

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜK SAHİL YERLEŞİMLERİNDE SU TEMİNİNDE ÇOKLU KARAR
ANALİZLERİYLE DESALİNASYON TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat SÖNMEZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜK SAHİL YERLEŞİMLERİNDE SU TEMİNİNDE ÇOKLU KARAR
ANALİZLERİYLE DESALİNASYON TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat SÖNMEZ
(501081745)**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlhan TALINLI

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501081745** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Murat SÖNMEZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KÜÇÜK SAHİL YERLEŞİMLERİNDE SU TEMİNİNDE ÇOKLU KARAR ANALİZLERİYLE DESALİNASYON TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İlhan TALINLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Emine UBAY ÇOKGÖR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yalçın Güneş
Namık Kemal Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında; desteklerini, mesleki ve hayata dair değerli bilgilerini esirgemeyen çok değerli sayın hocam Prof. Dr. İlhan TALINLI'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitim hayatımda tanıdığım ve bana her zaman her anlamda destek olmuş İTÜ Radyosu'nun yöneticisi, çok değerli sayın hocam Öğr. Gör. A. Suha ÇALKIVİK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İTÜ Radyosu'nda bulunduğum süre boyunca çok arkadaşım oldu. Hepsinin yeri benim için çok değerlidir. Onlara da iyi ki var oldular diyorum.

Çalışmam boyunca manevi destekleri ile her zaman yanımda olduklarını bildiğim, beni yalnız bırakmayan aileme de teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Murat Sönmez
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	1
2. SU TEMİNİ	3
2.1 Hidrolojik Çevrim ve Suyun Durumu	3
2.2 Su Alma Yapıları	4
2.2.1 Yüzeysel sulardan su alma.....	4
2.2.2 Yeraltından su alma	8
2.2.2.1 Memba sularının toplanması	8
2.2.2.2 Hazneli kuyular	9
2.2.2.3 Borulu kuyular	10
2.3 Desalinasyon Tesisleri için Kullanılan Su Alma Yapıları.....	11
2.4 Suyun İletimi	14
3. DESALİNASYON	15
3.1 Deniz Suyu.....	17
3.2 Termal Teknolojiler	19
3.2.1 Ön arıtma	19
3.2.2 Çok kademeli ani damıtma (MSF)	19
3.2.3 Çok etkili damıtma (MED)	21
3.2.4 Buhar sıkıştırma (VC).....	22
3.3 Membran Teknolojileri	23
3.3.1 Ön arıtma	23
3.3.2 Ters osmoz (RO).....	24
3.3.3 Nanofiltrasyon (NF).....	25
3.3.4 Elektrodializ (ED) ve tersine elektrodializ (EDR).....	25
3.3.5 İleri osmoz, çarpılmış elektrodializ, sabit iyon giderimi	27
3.4 İleri Arıtma	27
3.5 Enerji Tüketimi	28
3.6 Çevresel Etkiler	28
3.7 Desalinasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	29
4. BULANIK MANTIK VE ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ	33
4.1 Bulanık Mantık	33
4.1.1 Bulanık küme teorisi.....	35
4.1.2 Üyelik fonksiyonları	35
4.1.3 Bulanık kümelerde işlemler	37

4.1.4 Bulanık sayılar	38
4.1.4.1 Üçgensel bulanık sayılarda işlemler	38
4.1.4.2 Yamuk bulanık sayılarda işlemler	39
4.1.5 Bulanık sayılarda sıralama	39
4.1.5.1 Liou ve Wang'ın sıralama metodu	40
4.1.5.2 Bulanık ortalama değer yöntemiyle sıralama	41
4.1.6 Durulaştırma	41
4.2 Çok Kriterli Karar Verme	42
4.3 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	43
4.3.1 Hiyerarşik yapının oluşturulması	44
4.3.2 İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması	45
5. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (FAHP)	47
5.1 Laarhoven ve Pedrycz'in 1983 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım	47
5.2 Buckley'in 1985 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım	48
5.3 Chang'ın 1996 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım	48
5.4 Çözüm Yaklaşımı	50
5.4.1 Karar ölçeğinin bulanıklaştırılması	51
5.4.2 Bütüncül prensip	52
5.4.3 Kriterlerin değerlendirilmesi	53
5.4.4 Alt kriterlerin değerlendirilmesi	53
5.4.5 Alternatiflerin değerlendirilmesi	54
5.4.6 Performans matrisi	54
5.4.7 Son değerlendirmeler ve sentez	55
6. UYGULAMA	57
6.1 Senaryo	57
6.1.1 İlçenin coğrafi konumu, iklimi ve nüfusu	57
6.1.2 Sunulan seçenekler hakkında bilgiler	59
6.2 Hiyerarşik Yapı	67
6.3 Değerlendirme, Sentez ve Sıralama	69
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	85
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	91

