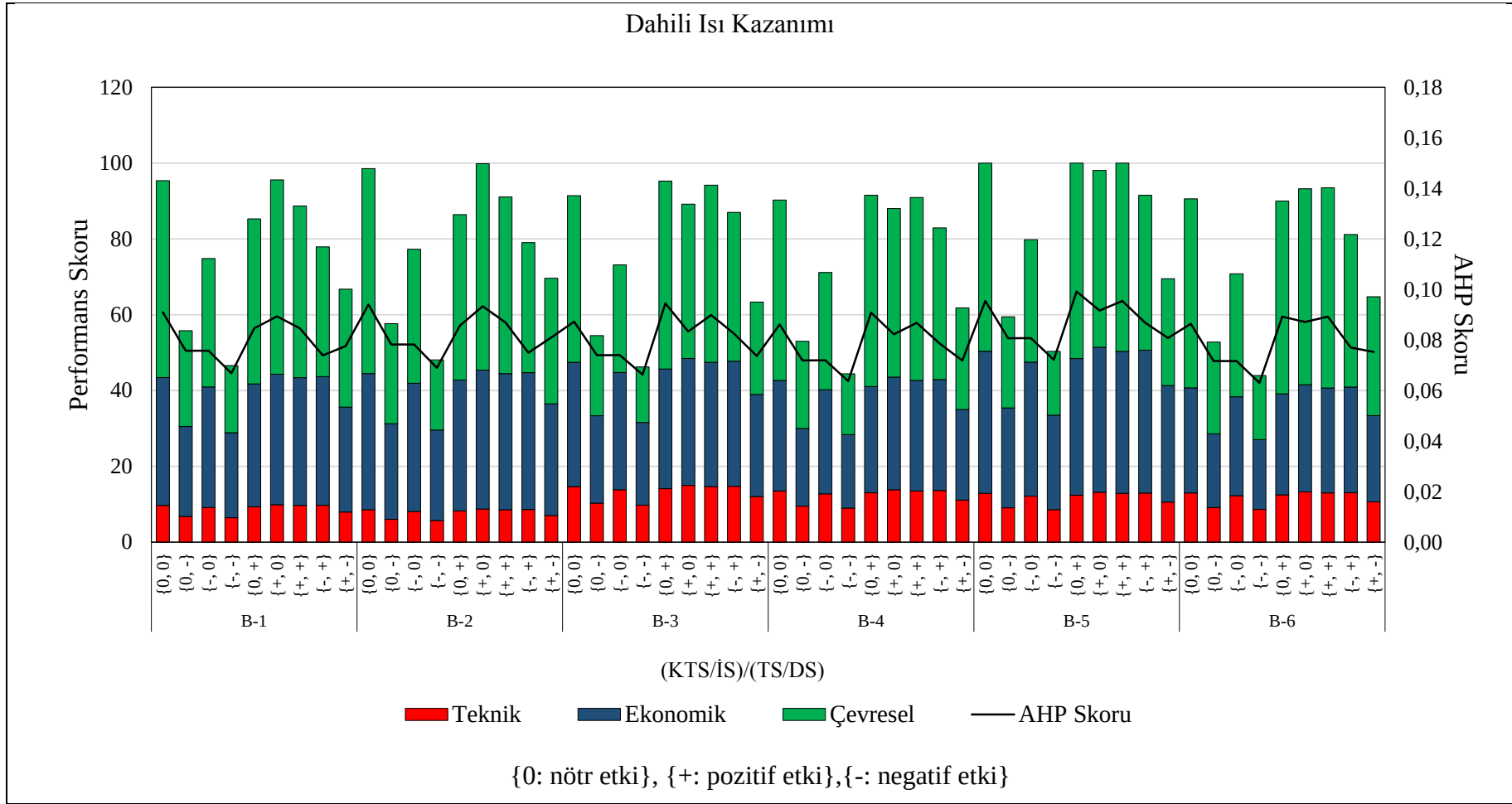
Tatlı su kaybının ve temininin deniz ekosistemine ve tatlı su ekosistemine olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar B-5>B-3>A-1'dir. En tercih edilebilir senaryonun (B-5) için yaklaşık %13 teknik, %38 ekonomik, %50 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumsuz etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar A-2>A-4>MD-MD'dür. En tercih edilebilir senaryonun (A-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %56 ekonomik, %31 çevreseldir.

Tatlı suyun kaybı deniz ekosistemine olumlu etki yaparken temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-MD>MD>B-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-MD) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %28 ekonomik, %57 çevreseldir.



Şekil 4.38: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.



Şekil 4.39: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanım uygulamalarının AHP performansları.

Hem doğalgaz hem atılısı ile ısıtmada farklı ısı kazanım uygulamalarına göre en tercih edilebilir senaryolar Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11: Tatlı su beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar.

Çevresel Etki	(KTS/İS)	(TS/DS)	Doğalgaz			Atılısı		
			İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK
Nötr	0	0	B-3	B-5	B-5	B-5	B-5	B-5
Olumlu	+	+	B-3	B-5	B-5	B-5	B-3	B-5
	0	+	B-3	B-5	B-5	B-5	B-3	B-5
	+	0	B-6	B-2	B-5	B-5	B-5	A-1
Olumsuz	-	-	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD
	0	-	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD
	-	0	MD-MD	MD-MD	A-2	A-2	A-2	MD-MD
Olumlu ve Olumsuz	+	-	MD-MD	A-2	MD-MD	MD-MD	MD-MD	MD-MD
	-	+	A-2	MD-MD	A-2	A-2	A-2	A-2

4.4.1.1. Hassasiyet Analizi

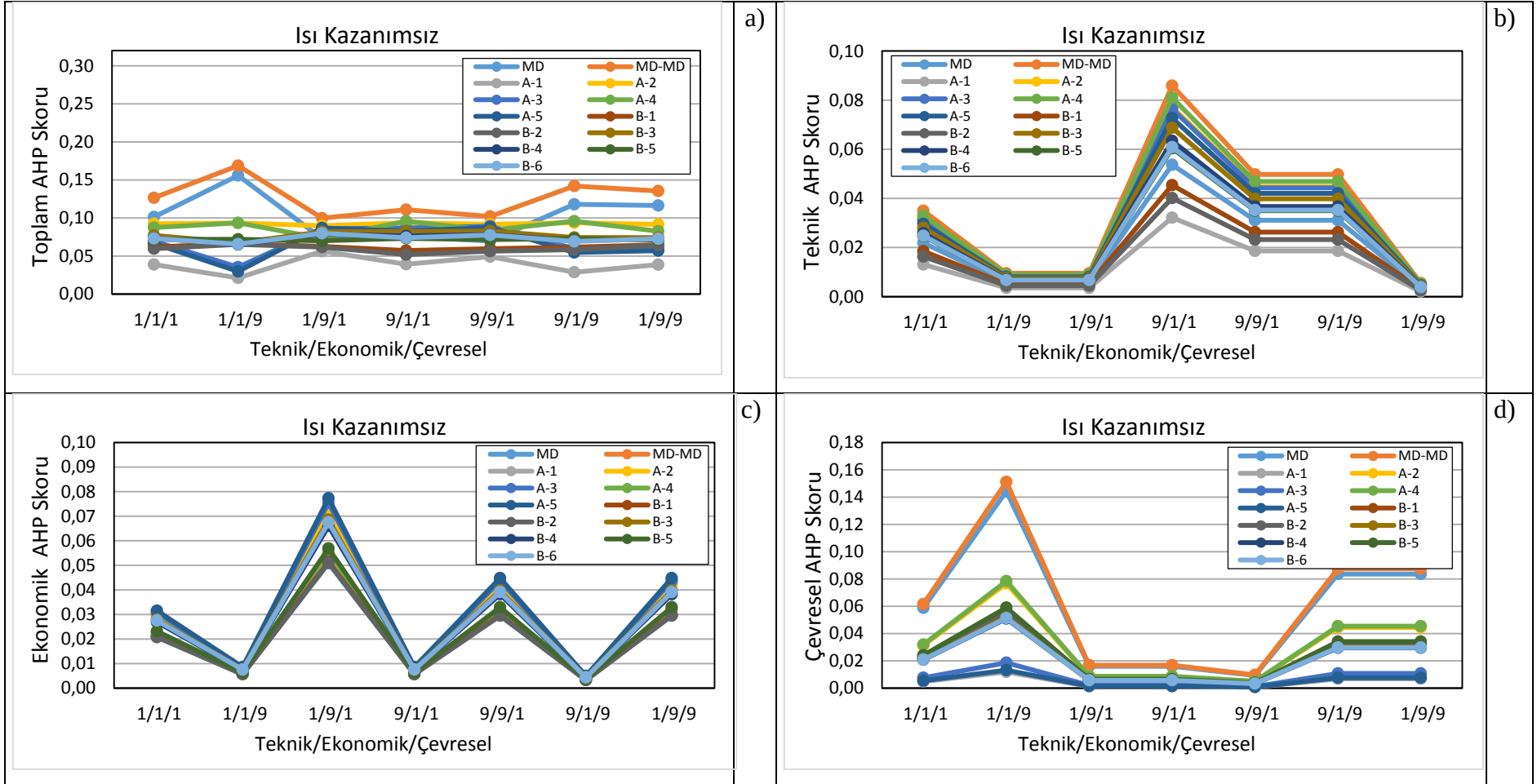
Analitik hiyerarşi prosesi ile bir problem üzerinde karar verirken alternatiflerin tercih edilebilirlikleri kriterlerin önem derecelerine bağlıdır. Kriterlerin önem derecelerindeki küçük değişiklikler sıralamada önemli değişikliklere yol açıyorsa ikili karşılaştırma matrisleri tekrar gözden geçirilerek objektif düzeltmeler yapılmalıdır [Bottero et al., 2011], [Aydiner vd., 2016]. Bu nedenle, kriterlerin önem derecelendirmelerindeki değişimlerin sistemlerin AHP skorlarının ve tercih

edilebilirliklerin değişimine olan etkisi, hassasiyet analizi ile ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır.

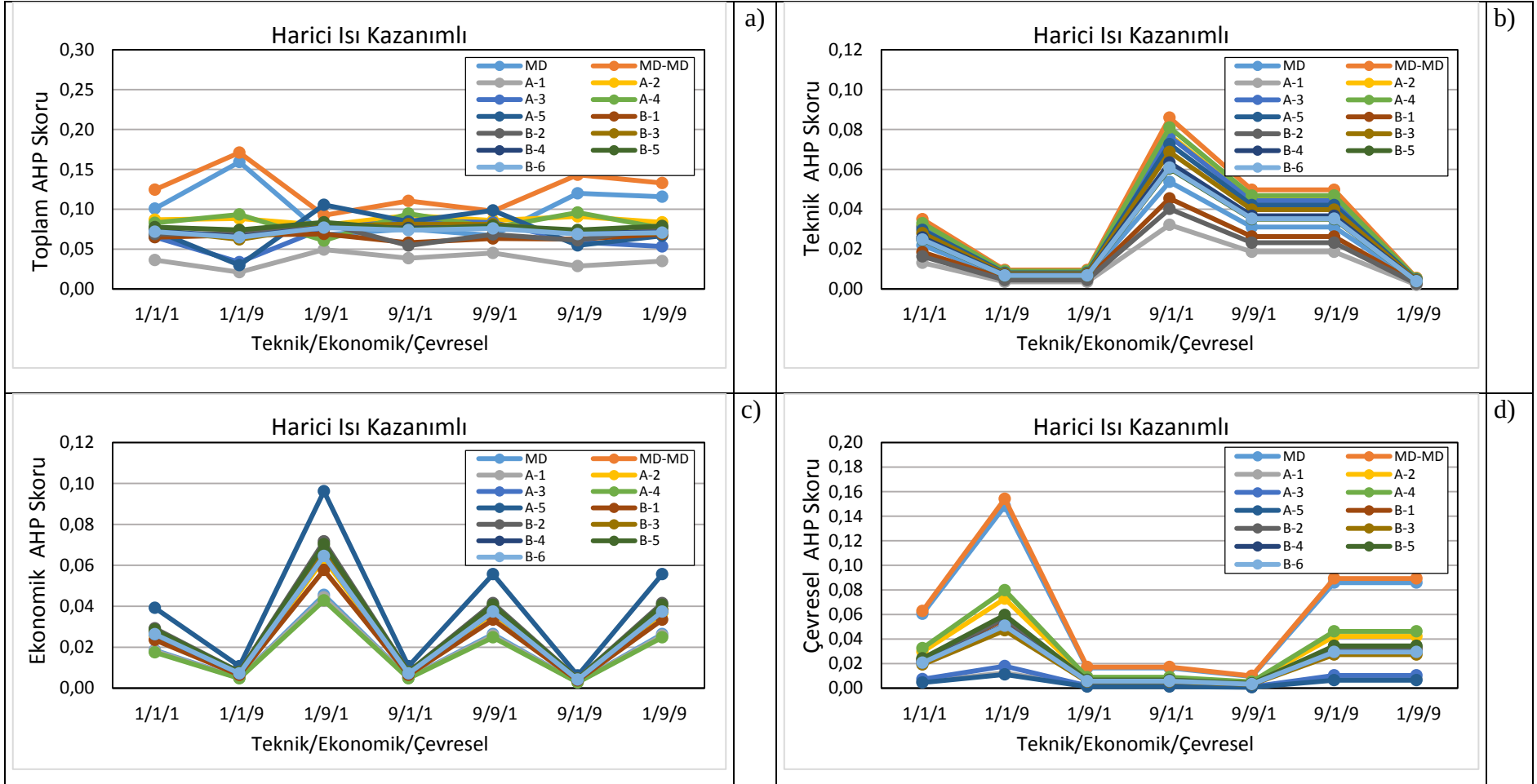
Hassasiyet analizinde tatlı suyun kaybının deniz ekosistemine olumsuz etki yaptığı, tatlı su miktarının sınırlı olduğu ve temin edilen tatlı suyun tatlı su ekosistemini olumsuz etkilediği düşünölmüştür. Teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerin önem derecesi teker, teker max değeri 9'a (mutlak önemli) çıkarılarak tercih önceliğindeki değişim araştırılmıştır.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.40'da, harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.41'de, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.42'de gösterilmiştir.

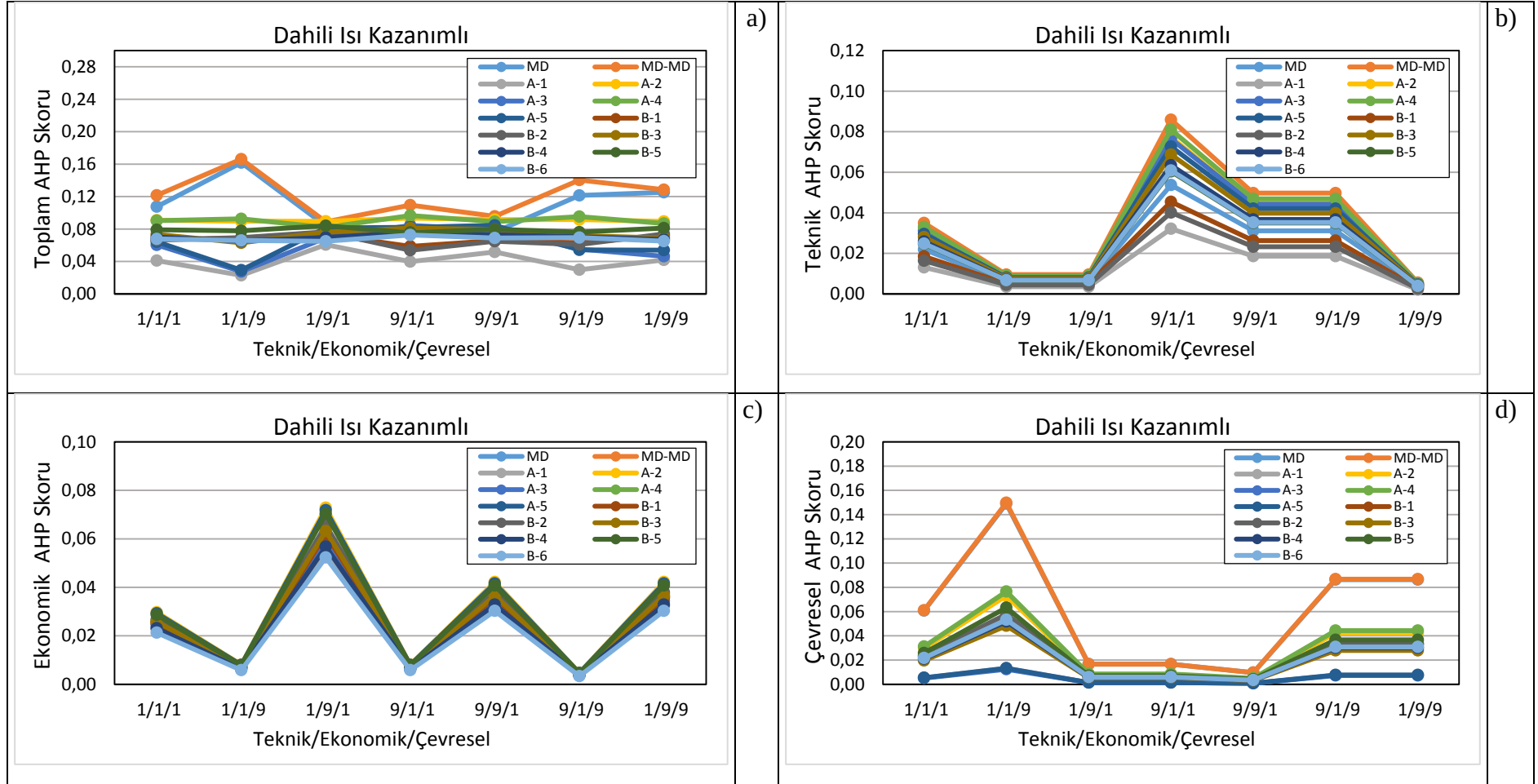
Buna göre doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında ve harici ısı kazanımı uygulandığında kriterlerin önem derecelerindeki değişimle en tercih edilebilir alternatifin (MD-MD) değişmediği görölmüştür. Dahili ısı kazanımı uygulandığında ise en tercih edilebilir alternatif (MD-MD) çoğunlukla değişmemiştir. Yalnızca ekonomik kriter mutlak öneme sahip olduğunda (teknik/ekonomik/çevre; 1/9/1) en tercih edilebilir alternatif A-2 olmuştur.



Şekil 4.40: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İÖ/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.41: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.

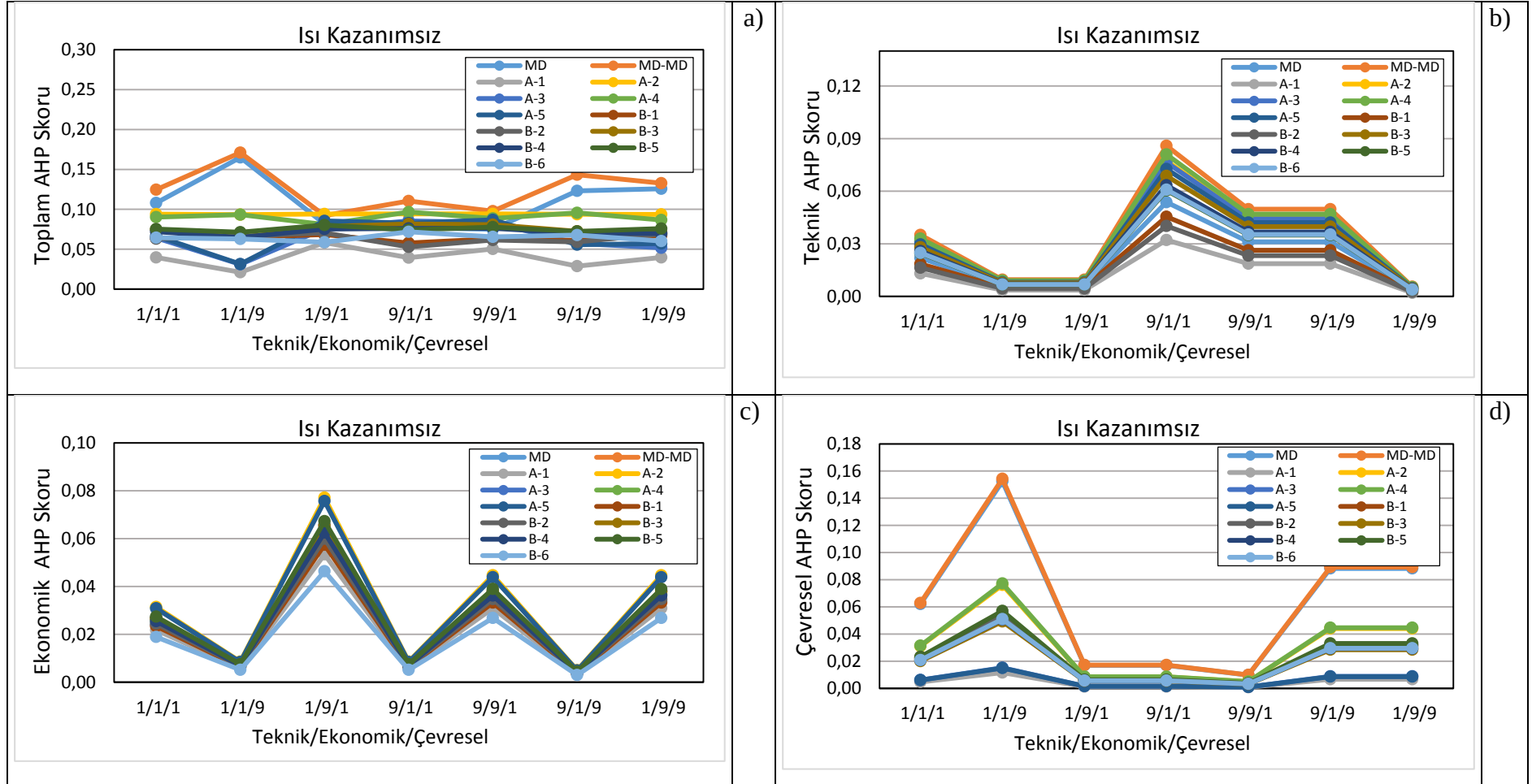


Şekil 4.42: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.

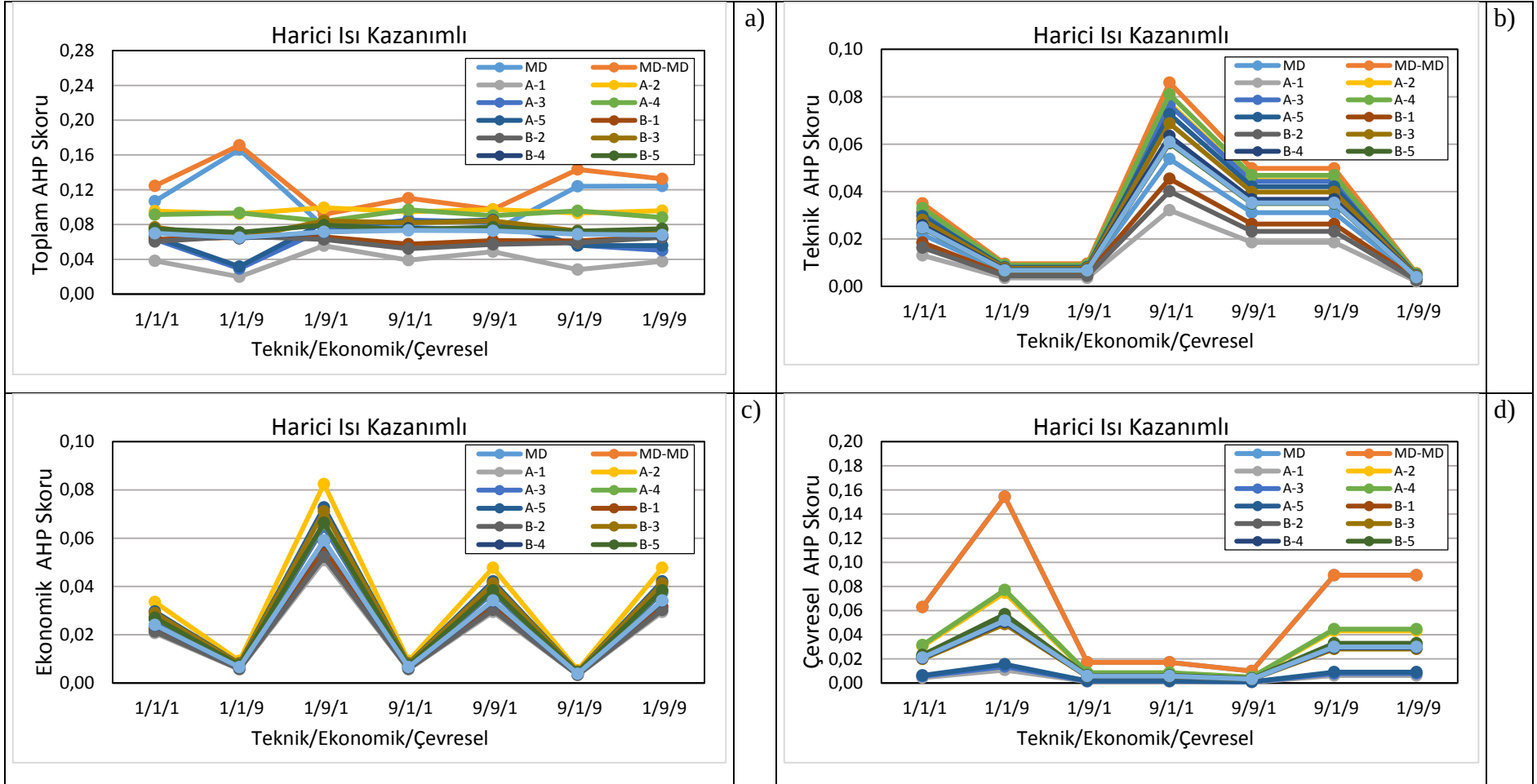
Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.43'te, harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.44'te, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.45'de gösterilmiştir.

Buna göre atılısı ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında ve harici ısı kazanımı uygulandığında kriterlerin önem derecelerindeki değişimle en tercih edilebilir alternatif çoğunlukla değişmeyerek MD-MD olurken, ekonomik kriter teknik ve çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda en tercih edilebilir alternatif A-2 olmuştur. Dahili ısı kazanımı uygulandığında ise en tercih edilebilir alternatif önem derecelerindeki değişimle değişmeyerek MD-MD olmuştur.

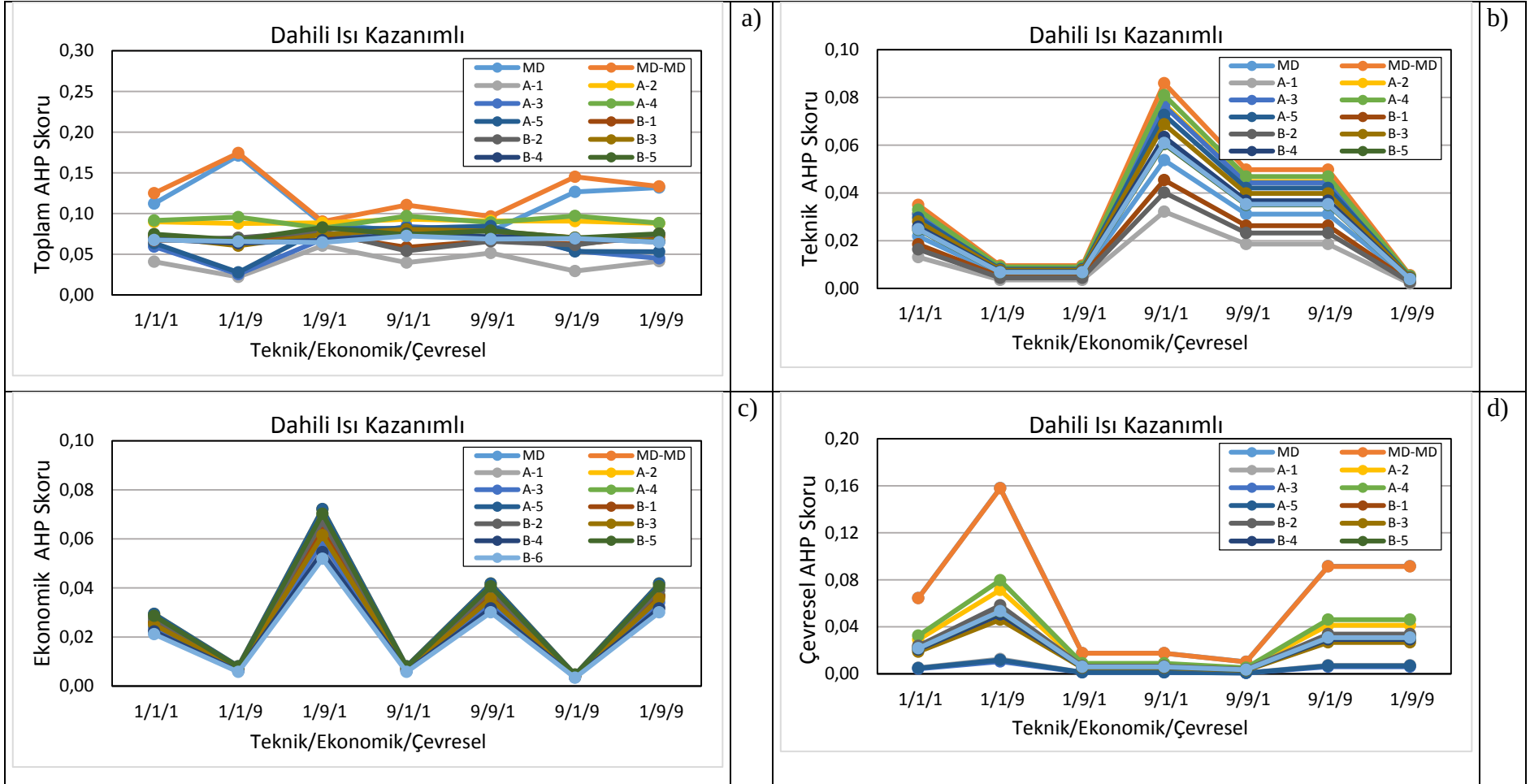
Hem doğalgaz ile ısıtmada hemde atıl ısı ile ısıtma alternatifinde farklı ısı kazanım uygulamalarına göre MD ve İO/MD desalinasyon tesislerinin tercih edilebilirlik sıralaması teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerin önem ağırlıkları arttırıldığında çoğunlukla değişmediği gözlenmiştir.



Şekil 4.43: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.44: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.45: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.

4.4.2. MD ve II. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performansları Şekil 4.46’da, AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.19, A1.20, A1.21’de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.22, A1.23, A1.24’te verilmiştir.

Isı kazanımı yapılmadığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>C-2>MD-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %46 ekonomik, %41 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %35 ekonomik, %56 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %52 ekonomik, %34 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar C-4>C-2>C-3’dür. En tercih edilebilir senaryonun (C-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %29 ekonomik, %60 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar C-2>C-4>C-3’dür. En tercih edilebilir senaryonun (C-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %45 ekonomik, %42 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik,

ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %39 ekonomik, %50 çevreseldir.

Harici ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %51 ekonomik, %37 çevreseldir.

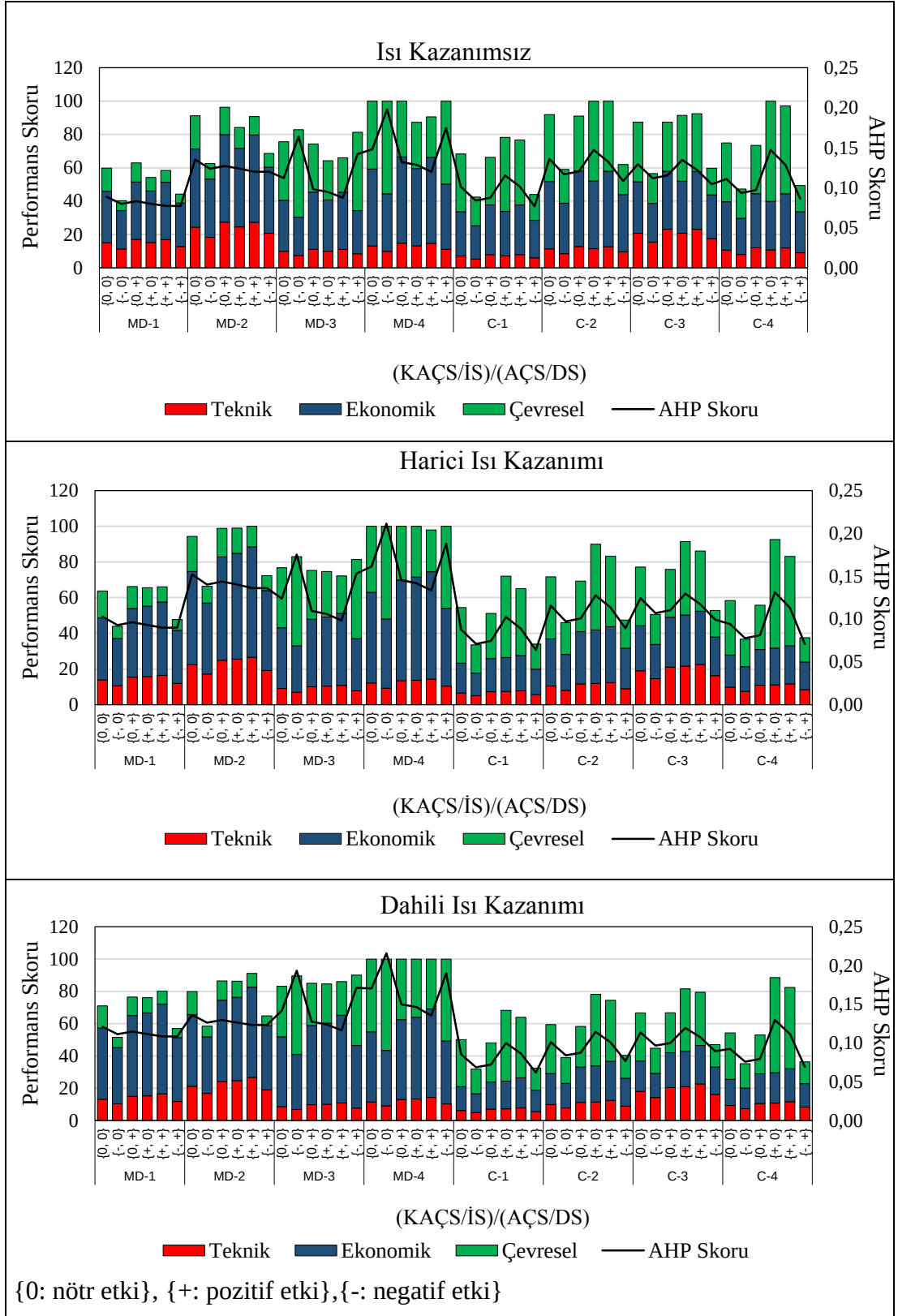
Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %9 teknik, %39 ekonomik, %52 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %56 ekonomik, %30 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %58 ekonomik, %29 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %62 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %44 ekonomik, %56 çevreseldir.



Şekil 4.46: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.

Dahili ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %44 ekonomik, %45 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %9 teknik, %34 ekonomik, %57 çevreseldir.

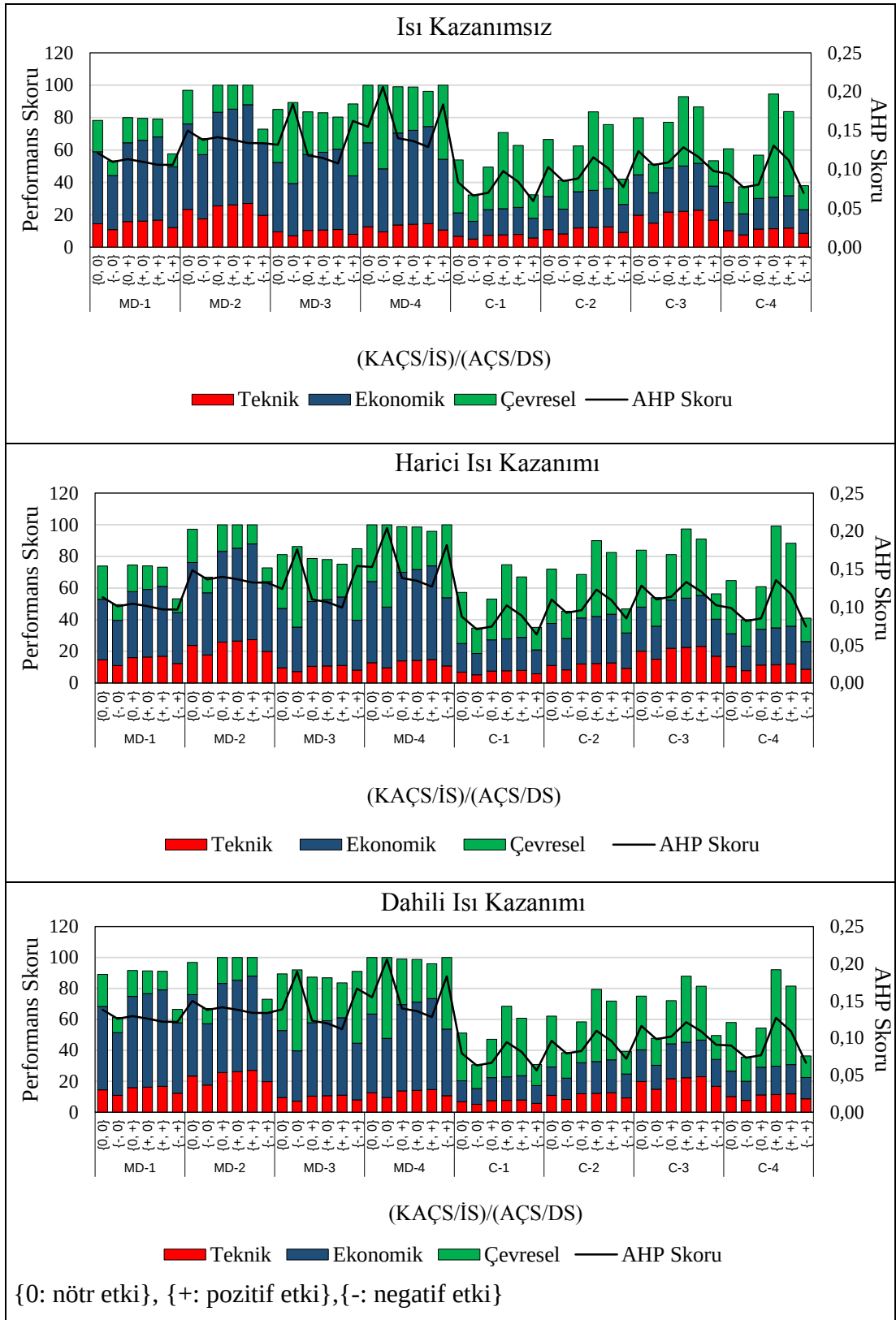
Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %50 ekonomik, %38 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>C-4>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %51 ekonomik, %36 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %55 ekonomik, %31 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %39 ekonomik, %51 çevreseldir.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performansları Şekil 4.47'de, AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.26, A1.27, A1.28'de, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.25, A1.29, A1.30'da verilmiştir.



Şekil 4.47: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.

Isı kazanımı uygulanmadığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %52 ekonomik, %36 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %39 ekonomik, %52 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-3'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %26 teknik, %58 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %26 teknik, %59 ekonomik, %15 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %61 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %44 ekonomik, %46 çevreseldir.

Harici ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %51 ekonomik, %36 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %38 ekonomik, %52 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %26 teknik, %57 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>C-4>MD-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %59 ekonomik, %14 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %61 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %43 ekonomik, %46 çevreseldir.

Dahili ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %51 ekonomik, %37 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %38 ekonomik, %52 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %26 teknik, %58 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %26 teknik, %59 ekonomik, %15 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %61 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %43 ekonomik, %46 çevreseldir.

Hem doğalgaz hem atılısı ile ısıtmada farklı ısı kazanım uygulamalarına göre en tercih edilebilir senaryolar Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: II. arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar.

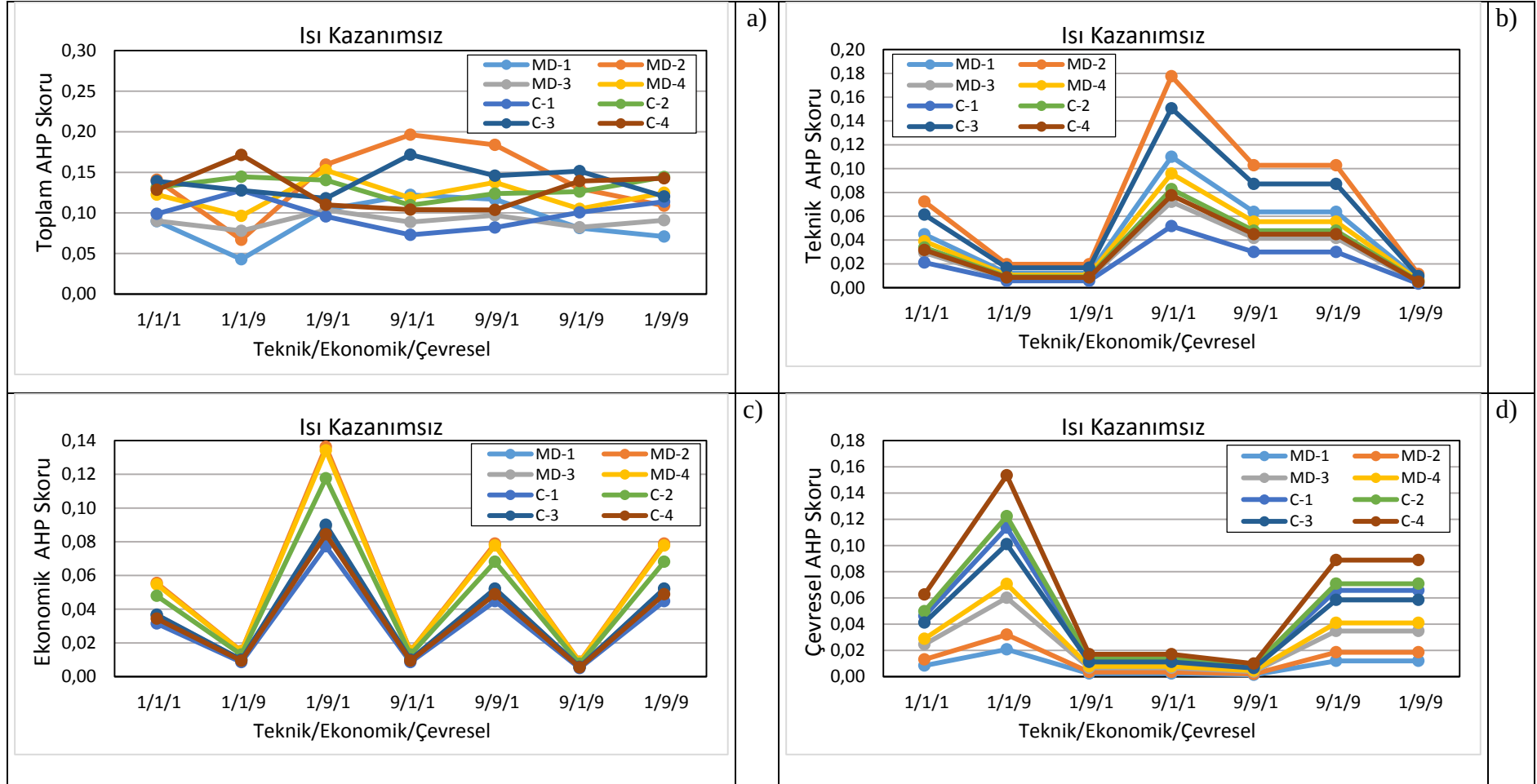
Çevresel Etki	(KAÇS/İS)	(AÇS/DS)	Doğalgaz			Atılısı		
			IK	HIK	DIK	IK	HIK	DIK
Nötr	0	0	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4
Olumlu	+	+	C-2	MD-2	MD-4	MD-2	MD-2	MD-2
	0	+	MD-4	MD-4	MD-4	MD-2	MD-2	MD-2
	+	0	C-4	MD-4	MD-4	MD-2	MD-2	MD-2
Olumsuz	-	0	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4
Olumsuz ve Olumlu	-	+	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4

4.4.2.1. Hassasiyet Analizi

Hassasiyet analizinde arıtılmış atıksudan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye olumlu etkilediği düşünülmüştür. Teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerin önem derecesi teker, teker max değer 9'a (mutlak önemli) çıkarılarak tercih önceliğindeki değişim araştırılmıştır.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

Şekile göre doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-3, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise C-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.



Şekil 4.48: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.

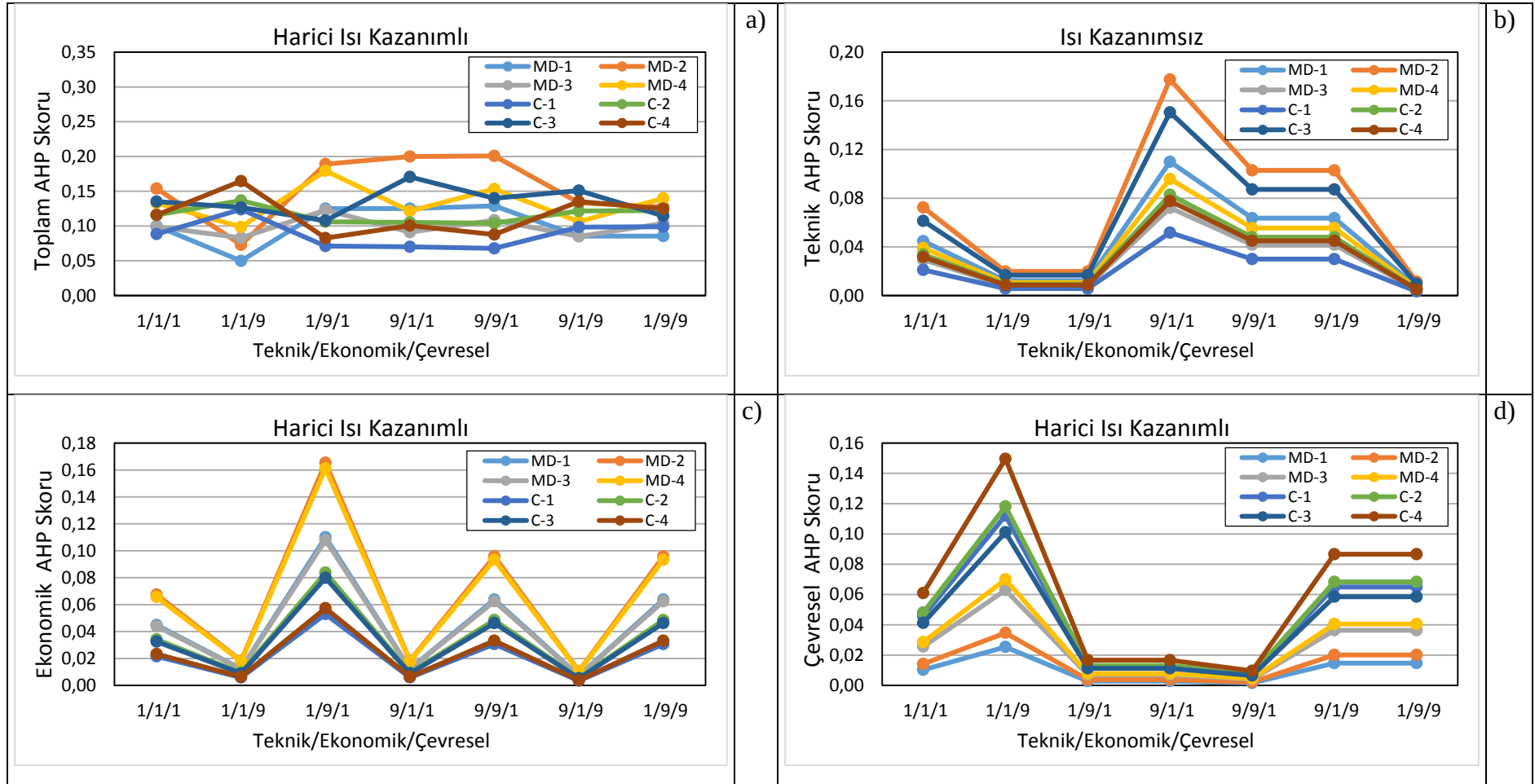
Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.49'da, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.50'de gösterilmiştir.

Isıtma seçeneğinde harici ısı ve dahili ısı kazanımı uygulandığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-3, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise MD-4 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.