KISALTMALAR

MED	: Çok Etkili Damıtma
MSF	: Çok Kademeli Ani Damıtma
RO	: Ters Osmoz
VC	: Buhar Sıkıştırma
NF	: Nanofiltrasyon
ED	: Elektrodializ
EDR	: Elektrodializ Tersine
FAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
MVC	: Mekanik Buhar Sıkıştırma
TVC	: Termal Buhar Sıkıştırma
FO	: İleri Osmoz
TKM	: Toplam Katı Madde
TÇK	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
BKV	: Bulanık Karar Verici
Tİ	: Terfi İstasyonu
DH	: Depolama Haznesi
AT	: Arıtma Tesisi
A	: Teknik Hususlar
B	: Çevresel Meseleler
C	: Ekonomi İle İlgili Hususlar
A₁	: Kapasite
A₂	: Verimlilik
A₃	: İşçilik
A₄	: Altyapı Gereksinimleri
A₅	: Arazi Durumu
A₆	: Teknik İlerlemeler için Elverişlilik
B₁	: Halkın Tepkisi
B₂	: Kültürel Değerlerin Korunması
B₃	: Kirlenme Problemleri
B₄	: İşletme Şartları
C₁	: Yatırım Maliyeti
C₂	: İşletme ve Bakım Maliyeti
C₃	: Üretim Maliyeti
Z	: Performans Matrisi
ω	: Alt Kriterlerin Nihai Ağırlıkları
W	: Toplam Ağırlık Vektörü
F	: Senaryoların Nihai Ağırlıkları
W_A	: A kriterine ait olan alt kriterlerin göreceli ağırlık değerleri
W_B	: B kriterine ait olan alt kriterlerin göreceli ağırlık değerleri
W_C	: C kriterine ait olan alt kriterlerin göreceli ağırlık değerleri
x	: A kriterinin diğer kriterlere göre ağırlık değeri

y	: B kriterinin diğ�er kriterlere g�ore ağırlık değeri
z	: C kriterinin diğ�er kriterlere g�ore ağırlık değeri
α	: İyimserlik indeksi
F₁	: Seçenek - 1
F₂	: Seçenek - 2
F₃	: Seçenek - 3

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Deniz suyunun tuz içeriği [7]	17
Çizelge 3.2: Çalışma şekilleri açısından membran ve termal teknoloji arasındaki farklar [12]	30
Çizelge 3.3: Bütün membran ve termal teknolojilerin karşılaştırılması neticesinde elde edilen proses verileri [13]	31
Çizelge 3.4: 100.000 m ³ /gün kapasiteli RO, MSF ve MED proseslerinin toplam maliyetleri [12]	31
Çizelge 4.1: Bulanık mantık ve klasik mantık arasındaki farklar [14]	34
Çizelge 4.2: Bulanık mantığın uygulama alanları [14]	34
Çizelge 4.3: İkili karşılaştırma matrisi	45
Çizelge 4.4: AHP için ikili karşılaştırma için kullanılan önem ölçeği [14]	46
Çizelge 5.1: İkili karşılaştırma matrisleri için orijinal ve bulanıklaştırılmış Saaty ölçeği [22]	51
Çizelge 5.2: FAHP önem ölçeği [14].....	52
Çizelge 6.1: Akdeniz’e ait olan kalite parametreleri [24].....	58
Çizelge 6.2: Korkuteli ve Dim barajı hakkında bilgiler [25]	59
Çizelge 6.3: Güney Sina bölgesine uzun mesafeli su taşıma projelerinin maliyeti [26]	61
Çizelge 6.4: Uygulama verileri	64
Çizelge 6.5: Mısır, Ortadoğu ve Suudi Arabistan’da yer alan ters osmoz desalinasyon tesislerinin maliyetleri [26]	64
Çizelge 6.6: Mısır ve diğer ülkelerdeki ters osmoz tesislerine ait birim işletme ve bakım maliyetlerinin karşılaştırılması [26]	65
Çizelge 6.7: Ana kriterlerin ikili karşılaştırılması	69
Çizelge 6.8: Ana kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar	69
Çizelge 6.9: Ana kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan göreceli ağırlık değerleri	69
Çizelge 6.10: Teknik kriterler ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	70
Çizelge 6.11: Teknik kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar	70
Çizelge 6.12: Teknik kriterlere ait alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan göreceli ağırlık değerleri (W _A)	71
Çizelge 6.13: Çevresel kriterler ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	71
Çizelge 6.14: Çevresel kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar	71
Çizelge 6.15: Çevresel kriterler ile ilgili alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan göreceli ağırlık değerleri (W _B)	71
Çizelge 6.16: Ekonomi ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	72
Çizelge 6.17: Ekonomi ile ilgili alt kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar	72
Çizelge 6.18: Ekonomi ile ilgili alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan göreceli ağırlık değerleri (W _C)	72

Çizelge 6.19: Kapasitelerine göre seçeneklerin ikili karşılaştırılması	72
Çizelge 6.20: Kapasitelerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	73
Çizelge 6.21: Kapasitelerine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	73
Çizelge 6.22: Verimliliğe göre seçeneklerin karşılaştırılması	73
Çizelge 6.23: Verimliliğe göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	73
Çizelge 6.24: Verimliliğe göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	74
Çizelge 6.25: İşçiliğe göre seçeneklerin karşılaştırılması	74
Çizelge 6.26: İşçiliğe göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	74
Çizelge 6.27: İşçiliğe göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	74
Çizelge 6.28: Altyapı gereksinimlerine göre seçeneklerin karşılaştırılması	74
Çizelge 6.29: Altyapı gereksinimlerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	75
Çizelge 6.30: Altyapı gereksinimlerine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	75
Çizelge 6.31: Arazi durumuna göre seçeneklerin karşılaştırılması	75
Çizelge 6.32: Arazi durumuna göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	75
Çizelge 6.33: Arazi durumuna göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	76
Çizelge 6.34: Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre seçeneklerin karşılaştırılması	76
Çizelge 6.35: Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	76
Çizelge 6.36: Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	76
Çizelge 6.37: Halkın tepkisine göre seçeneklerin karşılaştırılması	76
Çizelge 6.38: Halkın tepkisine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	77
Çizelge 6.39: Halkın tepkisine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	77
Çizelge 6.40: Kültürel değerlerin korunmasına göre seçeneklerin karşılaştırılması	77
Çizelge 6.41: Kültürel değerlerin korunmasına göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	77
Çizelge 6.42: Kültürel değerlerin korunmasına göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	78
Çizelge 6.43: Kirlenme problemlerine göre seçeneklerin karşılaştırılması	78
Çizelge 6.44: Kirlenme problemlerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	78
Çizelge 6.45: Kirlenme problemlerine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	78
Çizelge 6.46: İşletme şartlarına göre seçeneklerin karşılaştırılması	78
Çizelge 6.47: İşletme şartlarına göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	79