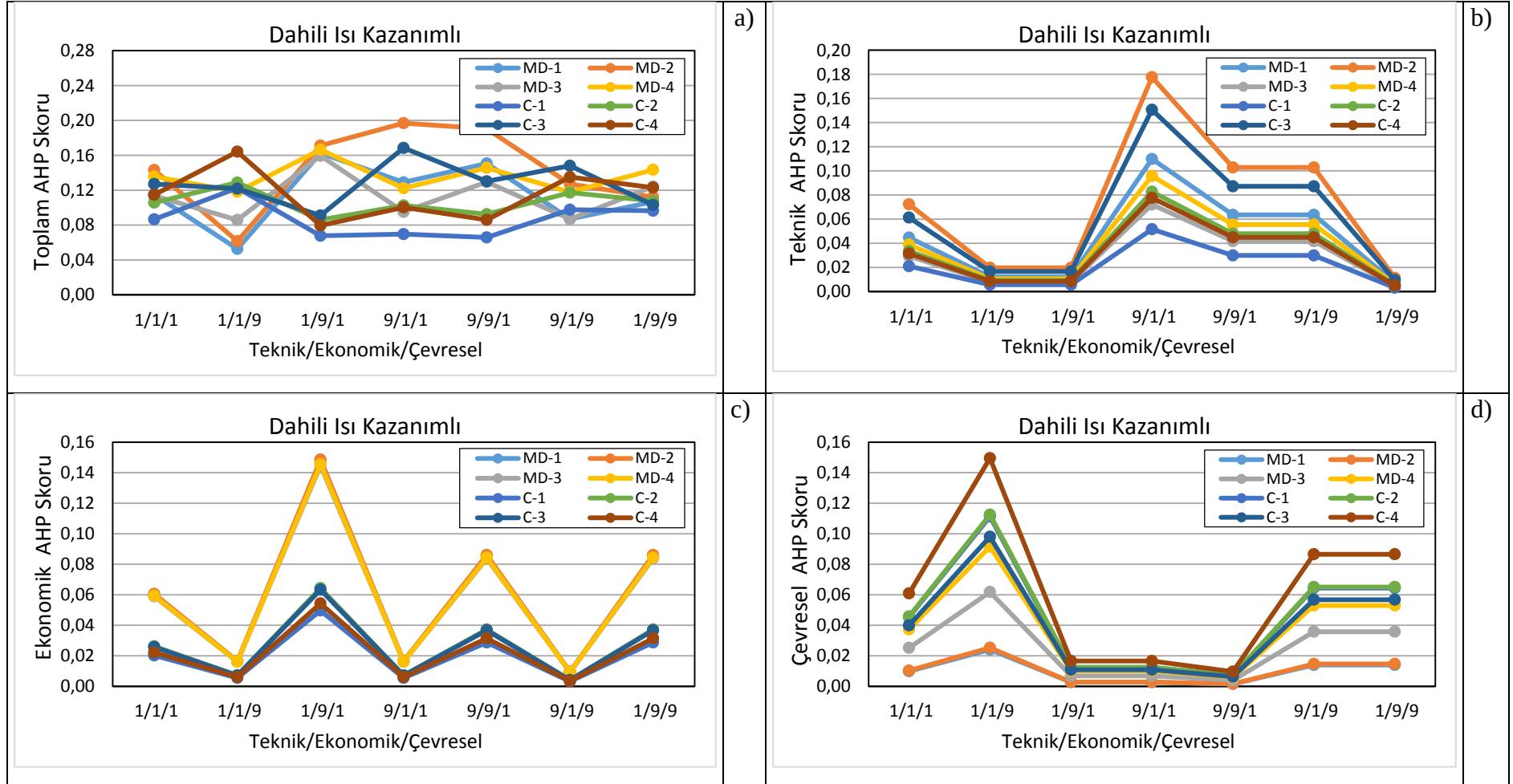
Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.51'de, harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.52'de, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.53'de gösterilmiştir.

Buna göre atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında, harici ısı kazanımı ve dahili ısı kazanımı uygulandığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.

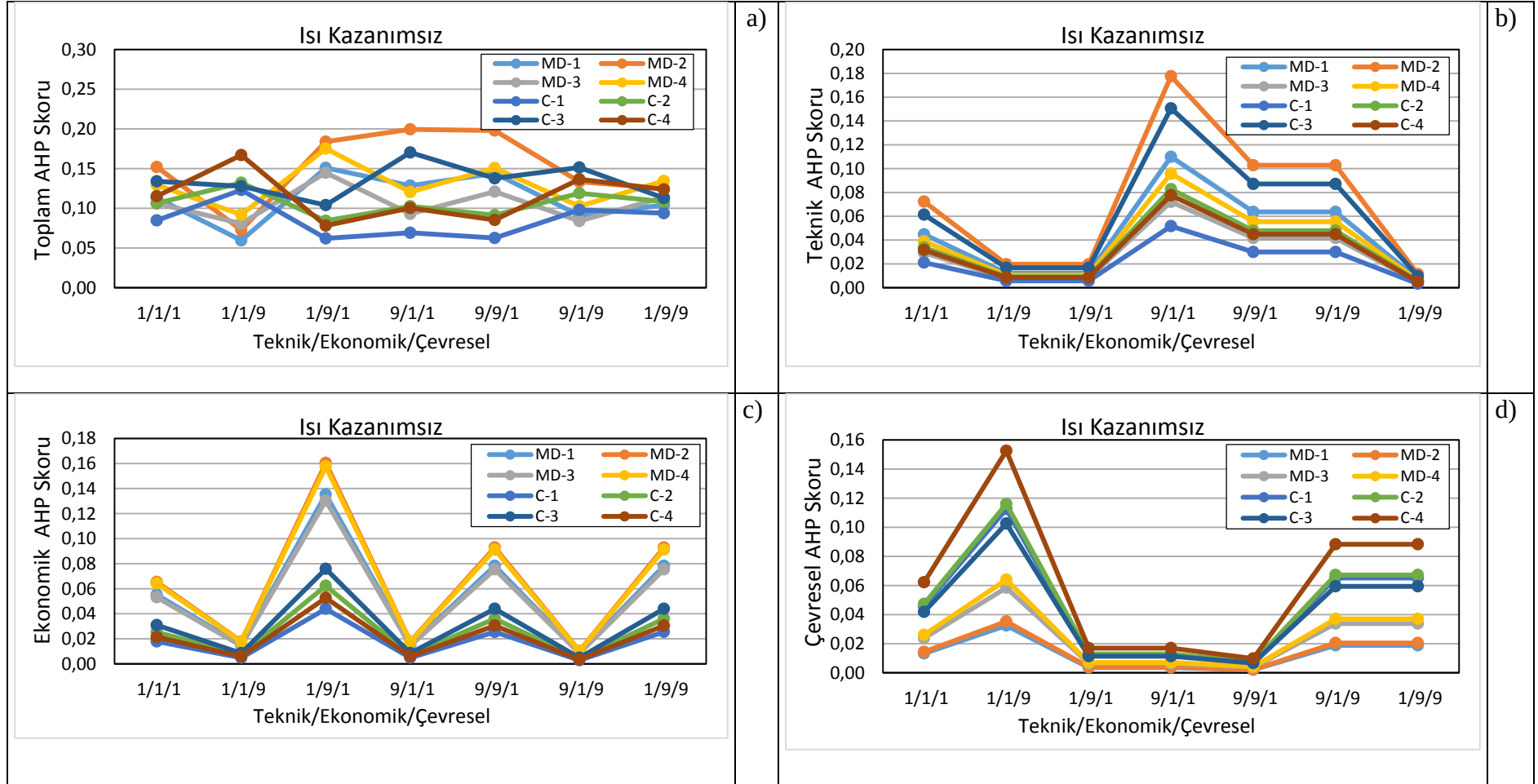
Atıl ısı ile ısıtmada ısı kazanımı uygulanmadığında, harici ve dahili ısı kazanımı uygulandığında teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-3, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise MD-4 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.



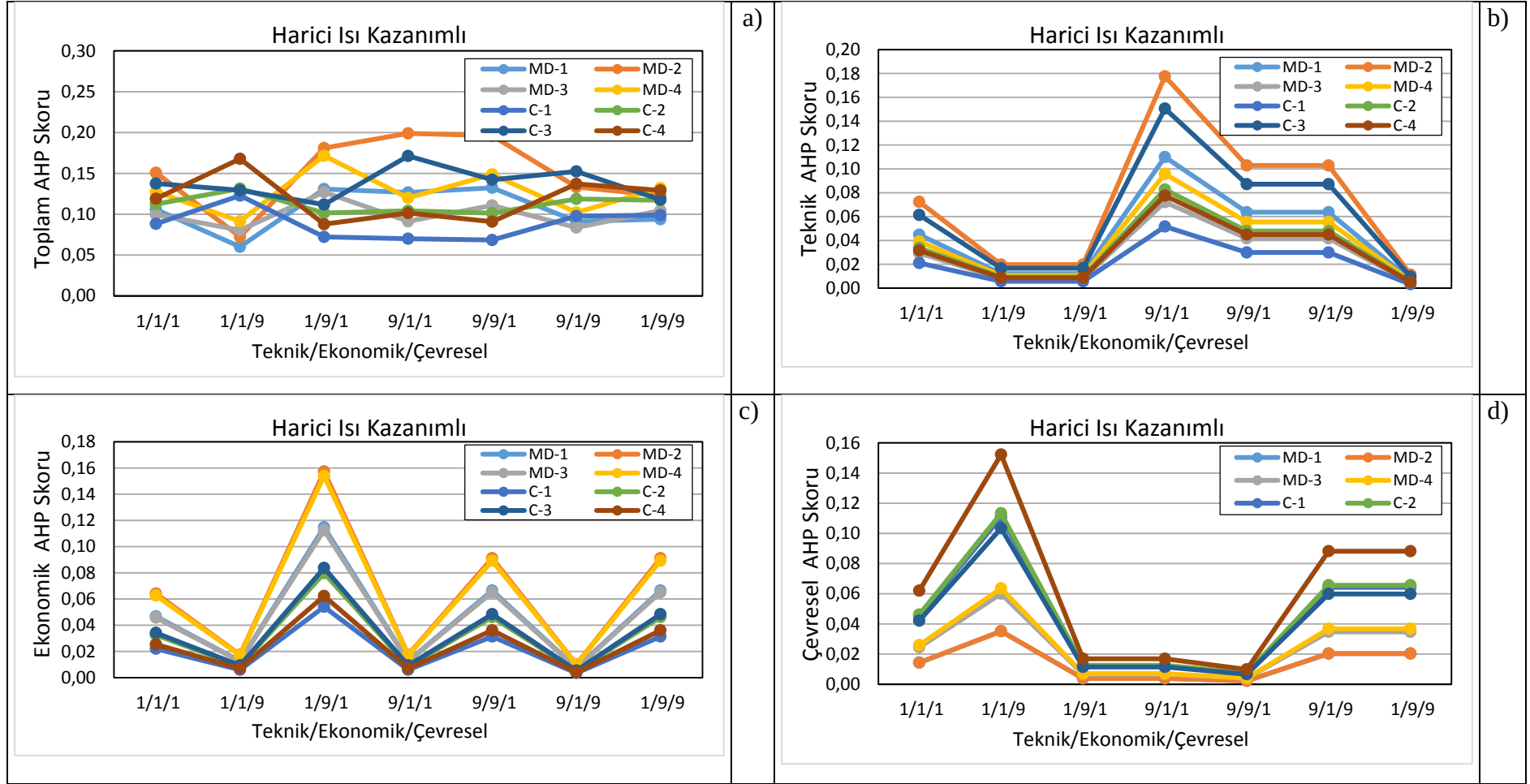
Şekil 4.49: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.



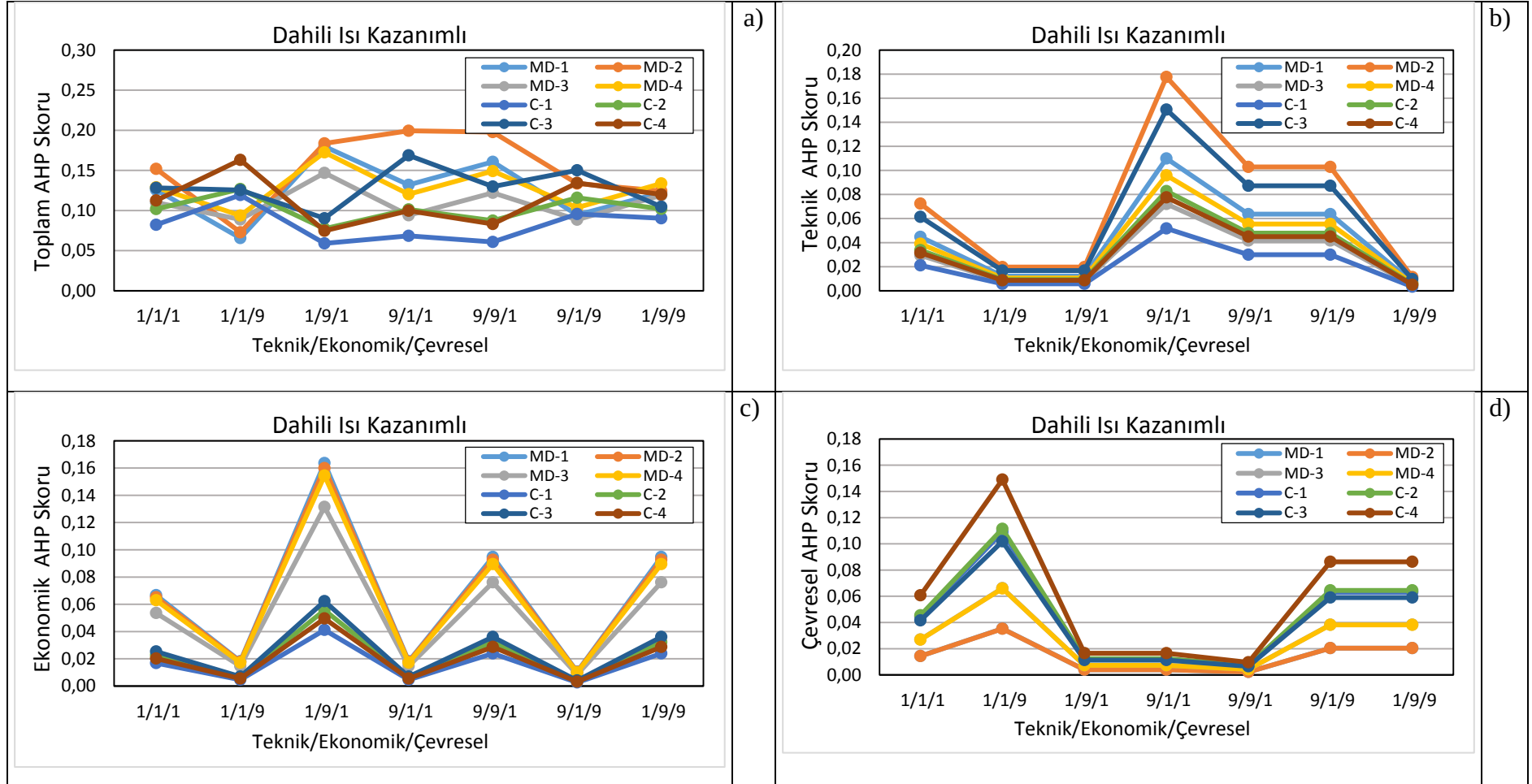
Şekil 4.50: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.51: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.52: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.53: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.

4.4.3. MD ve III. Arıtma Çıkış Suyu Beslemeli İO/MD Desalinasyon Tesislerinin AHP Analizleri

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performansları Şekil 4.54'te, AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.31, A1.32, A1.33'te, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.34, A1.35, A1.36'da verilmiştir.

Isı kazanımı yapılmadığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>C-2>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %45 ekonomik, %41 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %34 ekonomik, %56 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %16 teknik, %51 ekonomik, %34 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar C-2>C-4>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (C-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %41 ekonomik, %47 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar C-2>C-4>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (C-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %46 ekonomik, %41 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik,

ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %38 ekonomik, %50 çevreseldir.

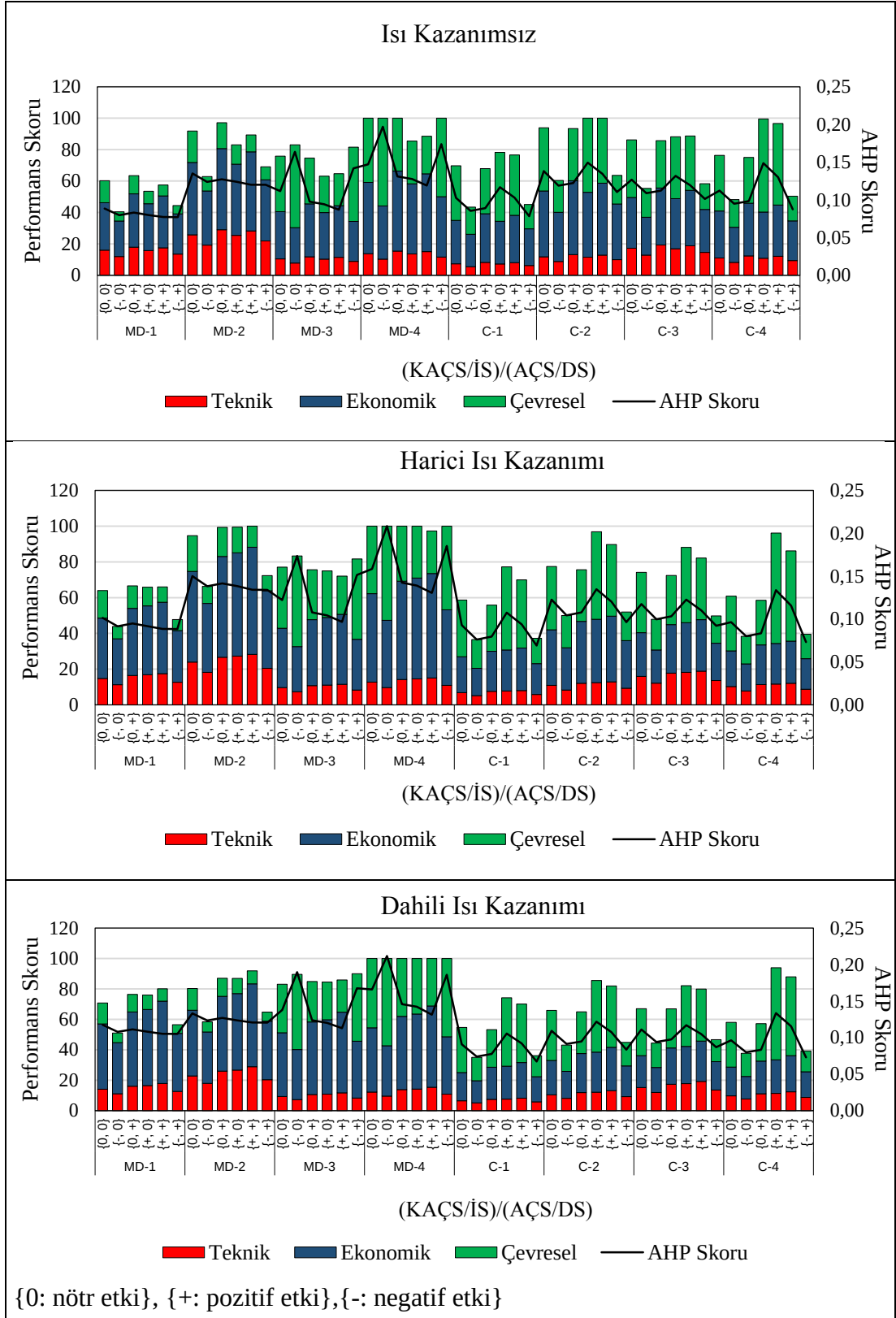
Harici ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %50 ekonomik, %38 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %38 ekonomik, %53 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %55 ekonomik, %31 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %56 ekonomik, %30 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %28 teknik, %60 ekonomik, %12 çevreseldir.



Şekil 4.54: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %42 ekonomik, %47 çevreseldir.

Dahili ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %42 ekonomik, %46 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %33 ekonomik, %57 çevreseldir.

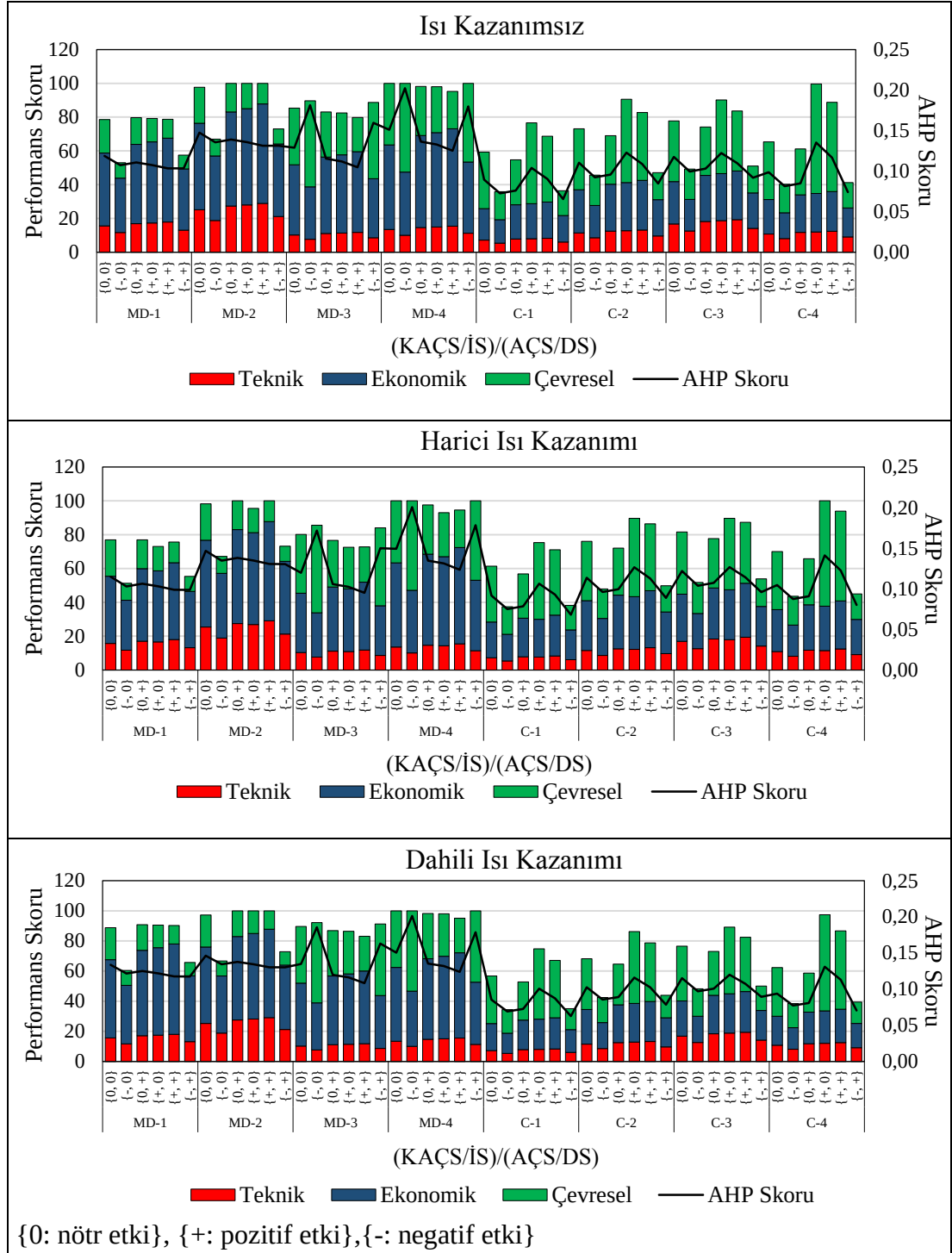
Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %48 ekonomik, %38 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>C-4>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %49 ekonomik, %37 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %15 teknik, %53 ekonomik, %31 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %38 ekonomik, %52 çevreseldir.

Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performansları Şekil 4.55'te, AHP skor değerleri Ek-A Tablo A1.38, A1.39, A1.40'ta, skor değerlerinin % dağılımı Ek-A Tablo A1.37, A1.41, A1.42'de verilmiştir.



Şekil 4.55: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının AHP performans skorları.

Isı kazanımı uygulanmadığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %13 teknik, %50 ekonomik, %37 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %37 ekonomik, %53 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %27 teknik, %56 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>C-4>MD-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %28 teknik, %57 ekonomik, %15 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %29 teknik, %59 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %42 ekonomik, %47 çevreseldir.

Harici ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %50 ekonomik, %37 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %37 ekonomik, %53 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-3'tür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %28 teknik, %56 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar C-4>MD-2>MD-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (C-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %12 teknik, %26 ekonomik, %62 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-4'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %29 teknik, %59 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %42 ekonomik, %47 çevreseldir.

Dahili ısı kazanımı uygulandığında arıtılmış atıksulardan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-2>MD-3'dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %14 teknik, %49 ekonomik, %38 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreye ne olumlu ne de olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2'dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %10 teknik, %37 ekonomik, %53 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreye ne olumlu nede olumsuz etkisi olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %28 teknik, %55 ekonomik, %17 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı çevreyi olumlu etki ederken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi ne olumlu nede olumsuz etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>C-4’dür. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %28 teknik, %57 ekonomik, %15 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı ve arıtma çıkış suyu temini çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-2>MD-4>MD-1’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-2) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %29 teknik, %59 ekonomik, %12 çevreseldir.

Arıtılmış atıksudan su kazanımı halkın tepkisine neden olurken, arıtma çıkış suyu temininin çevreyi olumlu etkilediği düşünüldüğünde en tercih edilebilir senaryolar MD-4>MD-3>MD-2’dir. En tercih edilebilir senaryonun (MD-4) teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere göre % dağılımı yaklaşık %11 teknik, %41 ekonomik, %47 çevreseldir.

Hem doğalgaz hem atılısı ile ısıtmada farklı ısı kazanım uygulamalarına göre en tercih edilebilir senaryolar Tablo 4.13’te verilmiştir.

Tablo 4.13: III. arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolarda farklı çevresel etkilere göre en tercih edilebilir senaryolar.