Çizelge 6.48: İşletme şartlarına göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	79
Çizelge 6.49: Yatırım maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması	79
Çizelge 6.50: Yatırım maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	79
Çizelge 6.51: Yatırım maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	80
Çizelge 6.52: İşletme ve bakım maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması	80
Çizelge 6.53: İşletme ve bakım maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	80
Çizelge 6.54: İşletme ve bakım maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	80
Çizelge 6.55: Üretim maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması	80
Çizelge 6.56: Üretim maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar	81
Çizelge 6.57: Üretim maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri	81
Çizelge 6.58: A kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar	81
Çizelge 6.59: B kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar	82
Çizelge 6.60: C kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar	82
Çizelge 6.61: Senaryoların tercih sıralaması	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Hidrolojik çevrim [1]	3
Şekil 2.2: Dünyadaki su kaynakları [1]	4
Şekil 2.3: Yüzen su alma yapısı tipi [3]	5
Şekil 2.4: Batırılmış su alma yapısı tipi [3]	6
Şekil 2.5: Kule tipi su alma yapısı [3]	7
Şekil 2.6: Kıyı tipi su alma yapısı [3]	7
Şekil 2.7: İskele tipi su alma yapısı [3]	8
Şekil 2.8: Memba sularının toplanması [4]	9
Şekil 2.9: Hazneli kuyular (korunmalı) [4]	10
Şekil 2.10: Borulu kuyular [4]	11
Şekil 2.11: Dikey su alma membası [5]	12
Şekil 2.12: Yatay su alma membası [5]	13
Şekil 3.1: Dünya desalinasyon kapasitesi [7]	16
Şekil 3.2: 2025 yılında tahmini su kıtlığı yaşanacak bölgeler [7]	16
Şekil 3.3: 1990 – 2003 yılları arasında çeşitli tesislerdeki deniz suyu desalinasyonu’nun birim maliyeti (\$/m ³) [7]	16
Şekil 3.4: Küresel Deniz Suyu Tuzluluk Seviyeleri [7]	18
Şekil 3.5: Çok kademeli ani damıtma (MSF) [9]	20
Şekil 3.6: Çok etkili damıtma (MED) [9]	21
Şekil 3.7: Buhar Sıkıştırma (VC) [8]	22
Şekil 3.8: Ters osmoz sürecinin diyagramı [9]	24
Şekil 3.9: Elektrodializ prosesindeki iyon değişimi [11]	26
Şekil 3.10: İlk Yatırım Maliyeti ve MSF’nin kapasitesi arasındaki ilişki [12]	30
Şekil 4.1: İnsan düşünce sistemi [16]	33
Şekil 4.2: Üyelik fonksiyonları [14]	36
Şekil 4.3: Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları [19]	37
Şekil 4.4: AHP hiyerarşi modeli [14]	44
Şekil 5.1: M ₁ ve M ₂ üçgen bulanık sayılarının keşişimi [14]	49
Şekil 5.2: Kriter ve alt kriter seviyelerinin toplanması [22]	52
Şekil 6.1: Coğrafi konumu [23]	57
Şekil 6.2: Kaş ilçesinin uydudan konumu	58
Şekil 6.3: Korkuteli barajı [25]	60
Şekil 6.4: Korkuteli barajı’na ait uydu görüntüsü	60
Şekil 6.5: Suyun başka bir kaynaktan taşınma seçeneği	62
Şekil 6.6: Su ihtiyacının yarısının başka bir kaynaktan taşınarak diğer yarısının ise deniz suyunun arıtılması ile sağlandığı seçenek	62
Şekil 6.7: Tuzdan arındırma seçeneği	63
Şekil 6.8: Üç senaryonun birbirine göre kısmi etkisidir. A, B ve C durumları için üretilen suya göre açığa çıkan sera gazı emisyonu (kg CO ₂ /m ³) [27]	66

Şekil 6.9: Üç durum için yaşam döngü değerlendirmesi neticesinde sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan alt sistemler [27]	66
Şekil 6.10: Hiyerarşik yapı	68
Şekil 7.1: Kötümser durum için elde edilen sıralama	86
Şekil 7.2: İlimli durum için elde edilen sıralama	86
Şekil 7.3: İyimser durum için elde edilen sıralama	87

KÜÇÜK SAHİL YERLEŞİMLERİNDE SU TEMİNİNDE ÇOKLU KARAR ANALİZLERİYLE DESALİNASYON TEKNOLOJİSİNİN ENTEGRASYONU

ÖZET

Günümüzde insanlar tarafından su çevrimine göre suyun kullanımı ihtiyacı doğal koşullar ve jeolojik yapı ile ilişkili olarak önemli oranda farklılıklar göstermektedir. Yüzeysel su kaynakları açısından fakir olan bölgeler ve yerleşim yerlerindeki hızlı nüfus artışı bu problemin temelini oluşturmaktadır. Bu problemde mühendisleri su temininde farklı çözümler bulmaya yönlendirmiştir. 20. yüzyılın sonundan itibaren sürekli gelişim göstermekte olan desalinasyon teknolojisi ise su temininde yaşanan sıkıntıyı giderebilecek önemli bir gelişmedir. Bu proses farklı fiziksel, kimyasal yöntemler kullanarak miktar açısından hiç sorun teşkil etmeyen deniz suyunun tatlılaştırılmasını yani tuzunun giderilmesini sağlamaktadır.