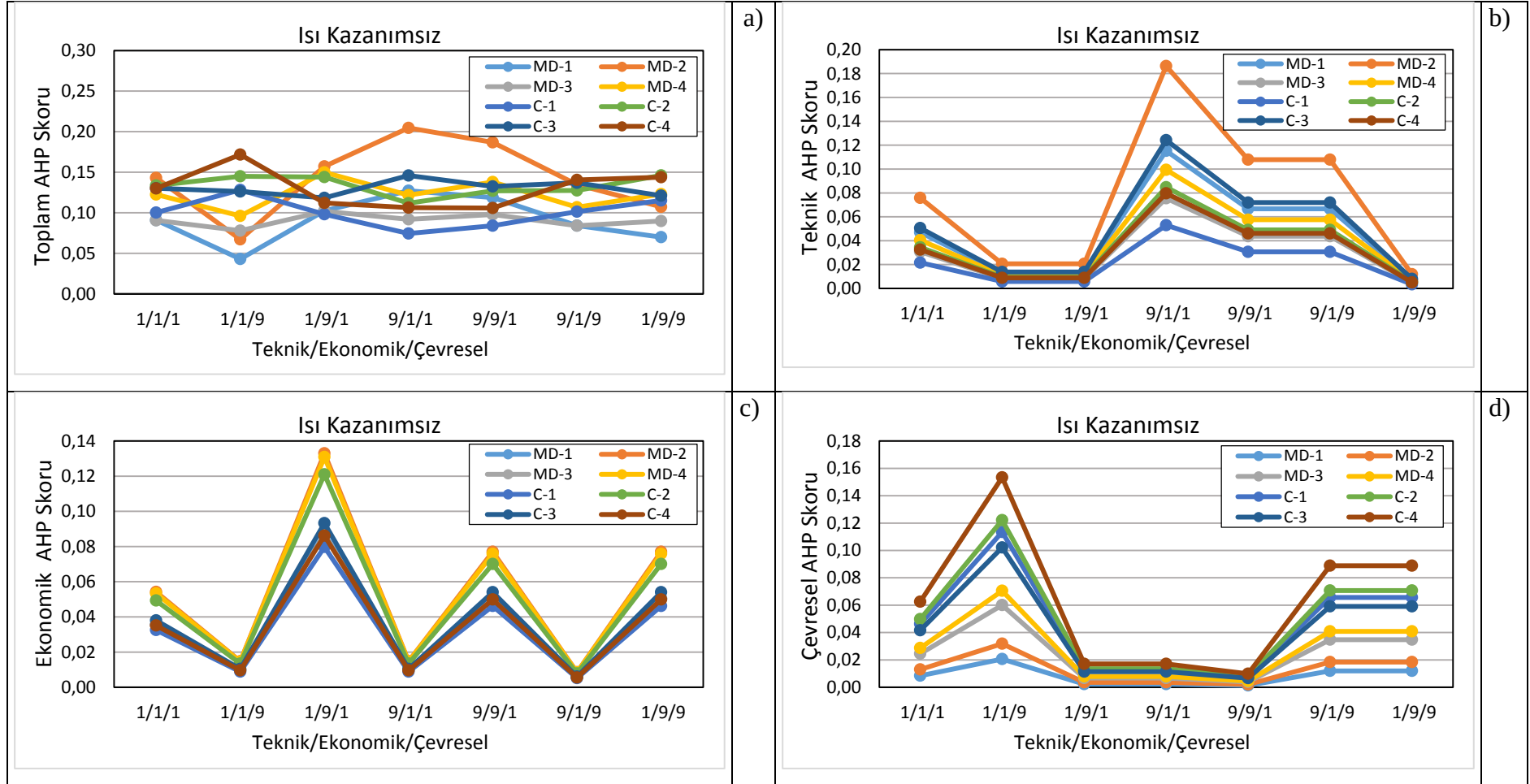
Çevresel Etki	(KAÇS/İS)	(AÇS/DS)	Doğalgaz			Atılısı		
			İK	HIK	DIK	İK	HIK	DIK
Nötr	0	0	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4
Olumlu	+	+	C-2	MD-2	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4
	0	+	MD-4	MD-4	MD-4	MD-2	MD-2	MD-2
	+	0	C-2	MD-4	MD-4	MD-2	C-4	MD-2
Olumsuz	-	0	MD-4	MD-4	MD-4	MD-2	MD-2	MD-2
Olumsuz ve Olumlu	-	+	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4	MD-4

4.4.3.1. Hassasiyet Analizi

III. arıtma çıkış suyu beslemeli MD ve İO/MD tesislerinin hassasiyet analizinde de arıtılmış atıksudan su kazanımının ve arıtma çıkış suyu temininin çevreye olumlu etkilediği düşünülmüştür. Teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerin önem derecesi teker, teker max değer 9'a (mutlak önemli) çıkarılarak tercih önceliğindeki değişim araştırılmıştır.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.56'da gösterilmiştir.

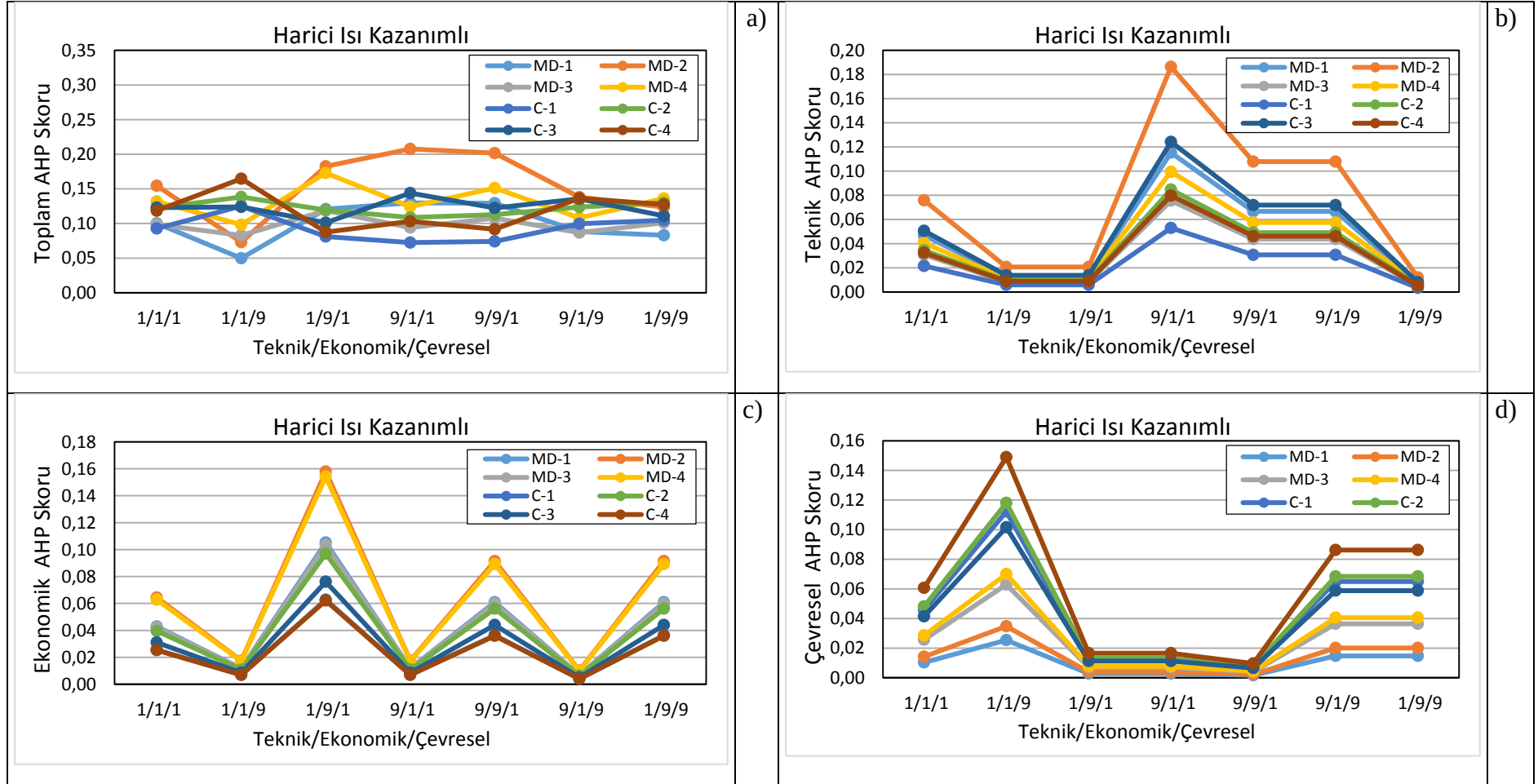
Buna göre doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise C-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.



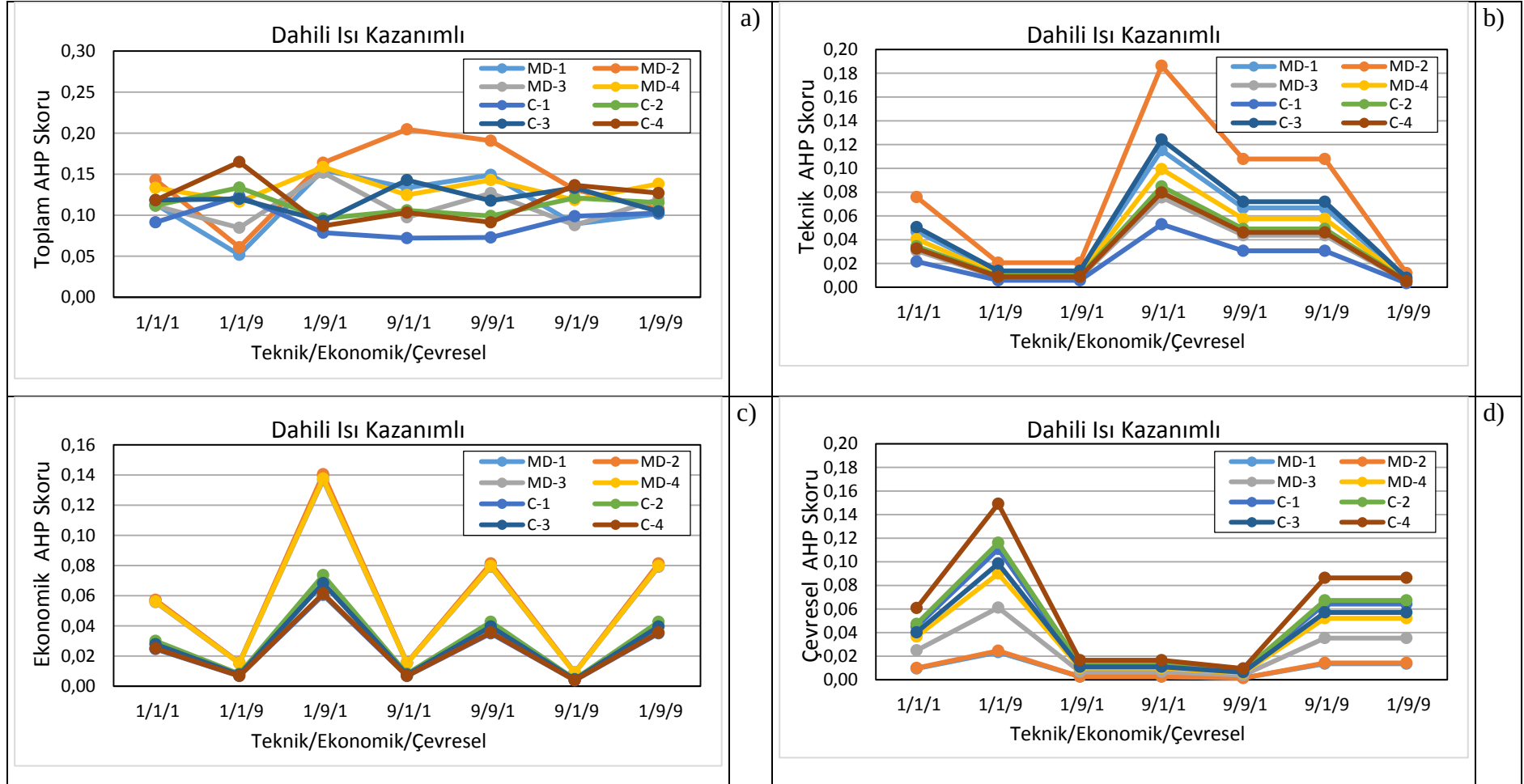
Şekil 4.56: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. artıma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.

Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.57’de, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.58’de gösterilmiştir.

Isıtma seçeneğinde harici ısı ve dahili ısı kazanımı uygulandığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-3, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise MD-4 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.



Şekil 4.57: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanım uygulamalarının hassasiyet analizi.

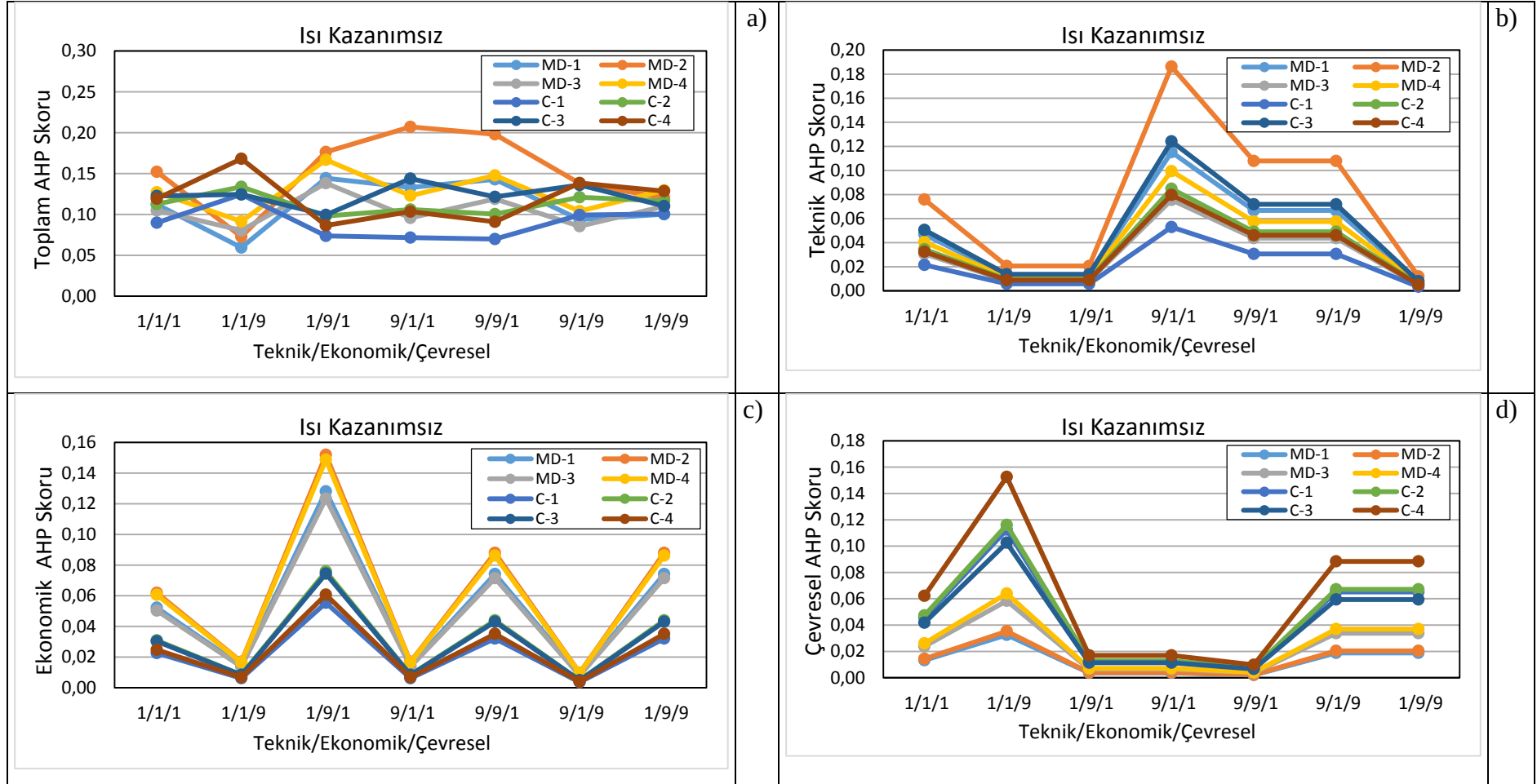


Şekil 4.58: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.

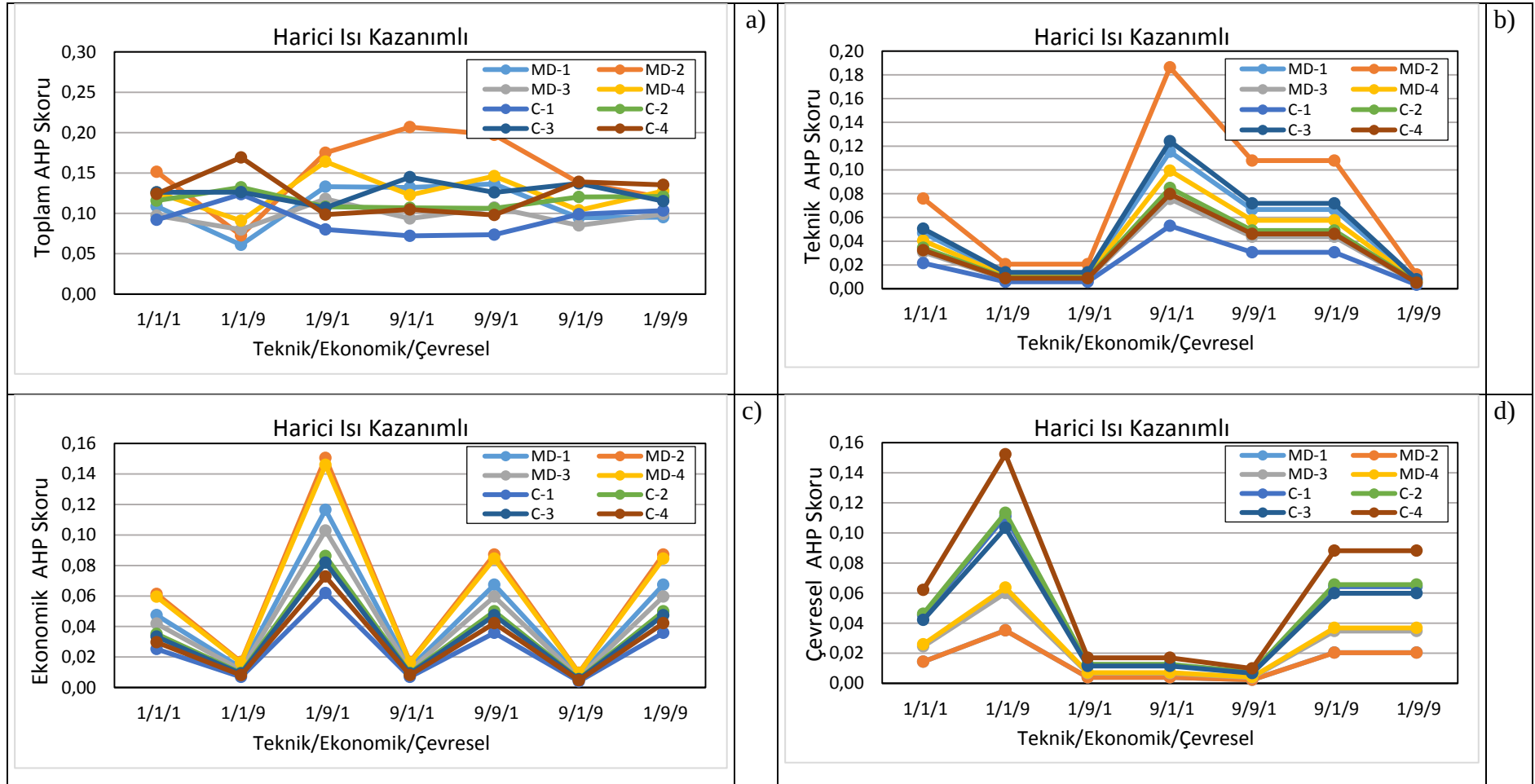
Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının teknik, ekonomik ve çevresel kriterlerinin önem derecelerindeki değişimlerin AHP skorlarında yarattığı değişim ile tercih önceliğindeki değişim ısı kazanımı yapılmadığında Şekil 4.59'da, harici ısı kazanımı uygulandığında Şekil 4.60'ta, dahili ısı kazanımı uygulandığında ise Şekil 4.61'de gösterilmiştir.

Buna göre atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde ısı kazanımı uygulanmadığında ve dahili ısı kazanımı uygulandığında teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise MD-4 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.

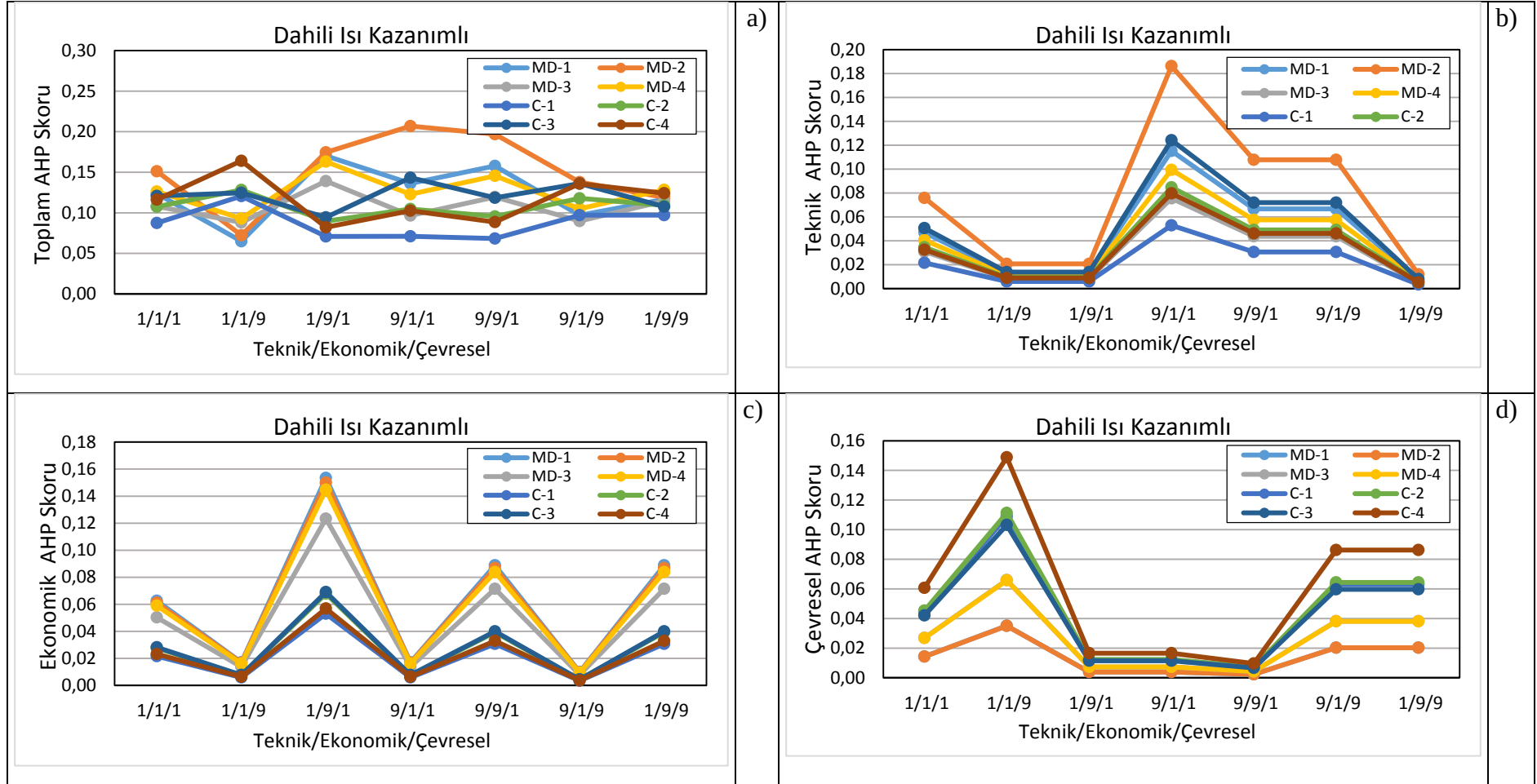
Dahili ısı kazanımı uygulandığında ise teknik/ekonomik/çevresel kriterler eşit öneme sahip olduklarında en tercih edilebilir alternatif MD-2, çevresel kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 ve teknik kriterler diğerlerine göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2 en tercih edilebilir alternatif olmuştur. Teknik ve ekonomik kriterler çevresel kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda MD-2, teknik ve çevresel kriterler ekonomik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda C-4, ekonomik ve çevresel kriterler teknik kriterlere göre mutlak öneme sahip olduğunda ise C-4 en tercih edilebilir alternatif olmuştur.



Şekil 4.59: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.60: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.



Şekil 4.61: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının hassasiyet analizi.