Özellikle sahil bölgelerinde bulunan küçük yerleşim yerlerinde yaz dönemlerinde nüfus patlaması sonucu artmakta olan su ihtiyacını karşılamak için deniz suyundan çok kademeli ani damıtma (MSF), çok etkili damıtma (MED), ters osmoz (RO), vb. desalinasyon teknikleri ile yüzeysel su kaynaklarını destekleyerek su temini için bir model oluşturmak amacıyla bu çalışma ortaya konmuştur. Ele alınan senaryodaki hangi seçeneğin uygun olabileceği yapılan çok kriterli analizler ile bulanık analitik hiyerarşi prosesi (FAHP) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Bu şekilde karar verecek olan kişiye ya da kurumlara yardım edileceği düşünülmektedir. Bu amaç çerçevesinde bu çalışmanın kapsamında ise öncelikle ikinci bölümde su temini için gerekli olan su alma yapıları ve iletimi konusunda inceleme yapılmıştır. Ardından ise tuzdan arındırma seçeneği üzerinde üçüncü bölümde ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir. Bu bölümde öncelikle desalinasyon teknolojisinin tarihçesi ve dünya üzerindeki kapasitesi hakkında bilgi verildikten sonra deniz suyu özellikleri hakkında inceleme yapılmıştır. Bundan sonrada termal ve membran teknolojiler hakkında bilgi verilmiş olup enerji tüketimi ve çevresel etkileri üzerinde durulduktan sonra bahsedilen desalinasyon tekniklerinin karşılaştırılması ile bu bölüm sonlandırılmıştır. Desalinasyon hakkında bilgi verildikten sonra ise dördüncü bölümde bu çalışmada uygulanacak olan yöntemin temeli olan bulanık mantık ve analitik hiyerarşi prosesi hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. Beşinci bölümde ise bu çalışmada kullanılacak olan FAHP yöntemi hakkında ayrıntılı bir şekilde açıklamalarda bulunulmuş olup uygulamada izlenecek çözüm yaklaşımının verilmesiyle bu bölüm sonlandırılmıştır. Ardından altıncı bölümde ise FAHP yöntemi ile Antalya'nın Kaş ilçesi için bir su yönetim modeli oluşturulmuştur. Bu model neticesinde hangi seçeneğin ilçede uygulanmasına yönelik bir tercih sıralaması elde edilmiş olup sadece desalinasyon ile su temininin uygun olacağı görülmüştür.

INTEGRATION OF DESALINATION TECHNOLOGY IN SMALL COAST TOWNS' WATER SUPPLY WITH MULTI CRITERIA ANALYSES

SUMMARY

According to water cycle, people's water consumption need shows important differences due to the change of natural conditions and geological structure. This problem consists of two basic causes; the poor areas about surface water sources and high population growth rate in towns. It's directed engineers to find new solutions for water supply. Together with the end of 20. century, desalination technology has showed great development and in this way, it is a significant chance that can remove trouble in the water supply. This process that uses several physical and chemical methods remove salt from seawater that is unlimited source.

In this work, firstly, it is told how water is important for the sustainability of life together with water cycle. After that, information is given about various water intake structures (from surface water and groundwater). Then, if it is necessary after treatment, it is told how water is transported from sources to people and is stored. After the information about water supply is given, how it is treated in the third chapter.

Water is the most significant element of the life and therefore, it's not surprised that many people believe that distillation technologies have been used so as to produce fresh water since the fourth – century BC. This technology is started to spread out while growing owing to the water crisis especially in Middleast and the other countries in the World together with the end of 20. century. The capacity of desalination has reached to the peak level due to high population growth rate and changing climate conditions in the 21. century. It is thought that this is continued in this way. Nevertheless, increasing demand for this technology decreases it's cost. Approximately % 97 of the water sources in the World is found in the seas and oceans that cover approximately % 70 of the earth surface. Hence, it is obliged to use this source in order to survive. In addition, removal of salt from seawater is hard compared to solid particles because overcoming of the osmotic pressure is required and therefore, the requirement for energy is higher according to the other treatment processes. Through the principle of the sustainable life, for this necessity, if renewable energy sources are used, the increasing climate change worries would be removed. In this work, this technology is investigated as two titles; thermal and membrane technologies. Thermal technologies is based on the principle of evaporation of seawater and then production of pure water with the condensation of vapor produced. There are various thermal processes such as multistage flash distillation (MSF), multiple effect distillation (MED) and vapor compression (VC). Membrane technologies is based on the principle that some ions are selectively permitted or minimized through semi – permeable membranes. There are various membrane technologies such as reverse osmosis (RO), nanofiltration (NF), elektrodialysis (ED) / elektrodialysis reversal (EDR) and etc. Nevertheless, RO is the most widespread technology among the others. After the information about these technologies is given in this chapter, the product of desalination processes is assessed. Forward treatment

follows desalination processes not only to stable it but also to make it compatible with the distribution system. After that, these technologies from the point of view of energy consumption and environmental impacts are investigated and then a comparison is made among them.

Life is full of uncertainties that are not perceived in the same way by the people. The results of them aren't estimated, they don't consist of objective data and maybe they can be expressed as abstract. For instance, When you make a decision to buy a house, there are a lot of uncertainties such as where you can live, how you transport, how the situation of ground of the house is, etc. In situations like this, how to prefer the right option is tough with classical logic and also is impossible. However, Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh who is a professor at the University of California, Berkeley developed the theory of fuzzy sets in 1965. In this way, expression of this uncertainties is provided. Owing to the fact that human brain thinks as verbal across the uncertainties, certain comments shouldn't be waited. Nevertheless, fuzzy logic that is developed by Zadeh takes into consideration grey tones between black and white like human thinking system. This helps decision makers during decision – making processes. In classical logic, there are two situations that are white and black. Then, a situation is wrong or true. There is no other options. But, fuzzy logic gives decision makers a chance to rank the options. Nowadays, applications of fuzzy logic are too many. After that, making a best decision inside a decision set by a decision maker is defined as multi – criteria decision problem. In this situation, there are a lot of methods that help decision makers such as analytic hierarchy process (AHP) that is told and used in this work. AHP was developed by Thomas L. Saaty who is a professor at the University of Pittsburgh in 1965. This significant method that is flexible and easy applicable and also not only quantitative but also qualitative all criterias are assessed in this method. Therefore it helps decision makers in the solution of a lot of hard problems. In this method, firstly, problem is exactly defined and then criterias and/or subcriterias are determined about this problem. After that, alternatives are designated. In this way, a hierarchy frame is conducted. Then, criterias and/or subcriterias are compared as pairwise. Finally, alternatives are compared as pairwise with themselves according to every criteria and/or subcriteria. Lastly, best option or best ranking is determined.

AHP that is one of the multi – criteria decision making methods can't remove exactly uncertainty due to the usage of crisp values especially for abstract concepts. Therefore, classical AHP is combined with fuzzy logic and then fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) is acquired. In this process, fuzzy numbers are used. In this way, intermittent assessment can be done that is reliable. A lot of studies are found in literature about this process. One of them was developed by Laarhoven ve Pedrycz in 1983. The other study is Buckley's approach (1985). Nevertheless, in this work, the approach that was developed by Chang in 1996 is used. Detailed information about this approach is given in the fifth chapter. After that, solution approach that is applied in this work is told. This approach was developed by Srdjevic and Medeiros in 2007. This is called as fuzzy decision making (FDM) approach.

The FDM approach that is told in the fifth chapter is applied in order to form a water management model for Kaş, Antalya. When it's strategic plan that was published in

2014 is investigated, it is established that their surface water resources are being decreased. Therefore, a model is formed to assess the alternatives that supply water. With this model, especially in summer term, three options are proposed to meet increasing water demand owing to tourism so as to support their own surface water resources. These options are water supply with water conveyance, water supply with treatment of seawater and water supply together with water conveyance and treatment of seawater.

Nowadays, how water is important for the sustainable of life is an incontrovertible truth. Especially, in small towns, in summer term, high population growth rate and decreasing surface water resources lead engineers to find new sources for water supply. In this way, treatment of seawater that is an unlimited source with desalination technology is a precious solution. With this technology, supporting surface water sources in these towns, a water management model is established. After that, this model is applied for Kaş, Antalya. For this town, with this model that uses FAHP method with multi – criteria analyses, three options are compared. These options are water conveyance, water conveyance and treatment of seawater and just only treatment of seawater. The application results that treatment of seawater is best option. Nevertheless, RO process is chosen for desalination technology because of the fact that this process is more productive in small towns compared to MSF and MED. However, If the renewable energy and less (environmental friendly)/none chemical substance is used for this process, the environmental performance of the process is well. In addition, with this work, fuzzy version of AHP that is called as FDM approach is proposed. Owing to the performed tests, it can be said that the FDM approach is flexible and robust. It's been recommended as a reliable support tool for decision makers to use in real situations.

1. GİRİŞ

Suyun insanoğlu tarafından kullanımında su döngüsüne göre suya olan ihtiyaç doğal koşullara ve jeolojik yapıya bağlı olarak büyük farklılıklar göstermiştir. Özellikle yerleşim yerlerindeki hızlı nüfus artışı ve suyun tüketimi yüzey suyu açısından fakir olan bölgelerde problemin esasını oluşturmaktadır. Kuraklık durumları, erozyon ve yüzeysel suların kolayca temin edildiği rezervuarlardaki azalmalar su temininde mühendisleri farklı tasarımlarla deniz suyundan tatlı su üreterek çözüm bulmaya yönlendirmiştir. Miktar açısından sorun olmayan deniz suyunun içerdiği tuzlar nedeniyle tatlılaştırılması tuzun giderimi (desalinasyon) prosesi ile gerçekleştirilmektedir. Proses farklı fiziksel, kimyasal yöntemler ile uygulanmakta ancak göreceli olarak küçük yerleşim yerlerine su temininde verimli olabilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı özellikle küçük yerleşim kıyısız alanlarda turizm nedeniyle nüfus patlaması sonucu artan su ihtiyacını karşılamak için deniz suyundan çok kademeli ani damıtma (MSF), çok etkili damıtma (MED), ters osmoz (RO), vb. desalinasyon teknikleri ile yüzey suyunu destekleyerek su temini için bir model oluşturmaktır. Çok kriterli analizler ile oluşturulan senaryoda hangi seçeneğin uygun olabileceği ve öncelik sayılarını bulmak için bulanık analitik hiyerarşi prosesi (FAHP) yöntemi kullanılmıştır. Bu şekilde karar vericiye yardım edileceği düşünülmektedir. Bu amaç çerçevesinde bu çalışma kapsamında;