4.5. Gerçek Ölçek Uygulamalardaki Fırsatlar ve Karşılaşılabilecek Zorluklar

Gelecek için umut vaat eden bir arıtma teknolojisi olan MD, tatlı su kaynakları ve arıtma çıkış sularıyla beslenen İO ile birlikte deniz suyu arıtımında etkin bir şekilde uygulanabilir bir prosestir. Sürdürülebilir kalkınma ve çevrenin korunmasında farklı İO/MD konfigürasyonları ile elde edilen en önemli fırsat, deniz suyu konsantre akımı üretmeden içme suyu üretimidir. Gelecekte, hibrit İO/MD sistemlerinin, konsantre deniz suyu akımları üreterek veya üretmeden su temini için kullanılabileceği cazip bir gerçektir. Deniz suyu arıtımında nispeten yüksek miktarlarda tatlı su ve arıtma çıkış suları kullanılarak sağlanan deniz suyu tuzluluğunda tuzlu su deşarjı, geliştirilen yeni sistemlerin gerçek dünya uygulamalarına bağlı olarak çevre üzerinde önemli koruyucu etki sağlamanın yolunu açmış olacaktır. Böylelikle, eko-koruyucu bir çevre yönetimiyle deniz ekosisteminin ve deniz kıyısı yaşamının deniz suyu desalinasyonuna entegrasyonu sağlanmış olacaktır.

Günümüz koşullarında su arzının karbon vergilendirmesi olsun yada olmasın makul maliyetlerle karşılanması önem arz etmektedir. İO/MD sistemlerinin saha ölçekte uygulanmasıyla, deniz suyundan içme suyu üretiminin TO, MD ve MED sistemlerinden daha ekonomik bir şekilde işletilebileceği belirtilmelidir. Geliştirilen sistemlerin en temel handikapı, MD'den önce ve sonra ham ve konsantre deniz sularının seyreltilmesi için gerekli olan yüksek hacimde doğal tatlı sulara ve arıtma çıkış sularına sahip bir İO besleme akımının olmasıdır. Bu nedenle, doğal su kaynakları ve arıtma tesisleri deniz suyunun ekonomik olarak arıtılabilmesi ve çevrenin korunması için desalinasyon tesisinin bulunduğu bölgeye ekonomik olarak erişilebilir bir yakınlıkta olmalıdır.

Sistemlerin gerçek ölçekli simülasyonları ile belirlenen optimum besleme akımları dikkate alındığında, tatlı su beslemeli İO/MD sistemlerinin Arap Yarımadası ve Orta Doğu gibi tatlı su kaynaklarının kıt olduğu kurak iklim ülkelerinde işletilmesi mümkün değildir. Son zamanlarda yaygın olarak yaşanan kuraklık ve su kıtlığı dikkate alındığında, Libya, İtalya, İspanya, Cezayir, İsrail, Irak ve Türkiye gibi doğal su kaynaklarının kısmen kısıtlı olduğu yarı kurak, sub-tropik ve zayıf ılıman kıyı ülkelerinde düşük tatlı su ihtiyacına sahip tek kademe MD içeren İO/MD sistemleriyle eko-koruyucu deniz suyu desalinasyonu başarıyla gerçekleştirilebilir. Çift kademe MD içeren İO/MD sistemleri ise; yeterli tatlı su kaynağı rezervlerine sahip olan ABD,

İngiltere, Rusya, Hollanda, Güney Afrika, Avustralya, Şili gibi çoğunlukla zayıf ılıman ve ılıman kıyı ülkelerinde etkin bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD sistemleri Ortadoğu gibi kurak iklim bölgeleri ile ılıman kıyı ülkelerinde yeterli arıtma çıkış suyu temin edilebildiği sürece deniz suyu konsantre akımı üretmeden başarıyla uygulanabilir. Buradaki başlıca karşılaşılabilecek handikab arıtma çıkış sularından su geri kazanımıyla içme suyu temininde kamuoyu tepkisi ve teknolojik gereklerin yerine getirilebilirliği hususudur.

Yakın bir gelecekte, daha etkin ileri osmoz membranları üretilmesinin ve daha ekonomik membran distilasyon prosesi işletim teknolojileri/teknolojik uygulamalarının enerji kazanımlı sistemler ve yeni nesil modül tasarımları gibi geliştirilmesine bağlı olarak, İO ve MD proseslerinin pratik uygulamalar için daha etkin hale getirilmesi membran bilimi ve teknolojisi uzmanlarınca beklenen bir gerçektir. Her iki yenilikçi prosesin pratiğe dönük etkin uygulanabilirliği üzerine yapılan bilimsel çalışmalar yaygınlaştıkça da, bu proseslerin çevre koruma amacıyla su temini ve atıksulardan su geri kazanımı ve atık maddelerden ticari ürün eldesi amacıyla kullanımlarının artacağı öngörülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yenilikçi bir membran teknolojisi olan membran distilasyon prosesi, yine yeni gelişen membran teknolojileri arasında yer alan ileri osmoz prosesi ile birleştirilerek teşkil edilmiş bütünleşik İO/MD membran sisteminin; deniz yaşamı ve deniz suyu kalitesi üzerine olumsuz etki yapacak herhangi bir deniz suyu konsantresi oluşturmaksızın tatlı sulardan su temini ve arıtılmış evsel atıksulardan su geri kazanımı sağlanarak deniz suyundan ekonomik içme suyu eldesinde, uygulanabilirliğinin teknik, ekonomik ve çevresel kıyaslamalarla incelendiği bu tez çalışmasında;

- Deniz suyunun farklı besleme sularıyla (tatlı su kaynakları: yeraltı suyu ve göl suyu, arıtılmış çıkış suları: II. ve III. evsel arıtma çıkış suları) seyreltilmesinde İO prosesine özgü ve ham ve seyreltilmiş deniz suyundan içme suyu eldesinde MD prosesine özgü proses performansları tespit edilmiştir.
- Her iki prosesin uzun süreli işletim şartları altında, ham ve seyreltilmiş deniz suyundan sırasıyla tekli MD prosesi ve İO/MD bütünleşik membran sistemi ile içme suyu üretimi sağlanmıştır.
- Belirlenen performansların saha ölçeğe benzeştirimleri ışığında; geliştirilen MD ve İO/MDdesalinasyon sistemlerine ait deniz suyundan içme suyu üretim maliyetlerinin, yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve karbon maliyetini de içine alacağı haliyle tekno-ekonomik fizibiliteleri değişen yakıt türü ve ısı kazanım seçenekleri için araştırılmıştır.
- Farklı besleme suları için bütünleşik membran sistemi uygulamasının, tekli MD prosesiyle deniz suyundan içme suyu üretme maliyetlerini azaltma etkinliği tespit edilmiştir.
- MD ve İO/MD desalinasyon tesislerinin analitik hiyerarşi prosesiyle teknik ekonomik ve çevresel parametreler dikkate alınarak pratikte tercih edilebilirlikleri ortaya konmuştur.

İO/MD bütünleşik membran sisteminde, İO prosesinde seyreltilmiş deniz suyu MD proseste kullanıldığında, proses daha yüksek su akısıyla işletilmiştir. İO besleme

akımı olarak hem tatlı su kaynakları hem de arıtılmış evsel su kaynakları kullanıldığında, iyi kalitede içme suyu üretilmiş ve organiklerin >%97, inorganiklerin ise %99 oranında tutulması sağlanmıştır.

İÖ/MD sistemi tatlı kaynak sularıyla beslendiğinde, temel ekonomik gösterge olan birim su arıtma maliyeti tek başına MD prosese kıyasla doğalgazla ısıtmada ısı kazanımı uygulanmadığında %5, ısı kazanımı uygulandığında % 36 seviyesinde iyileştirilebildiği, atıl ısı ile ısıtma yapıldığında ısı kazanımı uygulanmadığında %23, ısı kazanımı uygulandığında %25 birim arıtma maliyetinde iyileşme elde edilmiştir.

İÖ/MD sistemi II. ve III. evsel arıtma çıkış sularıyla beslendiğinde yaklaşık birbirleriyle aynı sahada uygulanabilir tekno-ekonomik performans etkinliğine sahiptir. Ancak arıtılmış evsel sularla besleme yapıldığında tek başına MD'ye kıyasla herhangi bir ekonomik iyileşmenin sağlanamadığı tespit edilmiştir. Ekonomik olarak bir iyileştirme gerçekleştirilemesede burada evsel arıtma çıkış sularından su kazanımının çevreye sağlayacağı pozitif etki göz ardı edilmemelidir.

Deniz suyu konsantre akımının üretilmediği İÖ/MD sistemleri, hiçbir ek ücret ödemeden içme suyu başına sadece% 31 tatlı su kaybı ile sıfır tuzlu su deşarjına olanak sağlamasıyla sürdürülebilir konsantre yönetimi için cezbedici bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, doğal sularla beslenen İÖ tarafından seyreltilen deniz suyunun MD ile arıtılmasıyla ekonomik su temininin yarı kurak ve ılıman bölgelerdeki kıyı ülkelerde çevre dostu sistemler olarak başarılı bir şekilde uygulanabileceği söylenebilir.

Arıtma çıkış suyu beslemeli İÖ/MD desalinasyon tesislerinde arıtma çıkış suyundaki çözünmüş madde ve organik kirleticilerin membranın yüzeyinde birikmesi ve porlarında tıkanmaya sebebiyet verdiği için MD akısı istenilen düzeyde iyileştirilemediğinden İÖ/MD maliyetleri düşürülememiştir. Arıtma çıkış suyu beslemeli İÖ/MD sistemleri %17-30 arasında değişen su kazanım oranlarıyla hem kurak, hemde yarı kurak ve ılıman bölgelerdeki kıyı ülkelerinde deniz suyu konsantre akımı üretmeden eko- koruyucu sistemler olarak başarıyla uygulanabileceği gözükmektedir.

Amerikada Tampa Körfezinde kurulu 95000 m³/gün içme suyu üretim kapasitesine sahip TO desalinasyon tesisi 3,2 ha'lık bir alanda, İsrailde kurulu 325000 m³/gün su üretim kapasitesine sahip Ashkelon desalinasyon tesisinin ise 9,7 ha alanda kurulu olduğu bilinmektedir [Valentina M., 2011]. Tez çalışması kapsamında tasarlanan MD desalinasyon tesisleri yaklaşık 50000-80000 m³/gün içme suyu üretim

kapasitesine sahip oldukları düşünöldüğünde tasarlanan MD tesislerinin kurulumu için yaklaşık 1,5-2,7 ha alana ihtiyaç duyulacaktır. Tasarlanan İO/MD tesislerinin su üretim kapasiteleri 48000-123000 m³/gün arasında değişmektedir. İO/MD tesislerinin kurulumu için kabaca yaklaşık 4-10 ha bir alana gereksinim duyulacaktır.

Analitik hiyerarşi prosesiyle en uygun desalinasyon tesisinin seçiminde belirlenen özellikle çevresel kriterlerin ekosistemlere etkisi ölkeden öлкеye, hatta bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceğinden çevreye olan etkisi nötr etki, olumsuz etki ve olumlu etki olacak şekilde detaylı bir şekilde incelenmiş ve tercih edilebilirlik sırasının önemli ölçüde değiştiğı görölmüşür. Bu nedenle en uygun desalinasyon tesisinin seçiminde bölgedeki su kaynaklarının miktarları, su kaliteleri, ve deniz ekosistemleri ile tatlı su ekosistemlerinin mevcut durumları ile yatırıma ayrılacak mali kaynaklar yerel yönetimlerce net bir şekilde belirlendikten sonra konusunda uzman kişilerce ve halkın da tepkisini dikkate alarak detaylı anket çalışmalarından elde edilecek bulgulara göre kriterlerin etkilerinin ve önem derecelerinin belirlenmesi uygun desalinasyon tesisinin saha uygulamasının tercihinde her bölgeye özgü daha net sonuçlar ortaya koyacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Obaidani S., Curcio E., Macedonio F., Di Profio G., Al-Hinai H., Drioli E., (2008), "Potential of membrane distillation in seawater desalination: thermal efficiency, sensitivity study and cost estimation", *Journal of Membrane Science*, 323(1), 85–98.
- Asghari M., Harandizadeh A., Dehghani M., Harami H. R., (2015), "Persian Gulf desalination using air gap membrane distillation: numerical simulation and theoretical study", *Desalination* 374, 92-100.
- Aslanoglu S. Y., Köksal M., (2012), "Elektrik üretimine bağlı karbondioksit emisyonunun bölgesel olarak belirlenmesi ve uzun dönem tahmini", *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 1, 19–29.
- Aydiner C., Sen A., Derya Y Koseoglu-Imer, Can-Dogan E., (2016), "Hierarchical prioritization of innovative treatment systems for sustainable dairy wastewater management", *Journal of Cleaner Production*, 112, 4605-4617.
- Aydiner C., (2015), "A model-based analysis of water transport dynamics and fouling behaviors of osmotic membrane", *Chemical Engineering Journal*, 266, 289-298.
- Banat F., Jwaied N., (2008), "Economic evaluation of desalination by small-scale autonomous solar-powered membrane distillation units", *Desalination*, 220 (1-3), 566-573.
- Bennett A., (2013), "50th anniversary: desalination: 50 years of progress", *Filtration + Separation*, 50 (3), 32–39.
- Blandin, G., Verliefde, A. R. D., Tang, C. Y., Le-Clech, P., (2015), "Opportunities to reach economic sustainability in forward osmosis–reverse osmosis hybrids for seawater desalination", *Desalination*, 363, 26-36.
- Bogler, A., Lin, S., Bar-Zeev, E., (2017), "Biofouling of membrane distillation, forward osmosis and pressure retarded osmosis: principles, impacts and future directions", *Journal of Membrane Science*, 542, 378-398.
- Bottero, M., Comino, E., Riggio, V., (2011), "Application of the analytic hierarchy process and the analytic network process for the assessment of different wastewater treatment systems", *Environment Modelling. Software*, 26 (10), 1211-1224.
- Castello E. M. G., McCutcheon J. R., (2010), "Dewatering press liquor derived from orange production by forward osmosis", *Journal of Membrane Science*, 372(1-2), 97-101.
- Cath T. Y., Childress A. E., Elimelech M., (2006), "Forward osmosis: principles, applications, and recent developments", *Journal of Membrane Science*, 281 (3), 70-87.

Cath T. Y, Drewes J. E., Lundin C. D., (2009), "A novel hybrid forward osmosis process for drinking water augmentation using impaired water and saline water sources", 24th Annual Water Reuse Symposium, 1-20, Washington, USA, 13-16 September.

Cath T. Y., Hancock N. T., Lundin C. D., Hoppe-Jones C., Drewes J. E., (2010b), "A multi-barrier osmotic dilution process for simultaneous desalination and purification of impaired water", *Journal of Membrane Science*, 362 (2), 26-417.

Charcosset C., (2008), "A review of membrane processes and renewable energies for desalination", *Desalination*, 245 (1), 214-231.

Choi Y. J., Choi J. S., Oha H. J., Lee S., Yang D. R., Kim J. H., (2009a), "Toward a combined system of forward osmosis and reverse osmosis for seawater desalination", *Desalination*, 247 (3), 46-239.

Choi Y. H., Kweon J. H., Kim D. I., Lee S., (2009b), "Evaluation of various pretreatment for particle and inorganic fouling control on performance of SWRO", *Desalination*, 247 (2), 47-137.

CH2M, (2015), "Reverse Osmosis Concentrate Disposal Issues", Technical Memorandum prepared for Wisconsin Department of Natural Resources, USA.

Curcio E., Drioli E., (2005), "Membrane distillation and related operations-a review", *Separation & Purification Reviews*, 34(1), 35-86.

Drioli E., Ali E., Macenodio F., (2015), "Membrane distillation: recent developments and perspectives" *Desalination*, 356, 56-84.

Fanucchi M. V., (2017), "Drinking Water and Sanitation" in: Quah S.R, *International Encyclopedia of Public Health* (Second Edition), 350-360.

Fuentes-Bargues J. L., (2014), "Analysis of the process of environmental impact assessment for seawater desalination plants in Spain", *Desalination*, 347, 166-174.

Ghaffour N., Missimer T. M., Amy G. L., (2013), "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability", *Desalination*, 309, 197-207.

Gude V. G., (2016), "Desalination and sustainability - An appraisal and current perspective", *Water Research*, 89, 87-106.

Greenlee L. F., Lawler D. F., Freeman B. D., Marrot B., Moulin P., (2009), "Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges", *Water Research* 43(9), 2317-2348.

Gilau A. M., Small M. J., (2008), "Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options", *Renewable Energy*, 33 (5), 30-617.

Gonzalez D., Amigo J., Suarez F., (2017), "Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 238-259.

Gryta M., (2011), "Water Desalination and Membrane Distillation", Chapter II in *Desalination, Trends and Technologies*, InTech-Open Access Books.

Holloway R. W., Childress A. E., Dennett K. E., Cath T. Y., (2007), "Forward osmosis for concentration of anaerobic digester centrate", *Water Research*, 47 (8), 14-4005.

Kesime U. K., Milne N., Aral H., Cheng C. Y., Duke M., (2013), "Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, and opportunities for membrane distillation", *Desalination*, 323, 66-74.

Kitiş M., (2017), "Membran proseslerinde konsantre yönetimi", *MEM-TEK Bülteni*, (3), 24-27.

Kravath R. E., Davis J. A., (1975), "Desalination of sea water by direct osmosis", *Desalination*, 16 (4), 5-151.

Lamei A., Van der Zaag P., Von Münch E., (2008), "Basic cost equations to estimate unit production costs for RO desalination and long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt", *Desalination*, 225 (4), 1-12.

Lei Z., Chen B., Ding Z., (2005), "Special Distillation Processes", 1st Edition, Elsevier Science.

Liu T., Sheu H., Tseng C., (2013), "Environmental impact assessment of seawater desalination plant under the framework of integrated coastal management", *Desalination*, 326, 10-18.

Low S. C., (2009), "Preliminary studies of seawater desalination using forward osmosis", *Desalination and Water Treatment*, 7 (1), 6-41.

Meindersma G. W., Guijt C. M., de Haan A. B., (2006), "Desalination and water recycling by air gap membrane distillation", *Desalination*, 187 (1-3), 291-301.

Mahmoudi F., Siddiqui H., Pishbin M., Goodarzi G., Dehghani S., Date A., Akbarzadeh A., (2017), "Sustainable seawater desalination by permeate gap membrane distillation technology", *Energy Procedia*, 110, 346-351.

Martinetti C. R., Childress A. E., Cath T. Y., (2009), "High recovery of concentrated RO brines using forward osmosis and membrane distillation", *Journal of Membrane Science*, 331 (1), 9-31.

Mccutcheon, J.R., McGinnis, R.L., Menachem, E., (2005), "A novel ammonia-carbon dioxide forward (direct) osmosis desalination process", *Desalination*, 174, 1-11.

Mccutcheon J. R., McGinnis R. L., Elimelech M., (2006), “Desalination by ammonia–carbon dioxide forward osmosis process: influence of draw and feed solution concentrations on process performance”, *Journal of Membrane Science*, 278, 114-123.

McGinnis R. L., (2002), “Osmotic Desalination Process (2)”, U.S. Patent PCT/US02/02740.

McGinnis R.L. and Lloyd R., (2002), “Osmotic desalination process (2)”, U.S. Patent US6391205.

McGinnis R. L., Elimelech M., (2007), “Energy requirements of ammonia–carbon dioxide forward osmosis desalination”, *Desalination*, 207 (1–3), 370-382.

Mezher T., Fath H., Abbas Z., Khaled A., (2011), “Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies”, *Desalination*, 266, 263-273.

Miller J. E., Evans L. R., (2006), “Forward Osmosis: A New Approach to Water Purification and Desalination”, Technical Report No: SAND2006-4634, Sandia National Laboratories, Sandia Corporation, New Mexico.

Mi B., Elimelech M., (2008), “Chemical and physical aspects of organic fouling of forward osmosis membranes”, *Journal of Membrane Science*, 320 (2), 292–302.

Miller, S., Shemer, H., Semiat, R., (2015), “Energy and environmental issues in desalination”, *Desalination* 366, 2-8.

Missimer, T. M., Maliva, R. G., (2018), “Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls”, *Desalination*, 434, 198-215.

Nghiem L. D., Cath T., (2011) “A scaling mitigation approach during direct contact membrane distillation”, *Separation and Purification Technology*, 80, 315-322.

Öztürk M., (2007), “Ters Osmoz Sistemleri ile Tuzlu/Atık Suların Arıtımı”, 1. Baskı, Çevre Orman Bakanlığı Yayınları.

Pangarkar B. L., Sane M., Guddad M., (2011), “Reverse osmosis and membrane distillation for desalination of groundwater: A Review”, *ISRN Materials Science*, 2011(5), 8-9.

Quintanilla V. Y., Li Z., Valladares R., Li Q., Amy G., (2011), “Indirect desalination of Red Sea water with forward osmosis and low pressure reverse osmosis for water reuse”, *Desalination*, 280 (2), 160-166.

Qtaishat M. R., Banat F., (2013), “Desalination by solar powered membrane distillation systems”, *Desalination*, 308, 186-197.

Saaty R.W., (1987), “The analytic hierarchy process-what it is and how it is used”, *Mathematical Modelling*, 9 (3–5), 161-176.

Saaty T. L., Vargas L. G., (2000), "Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publisher, London.

Saaty T. L., (1980), "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation", McGraw Hill, New York.

Saffarini R. B., Summers E. K., Arafat H. A., Lienhard V J. H., (2012), "Economic evaluation of stand-alone solar powered membrane distillation systems", *Desalination*, 299, 55–62.

Seager R., Vecchi, G. A., (2010), "Greenhouse warming and the 21st century hydroclimate of southwestern" North America. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 21277–21282.

Spellman, F.R., (2016), "Reverse Osmosis, A Guide for the Nonengineering", Professional. CRC Press, New York.

Susanto H., (2011), "Towards practical implementations of membrane distillation", *Chemical Engineering and Processing*, 50, 139-150.

Tan C. H., Ng H. Y., (2008), "Modified models to predict flux behavior in forward osmosis in consideration of external and internal concentration polarizations", *Journal of Membrane Science*, 324 (1), 19-209.

Taniguchi M., Fusaoka Y., Nishikawa T., Kurihara M., (2004), "Boron removal in RO seawater desalination", *Desalination*, 167 (2), 26-419.

Teusner, A., Gaetan Blandin G., and Pierre Le-Clech, P., (2017), "Augmenting water supply by combined desalination/water recycling methods: an economic assessment", *Environmental Technology*, 38 (3), 257-265.

ÇŞB, (2013), Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Thomas N., Mavukkandy M. O., Loutatidou S., Arafat H. A., (2017), "Membrane distillation research & implementation: Lessons from the past five decades", *Separation and Purification Technology* 189, 108-127.

Tilki Y. M., (2016), "Membran Distilasyonla Deniz Suyu Arıtımında Farklı Sistem Tasarımlarının Kıyaslamalı Ekonomik Analizi" Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Topaloğlu D., (2010), "Tübüler Membran Biyoreaktörün Atıksu Arıtma Verimine Etki Eden Parametrelerin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Tsai J. H., Macedonio F., Drioli E., Giorno L., Choua C.Y., Huf F. C., Lif C. L., Chuang C.J., Tung K.L., (2017), "Membrane-based zero liquid discharge: Myth or reality?" *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 192-202.

UNICEF–WHO, (2015), “Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment”, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Valentina M., (2011), “Desalination of Seawater Manuel of Water Supply Practices”, 1st Edition, American Water Works Association.

Vergili I., Kaya Y., Sen U., Gonder Z. B., Aydiner C., (2012), “Techno-economic analysis of textile dye bath wastewater treatment by integrated membrane processes under the zero liquid discharge approach”, Resources, Conservation and Recycling, 58, 25–35.

Wang Y. N., Goh K., Li X., Setiawan L., Wang R., (2018), “Membranes and processes for forward osmosis-based desalination: Recent advances and future prospects”, Desalination, 434, 81-99.

Wang K. Y., Chung T. S., Qin J. J., (2007), “Polybenzimidazole (PBI) nanofiltration hollow fiber membranes applied in forward osmosis process”, Journal of Membrane Science, 300 (2), 6–12.

Wang K. Y., Teoh M., Nugroho A., Chung T. S., (2011), “Integrated forward osmosis–membrane distillation (FO-MD) hybrid system for the concentration of protein solutions”, Chemical Engineering Science, 66 (11), 30-2421.

Wang H. S., Che Z. H., Wu C., (2010), “Using analytic hierarchy process and particle swarm optimization algorithm for evaluating product plans”, Expert Systems with Applications, 37(2): 1023–1034.

Web 1 (2018), <http://tr.euronews.com/2015/08/26/su-kitligi-33-ulke-2040-ta-asiri-susikintisiyla-karsi-karsiya>, (Erişim Tarihi: 11/04/2018).

Web 2 (2018), <http://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country>, (Erişim Tarihi: 11/04/2018).

Web 3 (2014), <http://www.freedrinkingwater.com/water-news/forward-osmosis-desalination.htm>, (Erişim Tarihi: 12/12/2014).

Web 4 (2018), <http://www.desware.net/DESWARE-SampleAllChapter.aspx>, (Erişim Tarihi: 11/04/2018).

Yang Q., Wang K. Y., Chung T. S., (2009), “A novel dual-layer forward osmosis membrane for protein enrichment and concentration”, Separation and Purification Technology, 69 (7), 74-269.

Zhao D., Zuo J., Lu K. J., Chung T. S., (2017), “Fluorographite modified PVDF membranes for seawater desalination via direct contact membrane distillation”, Desalination, 413, 119-126.

ÖZGEÇMİŞ

Duygu Topaloğlu Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans derecesini, 2010 yılında ise yine aynı üniversitede yüksek lisansını tamamladı. Halen Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitime ve membran teknolojileri, su ve atık su arıtımı, atıksulardan su geri kazanımı, deniz suyu desalinasyonu ve çevresel maliyet analizleri konularında akademik çalışmalarına devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tablolar

Tablo A1.1: MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (a) Tek kademe MD, (b) Çift kademe (*r (%) MD'nin su kazanım oranını göstermektedir).

(a) MD

	1	2	3
*r (%):	-	50	-
Q (m³/g):	100150	47999	50075
TOK (mg/L):	4,0	0,7	7,2
TÇM (mg/L):	23340	156	45927

(b) MD-çift

	1	2	3	4	5	6
*r (%):	-	50	-	60	-	-
Q (m³/g):	100150	47999	50075	30045	20030	76785
TOK (mg/L):	4,0	0,7	7,2	1,5	15,7	1,0
TÇM (mg/L):	23340	156	45927	160	114578	157,7

Tablo A1.2: Tatlı su kaynağı beslemeli konsantre akımlı İO/MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (*r (%) İO’da deniz suyunun seyrelme oranını, MD’de MD’nin su kazanım oranını göstermektedir).

(a) A-1

	1	2	3	4	5	6
*r (%) :	-	-	19,9	-	50	-
Q (m³/g) :	83000	83000	100835	66459	50418	50418
TOK (mg/L) :	4,0	3,9	3,3	4,9	0,5	6,1
TÇM (mg/L) :	23298	521	18218	2106	181	36255

(b) A-2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
*r (%) :	-	-	19,9	-	50	-	-	60	-	-
Q (m³/g) :	83000	83000	100835	66459	50418	50418	117735	70641	47094	114557
TOK (mg/L) :	4,0	3,9	3,3	4,9	0,5	6,1	5,4	1,0	11,9	0,8
TÇM (mg/L) :	23298	521	18218	2106	181	36255	16754	100	41736	95

(c) A-3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
*r (%) :	-	-	9,9	-	23,1	50	-	60	-	60,3	-	-
Q (m³/d) :	75000	37500	82453	30047	101551	50775	50775	30465	20310	31643	17798	76864
TOK (mg/L) :	4,0	3,9	3,7	4,9	4,4	0,7	8,2	1,0	19	11,9	8,3	0,8
TÇM(mg/L) :	23298	521	20132	3558	18311	87,68	36534	109,4	91172	55593	11208	96

(d) A-4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
*r (%) :	-	37,2	50	-	-	35,7	-	60	-	-
Q (m³/g) :	75000	102919	51460	51460	45000	66576	26603	40462	26975	86820
TOK (mg/L) :	4,0	4,6	0,5	8,8	3,9	6,8	6,7	1,1	15,3	0,7
TÇM (mg/L) :	23298	18109	87	36132	521	26532	4376	157	65246	117

(e) A-5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
*r (%) :	-	37,2	50	-	60	-	-	89,3	-	-
Q (m³/g) :	75000	102919	51460	51460	30876	20584	45000	37549	26603	77913
TOK (mg/L) :	4,0	4,6	0,7	8,6	1,3	19,5	3,9	10,6	6,7	0,9
TÇM (mg/L) :	23298	18107	87	36128	126	90130	521	46937	4368	102

Tablo A1.3: Tatlı su kaynağı beslemeli konsantresiz İO/MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (*r (%) İO'da deniz suyunun seyrelme oranını, MD'de MD'nin su kazanım oranını göstermektedir).

(a) B-1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
*r (%) :	-	-	7,1	-	37,3	50	-	-	-	38,4	-
Q (m³/g) :	70000	25000	74957	20043	102917	48687	47893	25000	45043	66293	26644
TOK (mg/L) :	4,0	3,9	3,8	4,9	4,8	0,8	9,2	3,9	4,4	6,7	7,5
TÇM (mg/L) :	23298	521	20670	4718	16944	121	36288	521	2389	24905	7300

(b) B-2

	1	2	3	4	5	6	7
*r (%) :	-	44,1	50	-	-	43,6	-
Q (m³/g) :	70000	100840	47712	46927	50000	67376	29550
TOK (mg/L) :	4,0	4,7	0,8	9,4	3,9	6,5	6,7
TÇM (mg/L) :	23298	17293	123	37035	521	24504	3823

(c) B-3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
*r (%) :	-	-	11,9	-	9,0	50	-	160	60	-	-	-	66,6	-	-	-	-
Q (m³/g) :	83000	50000	92955	40056	101333	50666	50666	131935	79161	49116	122855	80000	81853	47263	7089	40174	80230
TOK (mg/L) :	4,0	3,9	3,6	4,9	3,7	0,6	6,9	6,2	0,7	15,5	0,7	3,9	9,3	6,7	6,7	6,7	5,8
TÇM (mg/L) :	23298	521	19763	3065	18345	88	36603	15929	135	42572	123	521	24268	3095	3095	3095	3079

Tablo A1.3: Devam.

(d) B-4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
*r (%):	-	-	12,4	-	12,1	50	-	-	61	-	52,9	60	-	-	77,3	-	-	-	-
Q (m³/g):	80000	50000	89950	40051	100867	50443	46938	70000	75583	41355	115569	69342	43023	81406	76294	48135	113225	38508	9627
TOK (mg/L):	4	3,9	3,6	4,9	3,9	0,6	7,8	3,9	4,8	6,7	6,9	0,8	17,3	5,8	9,7	9,9	0,7	9,9	9,9
TÇM (mg/L):	23298	521	19685	2977	18245	87	39114	521	23076	3102	17505	52	46937	3041	25145	7240	71	7241	7241

(e) B-5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
*r (%):	-	36,4	50	-	-	25,5	-	66,9	60	-	-	87	-	-	-	-	-
Q (m³/g):	75000	102312	51156	47895	30000	60144	17751	100433	60260	37611	80000	70353	47258	104337	65009	39005	26003
TOK (mg/L):	4,0	4,6	0,7	9,1	3,9	7,3	6,7	7,0	1,1	16,9	3,9	9,0	6,7	1,0	6,7	6,7	6,7
TÇM (mg/L):	23298	18032	86	38428	521	29071	6065	18866	66	50274	521	25533	2883	80	3752	3752	3752

(f) B-6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
*r (%):	-	34,8	50	-	76,3	60	-	-	130	-	-	-	-
Q (m³/g):	75000	101097	50549	50049	88238	52943	33044	105000	76033	62010	97936	37206	24804
TOK (mg/L):	4,0	4,6	0,7	8,5	7,7	1,2	18,7	3,9	8,1	6,7	1,0	6,7	6,7
TÇM (mg/L):	23298	17874	86	35662	21444	75	57143	521	23592	2405	85	2405	2405

Tablo A1.4: MD ve arıtma çıkış suyu beslemeli MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (r (%) MD'nin su kazanım oranını göstermektedir, *II. Arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolar, **III. Arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolar).

(a) MD-1

	1	2	3
r (%) :	-	50	-
Q (m³/g) :	100101	50698	50698
TOK (mg/L) :	4	0,72	7,23
TÇM (mg/L) :	24358	29	48065

(b) MD-2

	1	2	3	4	5	6
r (%) :	-	50	-	60	-	-
Q (m³/g) :	101100	51205	51205	30723	20482	81928
TOK (mg/L) :	4	0,72	7,23	1,57	15,7	1,04
TÇM (mg/L) :	24358	29	48065	72	120055	45

(c) MD-3*

	1	2	3	4	5
r (%) :	-	-	50	-	-
Q (m³/g) :	100101	51000	50698	50698	101699
TOK (mg/L) :	4	6,96	0,72	7,23	7,1
TÇM (mg/L) :	24358	604	29	48065	24264

(d) MD-4*

	1	2	3	4	5	6	7	8
r (%) :	-	50	-	-	-	60	-	-
Q (m³/g) :	101211	50606	50606	82000	30364	20242	10224	80969
TOK(mg/L) :	4	0,72	7,23	6,96	1,57	15,7	8,7	1,04
TÇM(mg/L) :	24047	29	48065	604	72	12005	24253	45

(e) MD-3**

	1	2	3	4	5
r (%) :	-	-	50	-	-
Q (m³/g) :	101211	51000	50606	50606	101607
TOK (mg/L) :	4	7,96	0,72	7,23	7,6
TÇM (mg/L) :	24047	1256	29	48065	24569

(f) MD-4**

	1	2	3	4	5	6	7	8
r (%) :	-	50	-	-	60	-	-	-
Q (m³/g) :	101211	50606	50606	84000	30364	20242	10424	80969
TOK(mg/L) :	4	0,72	7,23	7,96	1,57	15,7	9,46	1,04
TÇM(mg/L) :	24047	29	48065	1256	72	12005	24324	45

Tablo A1.5: II. Arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (r (%) İO'da deniz suyunun seyrelme oranını, MD'de MD'nin su kazanım oranını göstermektedir).

(a) C-1

	1	2	3	4	5	6	7
r (%) :	-	-	19,3	-	50	-	-
Q (m³/d) :	84000	126000	101195	112071	50599	50599	162669
TOK (mg/L) :	4	6,96	3,92	7,74	0,63	7,21	7,58
TÇM (mg/L) :	24346	604	16283	1693	26	32538	11288

(b) C-2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r (%) :	-	-	19,3	-	50	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	84000	126000	101195	112072	50599	50599	30360	20240	132312	80959
TOK (mg/L) :	4	6,96	3,92	7,74	0,63	7,23	1,38	15,9	9	0,91
TÇM (mg/L) :	24346	604	16283	1693	26	32538	65	81248	13862	40

(c) C-3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r (%) :	-	50	-	-	36	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	100577	50288	50288	77000	90146	59089	54088	36059	95148	104374
TOK (mg/L) :	4	0,72	7,28	6,96	4,91	10,49	1,06	10,67	10,56	0,9
TÇM (mg/L) :	24346	29	48408	604	25384	3494	38	63404	26198	33

(d) C-4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
r (%) :	-	-	19,3	-	50	-	-	24	-	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	84000	126000	101195	112071	50599	50599	30000	60097	17756	129827	36058	24039	153867	86659
TOK (mg/L) :	4	6,96	3,9	7,74	0,63	7,22	6,96	6,46	10,47	8,11	1,24	14,28	9	0,88
TÇM (mg/L) :	24346	604	16283	1693	26	32538	604	25752	6584	2362	51	64303	12039	36604

Tablo A1.6: III. Arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının kütle dengesi yazılım benzeştirme sonuçları (r (%) İO'da deniz suyunun seyrelme oranını, MD'de MD'nin su kazanım oranını göstermektedir).

(a) C-1

	1	2	3	4	5	6	7
r (%) :	-	-	20	-	50	-	-
Q (m³/d) :	84000	131000	100895	116868	50448	50448	167312
TOK (mg/L) :	4	7,96	3,96	8,95	0,63	7,29	8,45
TÇM (mg/L) :	24346	1256	16229	2245	16	32442	11350

(b) C-2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r (%) :	-	-	20	-	50	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	84000	131000	100895	116868	50448	50448	30269	20179	137048	80716
TOK (mg/L) :	4	7,96	3,96	8,95	6,35	7,29	1,4	16	10	0,92
TÇM (mg/L) :	24346	1256	16229	2244	16	32442	65	81007	13842	34

(c) C-3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r (%) :	-	50	-	-	36	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	100577	50288	50288	77000	90132	59102	54080	36053	95157	104370
TOK (mg/L) :	4	0,73	7,28	7,96	4,94	12,12	1,07	10,75	11,6	0,9
TÇM (mg/L) :	24346	29	48408	1256	25388	4596	38	63413	26881	34

(d) C-4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
r (%) :	-	-	20	-	50	-	-	24	-	-	60	-	-	-
Q (m³/d) :	84000	131000	100895	116868	50448	50448	30000	59960	17760	134628	35976	23984	158611	86424
TOK (mg/L) :	4	7,96	3,96	8,95	0,63	7,29	7,96	6,53	12	9,35	1,25	14,4	10,1	0,89
TÇM (mg/L) :	24346	1256	16229	2244	25945	32432	1256	25650	7649	2957	51	64	12195	36474

Tablo A1.7: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,052	0,115	0,108	0,120	0,046	0,046	0,043	0,070	0,097
MD-MD	0,076	0,137	0,130	0,141	0,068	0,068	0,064	0,091	0,119
A-1	0,048	0,042	0,042	0,039	0,054	0,091	0,087	0,048	0,077
A-2	0,072	0,065	0,071	0,087	0,077	0,065	0,071	0,098	0,061
A-3	0,074	0,067	0,067	0,065	0,073	0,072	0,072	0,067	0,067
A-4	0,065	0,058	0,064	0,080	0,065	0,058	0,059	0,086	0,053
A-5	0,070	0,064	0,064	0,062	0,071	0,072	0,073	0,066	0,067
B-1	0,085	0,070	0,070	0,062	0,079	0,083	0,079	0,068	0,072
B-2	0,083	0,068	0,068	0,061	0,076	0,083	0,077	0,065	0,071
B-3	0,096	0,081	0,081	0,074	0,102	0,090	0,096	0,089	0,080
B-4	0,092	0,078	0,078	0,071	0,097	0,088	0,093	0,085	0,078
B-5	0,093	0,077	0,078	0,069	0,096	0,088	0,091	0,083	0,077
B-6	0,093	0,079	0,079	0,071	0,096	0,094	0,096	0,084	0,082

CR:0

Tablo A1.8: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,053	0,115	0,080	0,124	0,046	0,046	0,042	0,069	0,096
MD-MD	0,074	0,135	0,100	0,143	0,066	0,066	0,061	0,088	0,116
A-1	0,045	0,039	0,038	0,035	0,051	0,088	0,084	0,045	0,074
A-2	0,064	0,058	0,092	0,081	0,070	0,058	0,064	0,091	0,054
A-3	0,069	0,061	0,061	0,057	0,067	0,067	0,066	0,062	0,061
A-4	0,060	0,052	0,086	0,075	0,060	0,052	0,053	0,081	0,047
A-5	0,078	0,072	0,072	0,069	0,080	0,081	0,081	0,075	0,075
B-1	0,089	0,073	0,073	0,064	0,082	0,087	0,082	0,071	0,075
B-2	0,095	0,080	0,080	0,071	0,087	0,095	0,089	0,077	0,083
B-3	0,090	0,077	0,077	0,069	0,097	0,086	0,093	0,085	0,077
B-4	0,092	0,077	0,078	0,069	0,096	0,088	0,092	0,084	0,077
B-5	0,101	0,084	0,085	0,075	0,103	0,095	0,098	0,090	0,084
B-6	0,091	0,077	0,077	0,068	0,094	0,092	0,095	0,082	0,081

CR:0

Tablo A1.9: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	20,9	49,3	29,8	9,5	22,5	68,0	10,1	23,9	66,1	9,2	21,6	69,2	23,7	56,0	20,3	23,7	56,0	20,3	25,7	60,8	13,4	15,7	37,1	47,2	11,2	26,6	62,2
MD-MD	23,1	49,3	27,6	12,8	27,3	59,9	13,4	28,7	57,9	12,4	26,6	61,0	25,7	54,9	19,4	25,7	54,9	19,4	27,5	58,7	13,8	19,3	41,2	39,6	14,8	31,6	53,6
A-1	13,7	54,8	31,6	15,7	62,7	21,6	15,7	62,8	21,5	16,9	67,5	15,6	12,1	48,3	39,7	7,2	28,8	64,0	7,5	30,1	62,3	13,6	54,5	31,9	8,5	34,0	57,5
A-2	21,8	51,5	26,7	24,3	57,2	18,5	22,2	52,2	25,6	18,2	42,8	39,0	20,3	47,9	31,7	24,3	57,2	18,5	22,3	52,6	25,1	16,1	37,9	46,0	26,0	61,2	12,8
A-3	21,0	51,8	27,2	23,3	57,5	19,1	23,2	57,3	19,4	24,0	59,2	16,8	21,4	52,7	26,0	21,5	53,1	25,3	21,7	53,5	24,7	23,1	57,0	19,9	23,3	57,5	19,1
A-4	25,3	43,2	31,5	28,6	48,8	22,6	25,9	44,1	30,0	20,7	35,4	43,9	25,3	43,2	31,4	28,6	48,9	22,5	27,9	47,6	24,5	19,1	32,6	48,3	31,0	52,9	16,1
A-5	21,1	56,1	22,8	23,2	61,6	15,2	23,1	61,5	15,4	23,9	63,5	12,6	20,7	55,2	24,0	20,5	54,6	24,9	20,4	54,2	25,4	22,4	59,5	18,1	22,2	59,0	18,8
B-1	10,9	30,9	58,2	13,3	37,7	49,0	13,3	37,7	49,1	14,9	42,3	42,8	11,8	33,4	54,8	11,1	31,5	57,4	11,8	33,4	54,8	13,6	38,7	47,7	12,9	36,7	50,4
B-2	9,8	31,2	58,9	12,0	38,2	49,8	12,0	38,1	49,9	13,5	42,9	43,7	10,8	34,4	54,8	9,8	31,2	58,9	10,6	33,7	55,7	12,5	39,9	47,6	11,5	36,5	52,0
B-3	14,7	36,6	48,8	17,3	43,1	39,6	17,2	43,0	39,8	19,0	47,3	33,7	13,8	34,4	51,8	15,5	38,6	45,9	14,6	36,3	49,2	15,8	39,3	44,9	17,5	43,7	38,8
B-4	14,0	36,4	49,6	16,6	43,1	40,4	16,5	43,0	40,5	18,2	47,4	34,4	13,3	34,7	52,0	14,6	38,0	47,4	13,9	36,2	49,9	15,3	39,7	45,1	16,6	43,1	40,3
B-5	13,2	31,0	55,8	15,9	37,4	46,7	15,9	37,3	46,8	17,8	41,8	40,4	12,8	30,2	57,0	13,9	32,8	53,3	13,5	31,7	54,9	14,9	35,0	50,2	16,0	37,7	46,3
B-6	13,3	37,0	49,7	15,8	43,8	40,4	15,8	43,7	40,5	17,5	48,4	34,2	12,9	35,8	51,3	13,2	36,6	50,3	12,9	35,7	51,4	14,7	40,9	44,4	15,0	41,7	43,2

Tablo A1.10: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	20,7	43,9	35,4	9,5	20,2	70,2	13,6	28,9	57,4	8,9	18,8	72,4	23,9	50,7	25,4	23,9	50,7	25,4	26,3	55,7	18,0	15,9	33,7	50,4	11,4	24,1	64,6
MD-MD	23,6	45,0	31,4	13,0	24,8	62,2	17,4	33,3	49,3	12,2	23,4	64,4	26,5	50,7	22,7	26,5	50,7	22,8	28,6	54,7	16,6	19,8	37,9	42,3	15,1	28,9	56,0
A-1	14,6	50,4	34,9	17,0	58,6	24,4	17,0	58,7	24,3	18,8	64,8	16,4	12,8	44,2	43,0	7,5	25,7	66,8	7,8	27,0	65,2	14,6	50,4	35,0	8,9	30,6	60,5
A-2	24,6	50,2	25,2	27,3	55,8	16,9	17,1	34,9	48,0	19,4	39,6	40,9	22,4	45,8	31,8	27,3	55,8	16,9	24,7	50,3	25,0	17,3	35,3	47,4	29,2	59,7	11,1
A-3	22,7	48,7	28,6	25,4	54,4	20,2	25,4	54,3	20,3	27,3	58,4	14,3	23,1	49,4	27,5	23,3	49,9	26,8	23,5	50,3	26,3	25,1	53,8	21,2	25,4	54,3	20,3
A-4	27,6	36,4	36,0	31,7	41,9	26,5	19,1	25,2	55,7	22,1	29,2	48,7	27,7	36,6	35,7	31,7	41,9	26,3	30,9	40,8	28,3	20,5	27,1	52,5	34,8	46,0	19,3
A-5	18,9	62,7	18,4	20,5	67,8	11,8	20,5	67,7	11,8	21,5	71,2	7,3	18,6	61,4	20,0	18,4	60,8	20,8	18,2	60,2	21,5	19,8	65,5	14,7	19,6	65,0	15,3
B-1	10,4	33,2	56,3	12,6	40,2	47,2	12,6	40,2	47,2	14,4	45,8	39,8	11,3	35,8	52,9	10,7	33,9	55,5	11,3	35,8	52,9	13,0	41,2	45,8	12,3	39,2	48,5
B-2	8,6	38,3	53,1	10,3	45,7	44,0	10,3	45,8	44,0	11,6	51,6	36,8	9,4	41,8	48,8	8,6	38,5	52,9	9,2	41,2	49,6	10,7	47,6	41,7	9,9	44,2	45,9
B-3	15,5	37,3	47,2	18,2	43,8	38,0	18,2	43,8	38,0	20,2	48,8	31,0	14,4	34,6	51,0	16,2	39,1	44,7	15,1	36,4	48,5	16,4	39,5	44,1	18,3	44,1	37,6
B-4	14,1	35,9	50,1	16,7	42,5	40,8	16,7	42,5	40,9	18,7	47,6	33,7	13,4	34,2	52,4	14,7	37,5	47,8	14,0	35,7	50,3	15,4	39,1	45,5	16,7	42,6	40,7
B-5	12,2	35,6	52,2	14,6	42,3	43,1	14,6	42,3	43,1	16,4	47,6	36,0	11,9	34,7	53,3	12,9	37,5	49,6	12,5	36,3	51,2	13,7	39,8	46,5	14,7	42,7	42,6
B-6	13,6	36,1	50,2	16,2	42,9	41,0	16,2	42,8	41,0	18,1	48,0	33,8	13,2	34,9	52,0	13,5	35,6	50,9	13,1	34,7	52,1	15,1	39,9	45,0	15,4	40,8	43,9

Tablo A1.11: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,062	0,123	0,089	0,132	0,054	0,054	0,050	0,077	0,105
MD-MD	0,069	0,131	0,096	0,140	0,062	0,062	0,058	0,085	0,112
A-1	0,051	0,045	0,045	0,041	0,057	0,094	0,090	0,051	0,080
A-2	0,069	0,063	0,097	0,086	0,075	0,063	0,069	0,096	0,059
A-3	0,061	0,055	0,055	0,051	0,061	0,061	0,061	0,056	0,056
A-4	0,068	0,061	0,096	0,084	0,069	0,061	0,063	0,090	0,057
A-5	0,067	0,061	0,061	0,057	0,069	0,069	0,070	0,063	0,064
B-1	0,091	0,076	0,076	0,067	0,084	0,089	0,084	0,074	0,077
B-2	0,093	0,077	0,077	0,068	0,085	0,092	0,086	0,074	0,080
B-3	0,090	0,076	0,076	0,068	0,097	0,086	0,092	0,084	0,076
B-4	0,088	0,074	0,074	0,065	0,093	0,084	0,089	0,080	0,074
B-5	0,104	0,087	0,087	0,077	0,105	0,098	0,100	0,092	0,086
B-6	0,087	0,072	0,072	0,063	0,089	0,087	0,089	0,077	0,076

CR:0

Tablo A1.12: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,063	0,124	0,089	0,132	0,055	0,055	0,050	0,077	0,105
MD-MD	0,074	0,135	0,100	0,143	0,066	0,066	0,061	0,088	0,116
A-1	0,049	0,043	0,043	0,039	0,055	0,092	0,088	0,049	0,078
A-2	0,074	0,067	0,101	0,090	0,079	0,067	0,072	0,100	0,062
A-3	0,067	0,060	0,060	0,056	0,066	0,065	0,065	0,061	0,060
A-4	0,068	0,061	0,095	0,084	0,068	0,061	0,063	0,090	0,057
A-5	0,071	0,064	0,064	0,060	0,071	0,072	0,073	0,066	0,067
B-1	0,086	0,072	0,072	0,063	0,080	0,085	0,081	0,070	0,074
B-2	0,088	0,073	0,073	0,064	0,080	0,088	0,082	0,070	0,076
B-3	0,092	0,078	0,078	0,070	0,098	0,087	0,093	0,086	0,077
B-4	0,090	0,076	0,076	0,068	0,095	0,086	0,091	0,083	0,076
B-5	0,097	0,082	0,082	0,073	0,100	0,093	0,096	0,087	0,081
B-6	0,082	0,068	0,068	0,059	0,085	0,083	0,085	0,073	0,071