- Su temini için gerekli olan su alma yapıları ve iletim konusunda inceleme yapılmış,
- Deniz suyu özellikleri incelenmiş,
- Desalinasyon teknikleri termal teknolojiler ve membran teknolojileri olarak detaylarıyla verilmiş,
- Bulanık mantık ve analitik hiyerarşi prosesi bir yöntem olarak açıklaması verilmiş ve literatürden farklı kriterleri karşılaştırma modelleri ile sunulmuş,

- Akdeniz bölgesi Antalya Kaş ilçesinde seçilen bir bölge için oluşturulan senaryoda bölgesel özellikleri ile incelenen ve şekillenen üç seçenek düzenlenmiş,
- Bu farklı seçenekler için FAHP diyagramı oluşturulmuş ve bulanıklaştırma ile öncelikli sayılar saptanmış,
- Normalize edilen ağırlıklı sayılar ile üç seçeneğin sayısal sıralaması yapılarak karar verici için uygun tasarım önerilmiştir.

2. SU TEMİNİ

İnsanların, hayvanların ve bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmesi için su, kritik bir önem arz etmektedir. Halk sağlığı, endüstriyel süreçler ve elektrik üretimi gibi suya ihtiyaç duyulan faaliyetler ile bir toplum oluşmaktadır.

2.1. Hidrolojik Çevrim ve Suyun Durumu

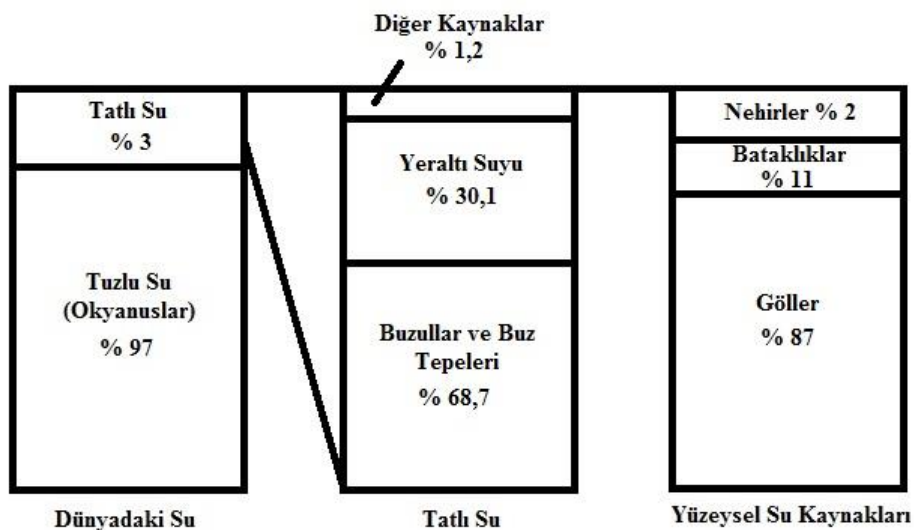
Milyonlarca yıldır Dünyadaki su, buzdan sıvı hale, sıvıdan buhar haline olmak üzere sürekli bir şekilde hareket etmektedir. Bu da hayatın devamlılığını sağlamaktadır. Şekil 2.1’de görülmekte olan hidrolojik çevrim, suyun yeraltı, yeryüzü ve atmosferdeki mevcudiyetini ve hareketini göstermektedir [1].



Şekil 2.1 : Hidrolojik çevrim [1].

Herhangi bir noktadan başlanarak hidrolojik çevrim incelenebilir. Atmosferde buhar halinde bulunan su, yükselen hava akımlarının etkisiyle yukarılara taşınır ve orada bulunan soğuk hava kütleleriyle karşılaştığında yoğunlaşarak yeryüzüne yağış olarak düşer. Bazı yağışlar kar şeklinde olur ve buzullar olarak yeryüzünde birikebilir. Yeryüzüne ulaşan yağışın büyük bir kısmı (% 60 – 75) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere geri döner. Bir kısmı bitkiler tarafından

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi dünya üzerinde bulunan suyun yaklaşık olarak % 97’si tuzlu sudur. Geriye kalan % 3’lük kısım ise tatlı su kaynaklarından oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının da yaklaşık olarak % 70’i buz ve buzullar içerisinde bulunmaktadır. % 30’u ise yeraltında bulunmaktadır. Yeryüzünde nehir ve göllerde bulunan tatlı su kaynakları dünyadaki toplam su kaynaklarının yaklaşık olarak % 1,2’sini oluşturmaktadır [1].



Şekil 2.2 : Dünyadaki su kaynakları [1].

2.2. Su Alma Yapıları

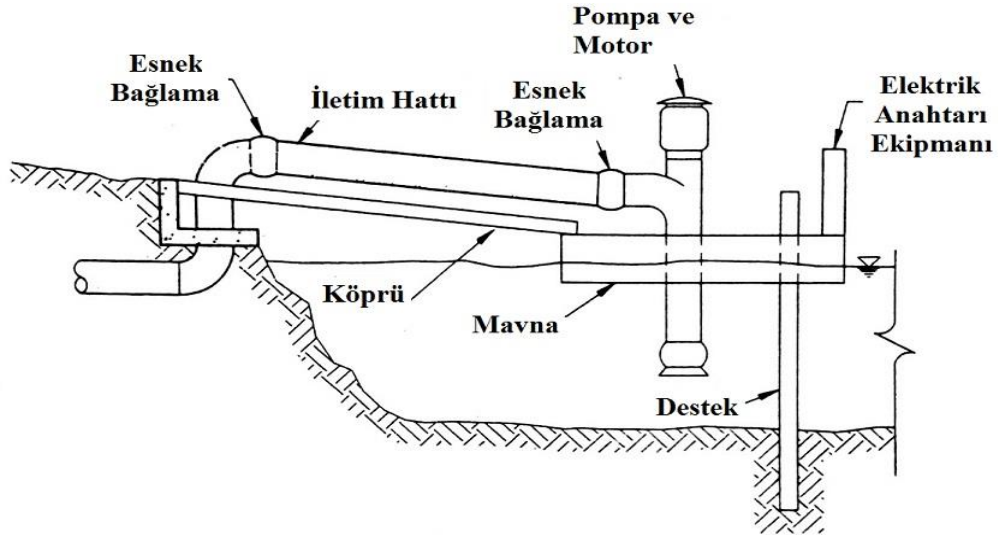
2.2.1. Yüzeysel sulardan su alma

Yüzeysel su alma yapıları, ham suyun kaynaktan kontrollü bir şekilde alınmasını sağlar. Balık, yüzen döküntü, kaba tortu ve diğer sakıncalı maddeleri ayırarak en iyi kalitede suyun alınmasını sağlamak amacıyla tesislere yerleştirilir. Bu yapılar suyun içerisine batırılmış pompalardan ibaret olabildiği gibi çok daha ayrıntılı kule biçiminde

de olabilirler. Bunlar bir barajın ayrılmaz bir parçası olabileceği gibi başka bir yerde konumlandırılmış ayrı bir yapıda olabilirler [3].

Yüzen, batırılmış, kule, kıyı ve iskele tipi olmak üzere kullanılmakta olan çeşitli su alma yapıları bulunmaktadır. Bir su alma yapısının seçimi su kaynağının doğası ve alınacak suyun kalitesi ve miktarına bağlıdır. Bu su alma yapıları aşağıda açıklanmaktadır [3]:

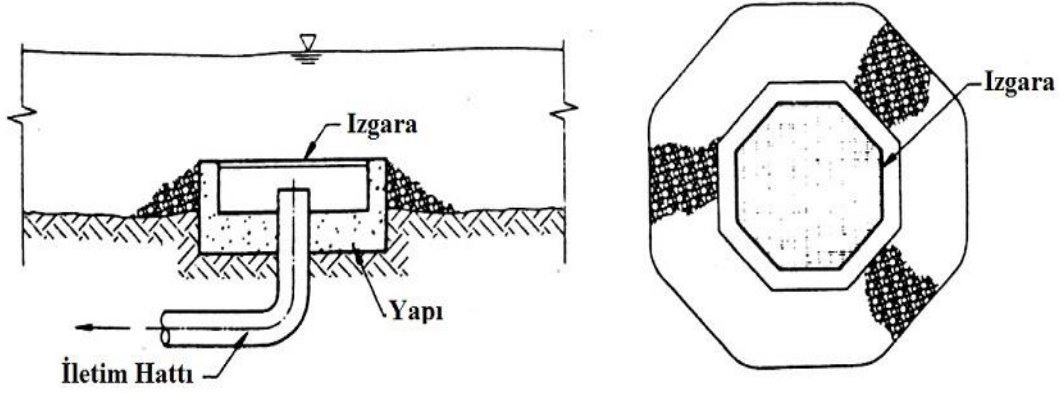
- **Yüzen Su Alma Yapıları:** Şekil 2.3’de görülmekte olan yüzen su alma yapısı göl ve rezervuarlarda kurulmakta olan nispeten daha ucuz olan bir metottur. Uygun olmayan coğrafi koşullara ve su derinliğinin zamanla çok değişmediği su kaynaklarında yaygındır. Su yüzeyinde yüzen ve pompa, ızgara, vana, elektrik anahtarı ve diğer donanımları taşıyacak şekilde bir mavna yapısına sahiptir. Bu yapı iki tane demirle desteklenerek bağlanmıştır. Çelik ya da betondan olan bu destekler göl ya da rezervuarın altına iliştirilmiş olup su alma yapısına özel olarak üretilmiş manşonlarla uzamaktadır. Bu da yapıya çeşitli su seviyelerinde yüzebilme imkânı sağlamaktadır. Aşağıda da görüldüğü gibi bir köprü aracılığıyla suyun iletim hattı ve elektrik kabloları kıyıya bağlanmaktadır [3].



Şekil 2.3 : Yüzen su alma yapısı tipi [3].

- **Batırılmış Su Alma Yapıları:** Yıl boyunca su derinliğinde nispeten az bir değişime sahip olan göl ve nehirlerde suyun temin edilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.4’de görülebildiği gibi bu yapı yemlik şeklinde basit bir beton kutu gibidir. Bu kutunun çeperlerine, iletim hattını desteklemek için kaya parçaları yığılmıştır. Nehir ya da gölden alınan su kıyıda bulunan bir pompalama donanımının bulunduğu hazneye

ya da cazibeli akışla taşıma sistemine aktarılır. En tepede bulunan açıklık bir kaba ızgarayla kaplanmıştır. Pompa istasyonu ya da arıtma tesisindeki haznede bir ince ızgara temin edilebilir. Dibinde yoğun çamur bulunan göllerde su alma yapısı tabandan 1 – 2 m. kadar yükseltilmelidir [3].