CR:0

Tablo A1.13: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	17,8	50,8	31,4	8,9	25,4	65,8	12,3	35,2	52,4	8,3	23,7	68,0	20,2	57,6	22,2	20,2	57,6	22,3	21,9	62,5	15,7	14,2	40,5	45,4	10,4	29,8	59,7
MD-MD	25,3	46,1	28,7	13,4	24,4	62,2	18,2	33,1	48,7	12,5	22,9	64,6	28,3	51,6	20,1	28,3	51,6	20,1	30,4	55,4	14,2	20,7	37,6	41,7	15,6	28,4	56,0
A-1	12,8	55,6	31,6	14,7	63,5	21,8	14,7	63,6	21,7	16,0	69,4	14,6	11,5	49,6	39,0	7,0	30,2	62,8	7,3	31,6	61,1	12,9	55,8	31,3	8,2	35,5	56,3
A-2	22,8	53,7	23,6	25,1	59,1	15,8	16,2	38,2	45,6	18,3	43,1	38,7	20,9	49,3	29,8	25,1	59,2	15,7	22,8	53,9	23,3	16,4	38,6	45,0	26,7	63,0	10,3
A-3	25,5	49,4	25,1	28,3	54,9	16,8	28,3	54,8	16,9	30,3	58,7	11,0	25,5	49,4	25,2	25,7	49,9	24,4	25,7	49,7	24,6	27,6	53,5	18,9	27,9	54,2	17,9
A-4	24,1	48,0	27,9	26,9	53,6	19,5	17,3	34,3	48,4	19,6	39,0	41,4	24,0	47,8	28,2	27,0	53,6	19,4	26,2	52,1	21,7	18,3	36,4	45,3	28,9	57,6	13,5
A-5	22,0	54,3	23,8	24,2	59,8	15,9	24,2	59,8	16,0	25,8	63,7	10,5	21,6	53,3	25,1	21,3	52,7	25,9	21,2	52,3	26,5	23,4	57,7	18,9	23,2	57,2	19,6
B-1	10,2	34,6	55,3	12,2	41,7	46,1	12,2	41,7	46,1	13,9	47,3	38,8	10,9	37,3	51,8	10,4	35,3	54,3	11,0	37,3	51,7	12,6	42,8	44,7	12,0	40,7	47,3
B-2	8,8	36,0	55,2	10,6	43,3	46,1	10,6	43,4	46,0	12,0	49,2	38,8	9,7	39,5	50,8	8,9	36,2	54,9	9,5	38,9	51,5	11,1	45,2	43,7	10,2	41,8	47,9
B-3	15,6	35,8	48,6	18,4	42,3	39,3	18,4	42,2	39,4	20,5	47,2	32,3	14,5	33,3	52,2	16,4	37,6	46,0	15,3	35,1	49,7	16,6	38,1	45,3	18,5	42,6	38,9
B-4	14,6	32,7	52,6	17,5	39,2	43,3	17,5	39,1	43,4	19,7	44,2	36,1	13,9	31,2	54,9	15,3	34,3	50,3	14,6	32,7	52,7	16,1	36,0	48,0	17,5	39,3	43,2
B-5	11,9	34,6	53,5	14,2	41,3	44,5	14,2	41,3	44,5	16,0	46,6	37,5	11,7	34,1	54,2	12,6	36,7	50,7	12,3	35,7	52,0	13,4	39,1	47,4	14,4	41,9	43,8
B-6	14,3	30,7	54,9	17,3	37,1	45,7	17,3	37,0	45,7	19,6	42,1	38,3	13,9	29,8	56,4	14,2	30,5	55,3	13,9	29,8	56,4	16,1	34,5	49,5	16,4	35,3	48,3

Tablo A1.14: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	17,4	47,6	35,0	8,8	24,2	67,0	12,2	33,5	54,3	8,3	22,6	69,1	19,9	54,5	25,5	19,9	54,5	25,6	21,8	59,5	18,7	14,1	38,6	47,2	10,4	28,5	61,1
MD-MD	23,6	44,9	31,5	13,0	24,7	62,3	17,4	33,2	49,3	12,2	23,3	64,4	26,6	50,6	22,8	26,5	50,6	22,8	28,7	54,6	16,7	19,8	37,8	42,4	15,1	28,8	56,1
A-1	13,5	55,9	30,7	15,4	63,8	20,8	15,4	63,9	20,8	16,8	69,7	13,6	11,9	49,3	38,8	7,1	29,6	63,3	7,5	30,9	61,6	13,4	55,5	31,1	8,4	34,9	56,7
A-2	21,3	53,3	25,4	23,6	58,9	17,5	15,6	38,8	45,6	17,5	43,8	38,7	19,9	49,6	30,6	23,6	58,9	17,5	21,7	54,2	24,1	15,8	39,4	44,8	25,2	62,8	12,0
A-3	23,4	50,3	26,3	26,0	55,9	18,1	26,0	55,8	18,2	27,8	59,8	12,4	23,6	50,7	25,7	23,8	51,2	25,0	23,9	51,3	24,8	25,6	54,9	19,5	25,8	55,5	18,6
A-4	24,2	47,2	28,6	27,0	52,8	20,2	17,3	33,8	48,9	19,7	38,4	41,9	24,1	47,1	28,9	27,1	52,9	20,1	26,3	51,4	22,3	18,4	35,9	45,8	29,1	56,8	14,1
A-5	20,9	54,5	24,6	23,1	60,2	16,7	23,1	60,1	16,8	24,6	64,1	11,3	20,7	53,9	25,4	20,5	53,3	26,2	20,4	53,1	26,5	22,4	58,3	19,3	22,2	57,8	20,0
B-1	10,7	33,9	55,4	12,9	40,9	46,2	12,9	40,9	46,2	14,7	46,5	38,8	11,5	36,4	52,1	10,9	34,3	54,8	11,5	36,2	52,3	13,2	41,8	45,0	12,6	39,7	47,7
B-2	9,3	34,8	55,9	11,3	42,0	46,7	11,3	42,0	46,7	12,8	47,8	39,3	10,2	38,1	51,7	9,3	34,8	55,9	10,0	37,3	52,6	11,7	43,7	44,5	10,8	40,3	48,9
B-3	15,3	36,3	48,4	18,0	42,8	39,2	18,0	42,8	39,2	20,1	47,7	32,2	14,3	33,9	51,9	16,1	38,2	45,7	15,0	35,7	49,3	16,3	38,7	45,0	18,2	43,2	38,6
B-4	14,3	35,2	50,5	17,0	41,8	41,2	17,0	41,8	41,2	19,0	46,9	34,1	13,6	33,5	52,9	14,9	36,8	48,2	14,2	35,0	50,8	15,6	38,4	45,9	17,0	41,9	41,1
B-5	12,7	35,3	52,1	15,1	42,0	42,9	15,1	42,0	43,0	17,0	47,2	35,8	12,3	34,2	53,5	13,3	37,0	49,7	12,8	35,7	51,4	14,1	39,3	46,6	15,2	42,2	42,6
B-6	15,2	28,8	56,0	18,4	35,0	46,7	18,4	34,9	46,7	20,9	39,9	39,2	14,6	27,7	57,7	14,9	28,4	56,6	14,5	27,6	57,8	17,0	32,3	50,8	17,4	33,0	49,6

Tablo A1.15: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,062	0,123	0,088	0,131	0,054	0,054	0,049	0,076	0,104
MD-MD	0,074	0,135	0,100	0,143	0,066	0,066	0,061	0,088	0,116
A-1	0,047	0,041	0,041	0,037	0,053	0,090	0,086	0,047	0,076
A-2	0,075	0,069	0,103	0,092	0,081	0,069	0,075	0,102	0,065
A-3	0,065	0,058	0,058	0,055	0,065	0,064	0,064	0,060	0,059
A-4	0,070	0,062	0,097	0,085	0,070	0,062	0,064	0,091	0,058
A-5	0,070	0,063	0,063	0,059	0,070	0,071	0,071	0,065	0,065
B-1	0,085	0,071	0,071	0,062	0,079	0,084	0,080	0,069	0,073
B-2	0,085	0,069	0,069	0,060	0,077	0,084	0,078	0,066	0,072
B-3	0,094	0,080	0,080	0,072	0,101	0,090	0,096	0,089	0,080
B-4	0,088	0,074	0,074	0,066	0,093	0,084	0,089	0,081	0,074
B-5	0,097	0,081	0,081	0,072	0,099	0,092	0,095	0,087	0,081
B-6	0,089	0,074	0,074	0,066	0,092	0,090	0,092	0,080	0,078

CR:0

Tablo A1.16: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{0, -}	{-, 0}	{-, -}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}	{+, -}
MD	0,070	0,130	0,095	0,137	0,061	0,061	0,055	0,083	0,110
MD-MD	0,076	0,136	0,101	0,143	0,067	0,067	0,061	0,089	0,116
A-1	0,050	0,044	0,044	0,041	0,057	0,093	0,089	0,050	0,079
A-2	0,067	0,061	0,096	0,085	0,074	0,061	0,068	0,095	0,058
A-3	0,059	0,054	0,054	0,050	0,060	0,059	0,060	0,055	0,055
A-4	0,071	0,063	0,097	0,085	0,070	0,063	0,064	0,091	0,058
A-5	0,066	0,060	0,060	0,057	0,068	0,069	0,069	0,063	0,063
B-1	0,091	0,076	0,076	0,067	0,085	0,089	0,085	0,074	0,078
B-2	0,094	0,078	0,078	0,069	0,086	0,093	0,087	0,075	0,081
B-3	0,087	0,074	0,074	0,066	0,094	0,083	0,090	0,083	0,074
B-4	0,086	0,072	0,072	0,064	0,091	0,082	0,087	0,079	0,072
B-5	0,095	0,081	0,081	0,072	0,099	0,092	0,095	0,087	0,081
B-6	0,086	0,072	0,072	0,063	0,089	0,087	0,089	0,077	0,075

CR:0

Tablo A1.17: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	17,6	44,5	37,8	8,9	22,5	68,5	12,4	31,4	56,2	8,4	21,1	70,5	20,4	51,5	28,1	20,4	51,5	28,2	22,4	56,6	21,0	14,4	36,4	49,2	10,6	26,7	62,8
MD-MD	23,6	44,7	31,7	13,0	24,6	62,4	17,5	33,1	49,5	12,3	23,2	64,6	26,6	50,4	23,0	26,6	50,4	23,0	28,8	54,4	16,8	19,9	37,6	42,5	15,1	28,6	56,2
A-1	14,0	55,5	30,5	16,1	63,4	20,5	16,1	63,5	20,4	17,6	69,3	13,1	12,3	48,5	39,2	7,3	28,7	64,0	7,6	30,0	62,4	13,9	54,7	31,4	8,6	33,9	57,5
A-2	20,9	55,7	23,4	23,0	61,2	15,8	15,3	40,8	43,9	17,2	45,8	37,1	19,4	51,8	28,8	23,0	61,3	15,8	21,1	56,3	22,5	15,5	41,3	43,3	24,4	65,0	10,6
A-3	24,1	50,9	25,0	26,7	56,4	16,9	26,7	56,3	17,0	28,5	60,2	11,3	24,1	51,0	24,9	24,4	51,5	24,1	24,4	51,5	24,2	26,1	55,2	18,7	26,4	55,8	17,8
A-4	23,7	48,4	27,9	26,4	54,0	19,6	17,0	34,8	48,2	19,3	39,5	41,2	23,6	48,2	28,2	26,5	54,0	19,5	25,7	52,6	21,7	18,1	36,9	45,0	28,4	58,0	13,6
A-5	21,2	53,1	25,6	23,5	58,9	17,6	23,5	58,9	17,6	25,1	62,9	12,0	21,0	52,6	26,3	20,8	52,0	27,2	20,7	51,9	27,4	22,8	57,1	20,1	22,6	56,6	20,8
B-1	10,8	32,7	56,5	13,1	39,6	47,3	13,1	39,6	47,3	15,0	45,2	39,9	11,7	35,2	53,2	11,0	33,2	55,8	11,6	35,1	53,3	13,4	40,5	46,0	12,7	38,5	48,8
B-2	9,7	31,4	58,9	11,8	38,3	49,9	11,8	38,4	49,8	13,6	44,1	42,4	10,7	34,6	54,7	9,7	31,5	58,8	10,5	34,0	55,6	12,3	40,1	47,6	11,3	36,8	51,9
B-3	14,9	38,5	46,7	17,4	45,1	37,5	17,4	45,0	37,6	19,3	50,0	30,6	13,9	35,9	50,2	15,6	40,3	44,1	14,6	37,7	47,7	15,8	40,9	43,3	17,6	45,4	37,0
B-4	14,6	33,8	51,5	17,4	40,3	42,2	17,4	40,3	42,3	19,6	45,4	35,0	13,9	32,1	54,0	15,3	35,4	49,3	14,5	33,6	51,9	16,0	37,0	47,0	17,5	40,4	42,2
B-5	12,7	35,0	52,3	15,2	41,7	43,1	15,2	41,7	43,1	17,1	46,9	36,0	12,4	34,0	53,7	13,4	36,7	49,9	12,9	35,5	51,6	14,2	39,0	46,8	15,3	41,9	42,8
B-6	14,0	33,9	52,2	16,7	40,4	42,9	16,7	40,4	42,9	18,8	45,6	35,6	13,5	32,7	53,8	13,8	33,5	52,7	13,5	32,6	53,9	15,5	37,6	46,9	15,9	38,4	45,7

Tablo A1.18: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve tatlı su beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{0, -}			{-, 0}			{-, -}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}			{+, -}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD	15,7	46,5	37,9	8,4	25,0	66,5	11,5	34,1	54,4	8,0	23,6	68,4	18,0	53,5	28,5	18,0	53,5	28,5	19,8	58,6	21,6	13,3	39,3	47,4	9,9	29,5	60,6
MD-MD	23,1	42,4	34,6	12,9	23,7	63,4	17,3	31,8	50,9	12,2	22,4	65,4	26,2	48,2	25,6	26,2	48,1	25,6	28,5	52,3	19,2	19,7	36,3	44,0	15,1	27,6	57,3
A-1	13,0	56,0	31,0	14,8	63,9	21,2	14,8	64,0	21,2	16,2	69,8	14,1	11,5	49,8	38,6	7,0	30,3	62,7	7,3	31,6	61,0	13,0	56,0	31,0	8,2	35,6	56,2
A-2	23,4	54,5	22,2	25,7	59,9	14,5	16,4	38,3	45,2	18,5	43,2	38,3	21,3	49,7	29,0	25,7	59,9	14,4	23,2	54,2	22,5	16,6	38,7	44,7	27,2	63,6	9,2
A-3	26,3	50,5	23,2	29,0	55,9	15,1	29,0	55,8	15,2	31,0	59,6	9,5	26,1	50,1	23,8	26,3	50,7	23,0	26,1	50,3	23,6	28,2	54,2	17,6	28,5	54,9	16,6
A-4	23,4	46,3	30,4	26,3	51,9	21,8	17,0	33,6	49,4	19,3	38,2	42,5	23,5	46,4	30,1	26,3	52,0	21,7	25,7	50,9	23,4	18,1	35,7	46,2	28,4	56,1	15,6
A-5	22,3	55,3	22,4	24,5	60,8	14,7	24,5	60,8	14,7	26,0	64,6	9,4	21,8	54,1	24,1	21,6	53,5	25,0	21,3	53,0	25,7	23,6	58,4	18,0	23,4	57,9	18,7
B-1	10,2	35,4	54,5	12,2	42,5	45,3	12,2	42,5	45,3	13,8	48,2	38,0	10,9	38,0	51,0	10,4	36,0	53,6	10,9	38,0	51,0	12,5	43,6	43,9	11,9	41,5	46,6
B-2	8,7	36,4	54,9	10,5	43,8	45,8	10,5	43,8	45,7	11,9	49,7	38,5	9,5	40,0	50,5	8,8	36,7	54,5	9,4	39,4	51,2	10,9	45,7	43,4	10,1	42,3	47,6
B-3	16,1	35,9	48,1	18,9	42,3	38,7	18,9	42,3	38,8	21,1	47,2	31,7	14,8	33,1	52,0	16,8	37,5	45,7	15,6	34,8	49,6	17,0	37,9	45,1	19,0	42,5	38,5
B-4	15,0	32,3	52,7	18,0	38,7	43,4	17,9	38,6	43,4	20,3	43,6	36,1	14,2	30,6	55,2	15,7	33,8	50,5	14,9	32,0	53,1	16,4	35,3	48,2	18,0	38,7	43,3
B-5	12,9	37,5	49,6	15,2	44,3	40,4	15,2	44,3	40,5	17,0	49,5	33,4	12,4	36,0	51,5	13,4	39,0	47,6	12,9	37,5	49,6	14,2	41,2	44,6	15,2	44,2	40,5
B-6	14,4	30,6	55,1	17,3	36,9	45,8	17,3	36,9	45,8	19,7	41,9	38,4	13,9	29,6	56,5	14,2	30,3	55,4	13,9	29,6	56,5	16,1	34,3	49,6	16,5	35,1	48,4

Tablo A1.19: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,089	0,080	0,083	0,080	0,077	0,077
MD-2	0,135	0,124	0,127	0,124	0,120	0,120
MD-3	0,112	0,164	0,098	0,095	0,087	0,142
MD-4	0,148	0,198	0,132	0,129	0,120	0,175
C-1	0,101	0,084	0,088	0,115	0,102	0,077
C-2	0,136	0,117	0,120	0,147	0,132	0,108
C-3	0,130	0,112	0,115	0,135	0,123	0,104
C-4	0,111	0,094	0,097	0,147	0,129	0,086

CR:0

Tablo A1.20: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,103	0,093	0,096	0,093	0,090	0,090
MD-2	0,152	0,140	0,144	0,140	0,136	0,136
MD-3	0,124	0,175	0,109	0,106	0,098	0,153
MD-4	0,161	0,211	0,145	0,142	0,133	0,188
C-1	0,088	0,071	0,074	0,102	0,089	0,064
C-2	0,116	0,097	0,101	0,128	0,113	0,089
C-3	0,124	0,107	0,110	0,130	0,117	0,099
C-4	0,094	0,078	0,081	0,131	0,113	0,071

CR:0

Tablo A1.21: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,121	0,111	0,115	0,112	0,109	0,108
MD-2	0,136	0,126	0,130	0,126	0,123	0,123
MD-3	0,142	0,193	0,127	0,124	0,116	0,171
MD-4	0,170	0,216	0,150	0,146	0,135	0,190
C-1	0,085	0,069	0,072	0,100	0,087	0,062
C-2	0,101	0,084	0,088	0,115	0,101	0,077
C-3	0,114	0,097	0,100	0,119	0,108	0,090
C-4	0,093	0,076	0,079	0,130	0,112	0,069

CR:0

Tablo A1.22: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	25,2	51,4	23,4	28,1	57,1	14,8	26,9	54,8	18,3	28,0	57,0	14,9	28,9	58,9	12,2	29,0	59,0	12,0
MD-2	26,8	51,3	21,9	29,2	56,0	14,8	28,4	54,5	17,1	29,2	55,9	14,9	30,1	57,7	12,1	30,1	57,8	12,0
MD-3	13,1	40,4	46,4	9,0	27,6	63,4	15,0	46,2	38,9	15,5	47,9	36,6	16,8	51,9	31,3	10,3	31,9	57,8
MD-4	13,2	46,1	40,7	9,9	34,5	55,6	14,8	51,7	33,5	15,2	53,1	31,7	16,3	56,9	26,8	11,2	39,1	49,7
C-1	10,4	38,9	50,7	12,5	46,8	40,7	12,0	45,0	43,0	9,1	34,1	56,8	10,4	38,7	50,9	13,7	51,2	35,1
C-2	12,4	44,0	43,6	14,4	51,2	34,3	14,0	49,8	36,2	11,4	40,6	47,9	12,7	45,2	42,1	15,6	55,2	29,2
C-3	23,7	35,4	40,9	27,4	41,0	31,6	26,6	39,7	33,7	22,8	34,0	43,2	25,0	37,4	37,5	29,4	43,9	26,8
C-4	14,2	38,7	47,1	16,9	45,9	37,2	16,3	44,3	39,5	10,7	29,2	60,1	12,3	33,4	54,3	18,3	49,8	31,9

Tablo A1.23: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	21,8	54,5	23,7	24,1	60,3	15,6	23,3	58,2	18,6	24,1	60,2	15,7	24,9	62,3	12,8	24,9	62,4	12,7
MD-2	23,8	55,4	20,8	25,8	60,0	14,2	25,2	58,6	16,2	25,8	60,0	14,3	26,6	61,8	11,6	26,6	61,9	11,5
MD-3	11,9	44,4	43,8	8,4	31,3	60,3	13,4	50,2	36,4	13,9	51,9	34,3	14,9	55,9	29,2	9,6	35,9	54,5
MD-4	12,1	50,8	37,1	9,2	38,8	51,9	13,4	56,4	30,2	13,8	57,8	28,5	14,6	61,5	23,9	10,4	43,6	46,0
C-1	12,0	30,7	57,3	14,9	38,0	47,1	14,2	36,3	49,6	10,3	26,4	63,3	11,9	30,4	57,7	16,5	42,2	41,3
C-2	14,6	36,9	48,5	17,3	43,9	38,8	16,7	42,4	40,9	13,2	33,4	53,4	14,9	37,6	47,5	18,9	47,8	33,3
C-3	24,6	32,7	42,7	28,7	38,1	33,2	27,8	36,9	35,3	23,7	31,4	45,0	26,1	34,6	39,2	30,9	40,9	28,2
C-4	16,8	31,0	52,2	20,4	37,6	42,0	19,5	36,0	44,5	12,0	22,2	65,7	14,0	25,8	60,2	22,4	41,3	36,4

Tablo A1.24: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	18,5	62,2	19,3	20,1	67,6	12,3	19,5	65,5	14,9	20,1	67,5	12,5	20,6	69,3	10,1	20,6	69,4	10,0
MD-2	26,6	55,6	17,9	28,7	59,9	11,4	27,9	58,3	13,8	28,6	59,8	11,5	29,3	61,3	9,3	29,4	61,4	9,2
MD-3	10,4	52,0	37,7	7,6	38,1	54,3	11,5	57,8	30,7	11,8	59,4	28,8	12,6	63,2	24,2	8,6	43,0	48,4
MD-4	11,5	43,5	45,0	9,0	34,4	56,6	13,0	49,5	37,5	13,3	50,6	36,0	14,4	54,8	30,8	10,3	39,0	50,7
C-1	12,3	29,6	58,0	15,3	36,8	47,9	14,6	35,0	50,4	10,5	25,3	64,2	12,2	29,2	58,6	17,1	40,9	42,0
C-2	16,6	32,3	51,0	20,1	39,0	41,0	19,3	37,4	43,3	14,7	28,6	56,7	16,7	32,5	50,8	22,0	42,7	35,4
C-3	27,0	28,4	44,6	31,7	33,4	34,9	30,6	32,2	37,1	25,7	27,0	47,3	28,5	30,0	41,5	34,3	36,0	29,7
C-4	17,1	29,9	53,0	20,8	36,4	42,8	19,9	34,8	45,3	12,2	21,3	66,5	14,2	24,8	61,1	22,9	40,0	37,1

Tablo A1.25: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	18,5	56,8	24,7	20,4	62,7	16,9	19,8	60,8	19,4	20,4	62,6	17,0	21,1	64,9	14,0	21,1	65,0	13,9
MD-2	24,1	54,4	21,4	26,2	59,2	14,6	25,6	57,7	16,7	26,2	59,1	14,7	27,0	61,0	12,0	27,0	61,0	11,9
MD-3	11,1	50,3	38,5	8,0	36,0	56,0	12,4	56,1	31,5	12,8	57,8	29,4	13,6	61,6	24,7	9,0	40,8	50,1
MD-4	12,6	51,8	35,6	9,5	38,9	51,6	13,9	57,3	28,8	14,3	58,7	27,0	15,1	62,3	22,6	10,6	43,7	45,7
C-1	12,6	26,8	60,6	15,9	33,6	50,5	15,1	32,0	53,0	10,8	22,9	66,4	12,5	26,6	60,9	17,7	37,7	44,6
C-2	16,4	30,8	52,9	19,8	37,3	42,9	19,0	35,8	45,1	14,6	27,4	58,0	16,6	31,3	52,1	21,8	41,0	37,2
C-3	24,8	31,3	43,9	29,0	36,6	34,4	28,1	35,4	36,5	23,9	30,1	46,1	26,4	33,3	40,3	31,3	39,4	29,3
C-4	16,8	28,5	54,7	20,6	34,9	44,6	19,7	33,4	47,0	12,1	20,5	67,4	14,1	23,9	62,0	22,7	38,5	38,8

Tablo A1.26: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,121	0,110	0,113	0,110	0,106	0,106
MD-2	0,150	0,138	0,141	0,138	0,134	0,134
MD-3	0,132	0,184	0,118	0,115	0,108	0,162
MD-4	0,155	0,206	0,140	0,137	0,129	0,184
C-1	0,083	0,066	0,070	0,098	0,084	0,059
C-2	0,103	0,085	0,089	0,116	0,101	0,077
C-3	0,124	0,106	0,109	0,129	0,116	0,098
C-4	0,094	0,077	0,080	0,131	0,112	0,070

CR:0

Tablo A1.27: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,113	0,101	0,104	0,101	0,097	0,097
MD-2	0,148	0,136	0,140	0,137	0,132	0,132
MD-3	0,124	0,176	0,110	0,107	0,099	0,154
MD-4	0,153	0,204	0,138	0,135	0,127	0,182
C-1	0,087	0,071	0,074	0,102	0,089	0,064
C-2	0,110	0,092	0,096	0,123	0,109	0,085
C-3	0,128	0,110	0,114	0,133	0,120	0,102
C-4	0,099	0,082	0,085	0,135	0,117	0,074

CR:0

Tablo A1.28: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,138	0,126	0,129	0,126	0,122	0,122
MD-2	0,150	0,138	0,141	0,138	0,134	0,134
MD-3	0,138	0,189	0,123	0,120	0,112	0,167
MD-4	0,155	0,206	0,140	0,136	0,128	0,183
C-1	0,079	0,063	0,067	0,094	0,081	0,056
C-2	0,096	0,079	0,083	0,110	0,096	0,072
C-3	0,116	0,098	0,102	0,121	0,109	0,091
C-4	0,090	0,073	0,077	0,127	0,109	0,067

CR:0

Tablo A1.29: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	19,8	51,7	28,4	22,2	57,9	20,0	21,5	56,0	22,6	22,1	57,8	20,1	23,1	60,3	16,6	23,2	60,4	16,4
MD-2	24,4	54,0	21,6	26,5	58,7	14,7	25,9	57,3	16,8	26,5	58,7	14,8	27,3	60,6	12,1	27,4	60,6	12,0
MD-3	11,9	46,2	41,9	8,3	32,6	59,1	13,3	52,0	34,6	13,8	53,7	32,5	14,8	57,7	27,5	9,5	37,2	53,3
MD-4	12,8	51,3	35,9	9,6	38,4	52,0	14,1	56,8	29,1	14,5	58,2	27,3	15,4	61,8	22,8	10,7	43,2	46,1
C-1	12,1	31,5	56,4	14,9	38,9	46,2	14,2	37,1	48,7	10,3	27,0	62,7	11,9	31,1	57,0	16,5	43,1	40,4
C-2	15,4	37,0	47,7	18,2	44,0	37,8	17,6	42,4	40,1	13,7	33,1	53,2	15,5	37,2	47,3	19,8	47,8	32,4
C-3	23,9	33,2	42,9	27,9	38,7	33,4	27,0	37,5	35,5	23,1	32,0	44,9	25,5	35,4	39,1	30,0	41,6	28,4
C-4	16,0	32,1	51,9	19,4	38,8	41,8	18,6	37,3	44,2	11,7	23,4	64,9	13,5	27,1	59,3	21,2	42,6	36,2

Tablo A1.30: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve II. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	16,2	60,4	23,3	17,8	66,2	16,0	17,3	64,4	18,2	17,8	66,1	16,1	18,4	68,4	13,2	18,4	68,5	13,1
MD-2	24,2	54,4	21,5	26,3	59,1	14,6	25,6	57,7	16,7	26,2	59,0	14,7	27,1	60,9	12,0	27,1	61,0	11,9
MD-3	10,6	48,3	41,0	7,8	35,4	56,9	11,9	54,3	33,8	12,3	55,9	31,9	13,1	59,9	27,0	8,8	40,2	51,0
MD-4	12,6	50,8	36,6	9,5	38,3	52,2	14,0	56,3	29,7	14,3	57,7	27,9	15,2	61,4	23,4	10,7	43,0	46,3
C-1	13,3	26,5	60,2	16,7	33,3	50,0	15,8	31,5	52,6	11,2	22,2	66,6	13,0	25,9	61,2	18,7	37,2	44,1
C-2	17,6	29,5	52,9	21,3	35,9	42,8	20,4	34,4	45,2	15,4	25,9	58,7	17,6	29,6	52,9	23,4	39,4	37,1
C-3	26,4	27,3	46,3	31,2	32,2	36,6	30,1	31,1	38,7	25,3	26,2	48,5	28,2	29,1	42,7	33,8	34,9	31,3
C-4	17,6	28,1	54,2	21,6	34,5	44,0	20,6	32,9	46,5	12,4	19,9	67,7	14,5	23,2	62,3	23,8	38,0	38,3

Tablo A1.31: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,089	0,080	0,083	0,080	0,077	0,077
MD-2	0,135	0,124	0,127	0,124	0,120	0,120
MD-3	0,112	0,164	0,098	0,094	0,087	0,142
MD-4	0,147	0,197	0,131	0,128	0,119	0,174
C-1	0,103	0,085	0,089	0,117	0,103	0,078
C-2	0,138	0,119	0,122	0,149	0,135	0,110
C-3	0,127	0,109	0,112	0,132	0,119	0,101
C-4	0,112	0,095	0,098	0,149	0,130	0,088

CR:0

Tablo A1.32: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,101	0,092	0,095	0,092	0,089	0,088
MD-2	0,150	0,138	0,142	0,138	0,134	0,134
MD-3	0,122	0,174	0,108	0,104	0,097	0,151
MD-4	0,159	0,208	0,143	0,139	0,131	0,185
C-1	0,093	0,076	0,080	0,107	0,094	0,069
C-2	0,123	0,104	0,108	0,135	0,120	0,096
C-3	0,118	0,100	0,103	0,123	0,110	0,092
C-4	0,096	0,080	0,083	0,134	0,116	0,073

CR:0

Tablo A1.33: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,117	0,108	0,111	0,108	0,105	0,105
MD-2	0,133	0,124	0,127	0,124	0,121	0,121
MD-3	0,138	0,190	0,124	0,120	0,113	0,168
MD-4	0,166	0,212	0,146	0,142	0,131	0,186
C-1	0,091	0,074	0,078	0,106	0,092	0,067
C-2	0,109	0,091	0,095	0,122	0,108	0,084
C-3	0,111	0,094	0,098	0,117	0,105	0,087
C-4	0,096	0,080	0,083	0,134	0,116	0,073

CR:0

Tablo A1.34: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	26,5	50,2	23,3	29,5	55,8	14,7	28,3	53,5	18,2	29,4	55,7	14,9	30,4	57,5	12,1	30,4	57,6	12,0
MD-2	28,1	50,1	21,8	30,6	54,7	14,7	29,8	53,2	17,0	30,6	54,6	14,8	31,6	56,4	12,1	31,6	56,4	12,0
MD-3	13,8	39,6	46,6	9,4	27,0	63,6	15,8	45,3	39,0	16,3	46,9	36,7	17,7	50,9	31,4	10,9	31,2	57,9
MD-4	13,8	45,3	40,9	10,3	33,8	55,9	15,5	50,9	33,7	15,9	52,3	31,9	17,0	56,0	27,0	11,7	38,4	50,0
C-1	10,5	39,6	49,9	12,6	47,5	39,9	12,1	45,6	42,2	9,2	34,7	56,0	10,5	39,4	50,1	13,8	51,8	34,4
C-2	12,5	44,6	42,9	14,5	51,8	33,6	14,1	50,4	35,5	11,6	41,3	47,2	12,8	45,8	41,4	15,6	55,8	28,6
C-3	20,0	37,5	42,6	23,2	43,6	33,1	22,5	42,3	35,2	19,2	36,1	44,7	21,2	39,8	39,0	25,0	46,9	28,1
C-4	14,5	39,1	46,4	17,1	46,3	36,6	16,5	44,6	38,9	10,9	29,5	59,6	12,5	33,8	53,8	18,5	50,1	31,3

Tablo A1.35: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	23,1	52,8	24,1	25,7	58,5	15,8	24,7	56,4	18,9	25,6	58,4	16,0	26,5	60,4	13,1	26,5	60,5	12,9
MD-2	25,3	53,6	21,2	27,4	58,2	14,4	26,8	56,8	16,4	27,4	58,1	14,5	28,3	59,9	11,8	28,3	60,0	11,7
MD-3	12,6	43,0	44,4	8,9	30,3	60,8	14,3	48,8	36,9	14,8	50,4	34,8	15,9	54,4	29,7	10,2	34,7	55,1
MD-4	12,8	49,5	37,7	9,7	37,6	52,7	14,2	55,0	30,8	14,6	56,4	29,1	15,5	60,1	24,4	10,9	42,3	46,8
C-1	11,6	34,3	54,1	14,2	41,9	43,9	13,6	40,1	46,3	10,0	29,7	60,3	11,5	34,0	54,5	15,6	46,2	38,2
C-2	14,1	40,2	45,7	16,6	47,3	36,1	16,0	45,8	38,2	12,8	36,6	50,6	14,3	41,0	44,7	17,9	51,2	30,9
C-3	21,5	32,9	45,5	25,3	38,8	35,9	24,5	37,5	38,0	20,6	31,6	47,8	22,9	35,1	42,0	27,4	42,0	30,6
C-4	16,8	32,8	50,4	20,3	39,5	40,2	19,5	37,9	42,7	12,1	23,6	64,2	14,0	27,3	58,6	22,2	43,2	34,7

Tablo A1.36: Doğalgaz ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	20,0	60,5	19,5	21,7	65,9	12,4	21,1	63,9	15,1	21,7	65,8	12,5	22,3	67,6	10,1	22,3	67,6	10,0
MD-2	28,5	53,7	17,8	30,7	57,9	11,4	29,9	56,4	13,7	30,7	57,8	11,5	31,4	59,3	9,3	31,5	59,3	9,2
MD-3	11,2	50,5	38,3	8,1	36,7	55,2	12,4	56,2	31,3	12,8	57,9	29,3	13,6	61,7	24,7	9,2	41,5	49,3
MD-4	12,2	42,2	45,6	9,6	33,1	57,3	13,9	48,1	38,0	14,2	49,3	36,5	15,4	53,4	31,2	10,9	37,7	51,5
C-1	11,9	33,9	54,2	14,5	41,5	43,9	13,9	39,6	46,5	10,2	29,2	60,6	11,7	33,4	54,8	16,0	45,7	38,2
C-2	15,8	34,3	49,9	18,9	41,0	40,0	18,2	39,5	42,2	14,2	30,8	55,0	16,0	34,8	49,1	20,7	44,8	34,5
C-3	22,7	31,3	46,0	26,9	36,9	36,2	25,9	35,6	38,4	21,6	29,7	48,6	24,1	33,1	42,8	29,1	40,0	30,9
C-4	16,8	32,5	50,7	20,3	39,2	40,5	19,5	37,6	43,0	12,2	23,4	64,4	14,1	27,1	58,8	22,2	42,8	34,9

Tablo A1.37: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	19,8	54,9	25,3	21,9	60,8	17,3	21,2	58,9	19,9	21,9	60,7	17,5	22,7	63,0	14,3	22,7	63,1	14,2
MD-2	25,7	52,5	21,8	28,0	57,1	14,9	27,3	55,7	17,0	28,0	57,0	15,0	28,9	58,9	12,2	28,9	58,9	12,1
MD-3	11,9	48,7	39,3	8,5	34,6	56,9	13,3	54,4	32,2	13,8	56,1	30,1	14,7	59,9	25,4	9,6	39,4	51,0
MD-4	13,4	50,1	36,5	10,0	37,4	52,5	14,8	55,5	29,6	15,2	57,0	27,8	16,2	60,5	23,3	11,3	42,1	46,6
C-1	12,1	31,5	56,4	14,9	38,9	46,3	14,2	37,1	48,7	10,4	27,1	62,5	12,0	31,2	56,8	16,5	43,1	40,5
C-2	15,6	35,0	49,4	18,7	41,8	39,5	18,0	40,3	41,7	14,1	31,4	54,5	15,9	35,5	48,6	20,4	45,6	34,0
C-3	21,5	32,2	46,2	25,4	38,0	36,5	24,6	36,8	38,7	20,7	30,9	48,4	23,0	34,5	42,5	27,5	41,2	31,2
C-4	16,5	31,3	52,2	19,9	37,9	42,1	19,1	36,4	44,5	12,0	22,9	65,1	13,9	26,5	59,6	21,9	41,6	36,5

Tablo A1.38: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının ısı kazanımsız uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,119	0,107	0,111	0,107	0,103	0,103
MD-2	0,147	0,136	0,139	0,136	0,131	0,131
MD-3	0,129	0,181	0,115	0,112	0,105	0,160
MD-4	0,151	0,202	0,136	0,133	0,125	0,180
C-1	0,089	0,073	0,076	0,104	0,090	0,065
C-2	0,110	0,092	0,096	0,123	0,109	0,085
C-3	0,117	0,100	0,103	0,122	0,110	0,092
C-4	0,099	0,081	0,085	0,135	0,117	0,074

CR:0

Tablo A1.39: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,115	0,103	0,106	0,103	0,099	0,099
MD-2	0,147	0,135	0,138	0,135	0,131	0,130
MD-3	0,120	0,172	0,106	0,102	0,095	0,150
MD-4	0,149	0,201	0,135	0,131	0,124	0,178
C-1	0,092	0,075	0,078	0,106	0,093	0,068
C-2	0,114	0,096	0,100	0,127	0,113	0,089
C-3	0,122	0,104	0,107	0,127	0,114	0,096
C-4	0,105	0,087	0,091	0,141	0,123	0,080

CR:0

Tablo A1.40: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP performans skorları (3a ve 3d kriterlerinde 0; nötr, +;pozitif, -;negatif etkisini ifade etmektedir).

	{0, 0}	{-, 0}	{0, +}	{+, 0}	{+, +}	{-, +}
MD-1	0,134	0,122	0,125	0,122	0,118	0,117
MD-2	0,146	0,134	0,138	0,135	0,130	0,130
MD-3	0,135	0,186	0,120	0,116	0,108	0,163
MD-4	0,150	0,201	0,135	0,132	0,124	0,179
C-1	0,085	0,069	0,073	0,101	0,087	0,063
C-2	0,103	0,086	0,089	0,116	0,103	0,078
C-3	0,115	0,097	0,101	0,120	0,107	0,089
C-4	0,094	0,077	0,081	0,131	0,113	0,071

CR:0

Tablo A1.41: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış beslemeli İO/MD senaryolarının harici ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	20,4	51,6	28,0	22,8	57,6	19,6	22,1	55,8	22,2	22,8	57,5	19,7	23,8	60,0	16,2	23,8	60,1	16,1
MD-2	25,9	52,3	21,9	28,2	56,9	14,9	27,5	55,5	17,0	28,1	56,8	15,0	29,1	58,7	12,3	29,1	58,7	12,2
MD-3	12,9	43,7	43,4	9,0	30,5	60,5	14,5	49,5	36,0	15,0	51,2	33,8	16,2	55,1	28,7	10,3	34,9	54,8
MD-4	13,6	49,8	36,7	10,1	37,0	52,9	15,0	55,2	29,8	15,4	56,6	28,0	16,4	60,2	23,5	11,4	41,7	47,0
C-1	11,8	34,4	53,8	14,4	42,0	43,6	13,8	40,2	46,1	10,1	29,6	60,2	11,6	33,9	54,5	15,8	46,3	37,9
C-2	15,2	38,7	46,1	18,0	45,7	36,4	17,3	44,1	38,6	13,6	34,7	51,7	15,3	38,9	45,8	19,5	49,5	31,1
C-3	20,8	34,2	45,1	24,4	40,1	35,5	23,6	38,8	37,6	20,0	32,9	47,1	22,2	36,5	41,3	26,4	43,4	30,3
C-4	15,5	35,4	49,0	18,6	42,4	39,0	17,9	40,8	41,4	11,5	26,2	62,3	13,2	30,2	56,6	20,2	46,2	33,6

Tablo A1.42: Atıl ısı ile ısıtma seçeneğinde MD ve III. arıtma çıkış suyu beslemeli İO/MD senaryolarının dahili ısı kazanımı uygulamalarının AHP kriterlerinin % dağılımı.

	{0, 0}			{-, 0}			{0, +}			{+, 0}			{+, +}			{-, +}		
	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.	Tek.	Eko.	Çev.
MD-1	17,6	58,5	24,0	19,3	64,2	16,5	18,8	62,5	18,8	19,3	64,1	16,6	20,0	66,4	13,6	20,0	66,5	13,5
MD-2	25,9	52,2	21,9	28,2	56,8	14,9	27,5	55,4	17,0	28,2	56,8	15,0	29,1	58,6	12,2	29,2	58,7	12,2
MD-3	11,4	46,6	42,0	8,3	33,8	57,9	12,9	52,4	34,7	13,2	54,0	32,7	14,2	58,0	27,8	9,4	38,5	52,0
MD-4	13,5	49,0	37,5	10,1	36,6	53,3	15,0	54,4	30,6	15,3	55,9	28,8	16,3	59,5	24,2	11,3	41,3	47,4
C-1	12,6	31,6	55,8	15,6	39,0	45,4	14,8	37,1	48,0	10,7	26,8	62,5	12,4	30,9	56,8	17,2	43,1	39,7
C-2	16,8	33,7	49,5	20,2	40,4	39,4	19,4	38,8	41,8	14,9	29,8	55,3	16,8	33,7	49,4	22,0	44,1	33,9
C-3	22,0	30,5	47,5	26,0	36,2	37,7	25,2	35,0	39,9	21,1	29,3	49,6	23,5	32,7	43,7	28,3	39,3	32,4
C-4	17,3	30,9	51,8	21,0	37,4	41,6	20,1	35,8	44,1	12,4	22,1	65,5	14,4	25,6	60,0	23,0	41,0	36,0

Ek B: AHP Hesaplamaları

- Teknik Performans Kriterlerinin Hesaplanması

Hesaplamalarda kullanılan alternatiflerin teknik verileri tezin materyal metod bölümündeki saha ölçeğe benzeştirme ve sistem tasarımları başlığı altında tatlı su beslemeli senaryolar için Tablo 3.6’da, arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolar için Tablo 3.7’de verilen değerler direkt kullanılmıştır.

- Ekonomik Performans Kriterlerinin Hesaplanması

Hesaplamalarda kullanılan alternatiflerin ekonomik verileri tezin sonuç bölümündeki saha uygulanabilirlik maliyet analiz sonuçları başlığı altında tatlı su beslemeli senaryolar için Tablo 4.5 ve 4.6’da, arıtma çıkış suyu beslemeli senaryolar için Tablo 4.7-4.10’da verilen değerler direkt kullanılmıştır. Geri ödeme süresinin pozitif elde edilemediği durumlarda geri ödeme süresi ekonomik performanslara katılmayarak sadece birim arıtma için ekonomik performans hesaplanmıştır.

- Çevresel Performans Kriterlerinin Hesaplanması

Alternatiflerin tatlı su kayıp oranları ve arıtılmış atık su kazanım oranları Tablo 3.6 ve 3.7’de verilen değerler kullanılmıştır.

Yük miktarı konsantre akımdaki TÇM miktarından deniz suyunun TÇM miktarı (23 g/L) çıkarılarak konsantre debisiyle çarpılmasıyla elde edilmiştir.

Atmosfere verilen karbon miktarı sistemlerin enerji ihtiyaçlarının emisyon faktörleriyle çarpılmasıyla elde edilerek materyal metod bölümünde karbon hesaplamaları bölümünde verilmiştir.

Tatlı su tüketim ve atıksu tüketim oranları için ise yine Tablo 3.6 ve 3.7’de verilen değerler kullanılmıştır.

- Örnek AHP Çözümü

Atıl ısı ile ısıtmada dahili ısı kazanımı uygulaması için örnek AHP çözümü aşağıda gösterilmiştir. İlk olarak her bir kriter için Tablo B1.1’de verilen karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Tablo B1.1: Birim arıtma kriterinin karşılaştırma matrisinin gösterimi.

Alternatifler	Birim arıtma												
	MD	MD-MD	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
MD	1,00	0,99	0,94	0,81	0,98	0,93	0,81	0,88	0,87	0,95	1,05	0,80	1,08
MD-MD	1,01	1,00	0,95	0,82	0,99	0,93	0,81	0,89	0,88	0,96	1,06	0,80	1,09
A-1	1,06	1,05	1,00	0,86	1,04	0,98	0,86	0,93	0,92	1,01	1,12	0,85	1,14
A-2	1,23	1,22	1,16	1,00	1,21	1,14	1,00	1,08	1,07	1,17	1,30	0,98	1,33
A-3	1,02	1,01	0,96	0,83	1,00	0,94	0,82	0,89	0,88	0,97	1,07	0,81	1,10
A-4	1,08	1,07	1,02	0,88	1,06	1,00	0,87	0,95	0,94	1,02	1,14	0,86	1,16
A-5	1,24	1,23	1,16	1,00	1,21	1,15	1,00	1,09	1,07	1,18	1,30	0,98	1,33
B-1	1,14	1,13	1,07	0,92	1,12	1,06	0,92	1,00	0,99	1,08	1,20	0,91	1,23
B-2	1,15	1,14	1,08	0,94	1,13	1,07	0,93	1,01	1,00	1,09	1,21	0,92	1,24
B-3	1,05	1,04	0,99	0,85	1,03	0,98	0,85	0,92	0,91	1,00	1,11	0,84	1,13
B-4	0,95	0,94	0,89	0,77	0,93	0,88	0,77	0,83	0,82	0,90	1,00	0,76	1,02
B-5	1,26	1,25	1,18	1,02	1,23	1,16	1,02	1,10	1,09	1,19	1,32	1,00	1,35
B-6	0,93	0,92	0,87	0,75	0,91	0,86	0,75	0,82	0,81	0,88	0,98	0,74	1,00

Daha sonra özvektörün hesaplanması için Tablo B1.2’de verilen normalize matris oluşturulur.

Tablo B1.2: Birim arıtma kriterinin normalize matrisi.

Alternatifler	Birim arıtma													
	MD	MD-MD	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	Öz vektör
MD	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709	0,0709
MD-MD	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714	0,0714
A-1	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753	0,0753
A-2	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873	0,0873
A-3	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721	0,0721
A-4	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764	0,0764
A-5	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876	0,0876
B-1	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807	0,0807
B-2	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816	0,0816
B-3	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746	0,0746
B-4	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672	0,0672
B-5	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890
B-6	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658	0,0658

Tablo B1.3: Ekonomik performans kriterinin karşılaştırma matrisi.

Ekonomik performans	Birim arıtma	Geri ödeme	Öz vektör
Birim arıtma	1,00	1,00	0,50
Geri ödeme	1,00	1,00	0,50

Her bir alt kriter için Tablo B1.2'deki gibi özvektörler hesaplanarak Tablo B1.4'deki gibi biraraya getirilerek ekonomik performans kriterinin özvektörü ile çarpılmasıyla ekonomik performans skoru elde edilir.

Tablo B1.4: Alternatiflerin ekonomik performans skorları ve sıralaması.

Alternatifler	Alt kriterlerin öz vektörleri		Öz vektör	Skor	Sıralama
	Birim arıtma	Geri ödeme			
MD	0,0709	0,0849	0,50	0,0779	6
MD-MD	0,0714	0,0829	0,50	0,0772	8
A-1	0,0753	0,0605		0,0679	11
A-2	0,0873	0,0889		0,0881	2
A-3	0,0721	0,0717		0,0719	10
A-4	0,0764	0,0802		0,0783	5
A-5	0,0876	0,0886		0,0881	1
B-1	0,0807	0,0738		0,0773	7
B-2	0,0816	0,0829		0,0822	4
B-3	0,0746	0,0757		0,0751	9
B-4	0,0672	0,0662		0,0667	12
B-5	0,0890	0,0826		0,0858	3
B-6	0,0658	0,0611		0,0634	13

Alternatiflerin teknik ve çevresel performans skorları da yukarıdaki anlayışa göre hesaplanır.

Tablo B1.5: Genel kriterlerin karşılaştırma matrisi.

Performans	Teknik	Ekonomik	Çevresel	Öz vektör
Teknik	1,00	0,40	0,40	0,1667
Ekonomik	2,50	1,00	1,00	0,4167
Çevresel	2,50	1,00	1,00	0,4167

Daha sonra tüm kriterlerin performans skorları Tablo B1.6'daki gibi bir araya getirilerek genel kriterlerin özvektörü ile çarpılarak nihai skor elde edilir.

Tablo B1.6: Alternatiflerin genel performans skorları ve sıralaması.

Alternatifler	Kriterlerin öz vektörleri			Öz vektör	Skor	Sıralama
	Teknik	Ekonomik	Çevresel			
MD	0,0657	0,0779	0,2255	0,1667	0,1374	2
MD-MD	0,1050	0,0772	0,2251	0,4167	0,1435	1
A-1	0,0393	0,0679	0,0137	0,4167	0,0405	13
A-2	0,0944	0,0881	0,0780		0,0849	4
A-3	0,0935	0,0719	0,0114		0,0503	12
A-4	0,0990	0,0783	0,0870		0,0854	3
A-5	0,0888	0,0881	0,0128		0,0569	11
B-1	0,0555	0,0773	0,0610		0,0668	7
B-2	0,0491	0,0822	0,0637		0,0690	6
B-3	0,0840	0,0751	0,0504		0,0663	8
B-4	0,0775	0,0667	0,0552		0,0637	9
B-5	0,0738	0,0858	0,0579		0,0722	5
B-6	0,0744	0,0634	0,0582		0,0631	10