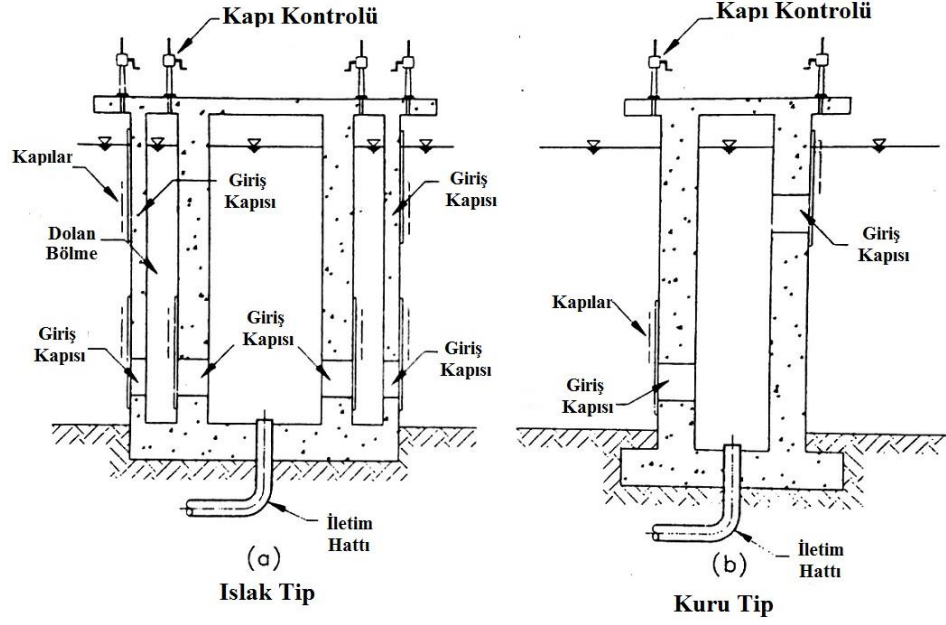


Şekil 2.4 : Batırılmış su alma yapısı tipi [3].

- **Kule Tipi Su Alma Yapıları:** Su seviyesindeki dalgalanmaların geniş olduğu nehir ve rezervuarlarda genellikle büyük projeler için kullanılmaktadır. En iyi kalitede suyun girişini sağlamak için belirli seviyelerde kontrollü bir şekilde açılıp kapanan giriş kapakları bulunmaktadır. Şekil 2.5’de görülebildiği gibi *Islak* ve *Kuru* olmak üzere iki çeşidi vardır [3]:

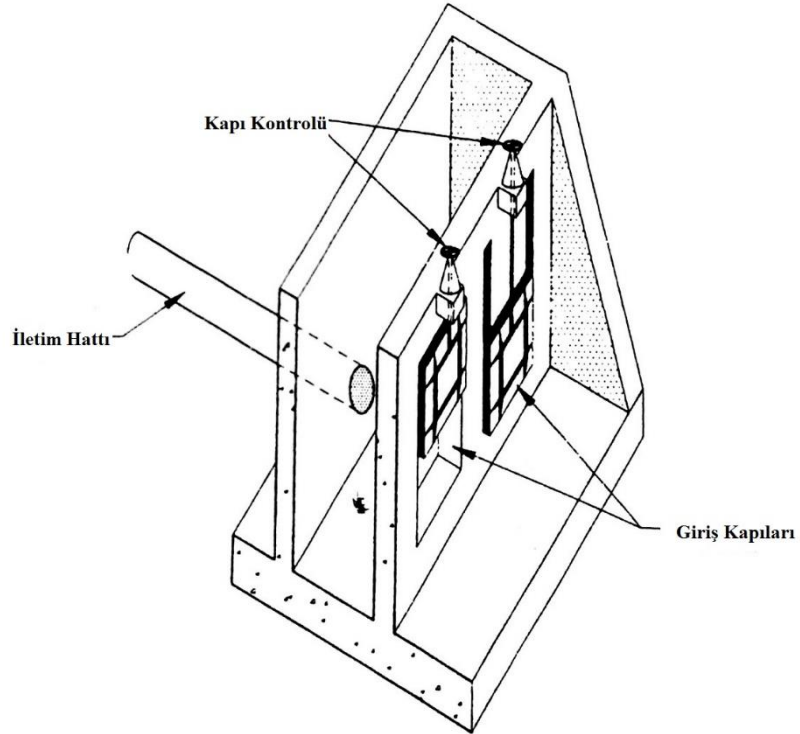
1. **Islak Tip:** Bu tipte içerisinde bulunan bir haznenin çevresinde onunla bağlantılı rezervuar seviyesinde su ile dolu olan betondan dairesel bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölme suyun dolmasını sağlayan giriş kapakları bulunmaktadır. Bu kapaklarla hazne içerisine suyun akış hızı düzenlenir. Bu bölmenin amacı içteki hazne boş olduğunda kaldırma kuvvetini dengelemek için ihtiyaç duyulan ağırlığı bu bölme alınan suyla dengelemektir.

2. **Kuru Tip:** Bu tipte ise su doğrudan giriş kapaklarıyla kontrollü bir şekilde hazneye alınmaktadır. İlk durumdaki gibi bir bölme sahip olmadığından dolayı kaldırma kuvvetini dengelemek için yukarıdaki tipe göre daha ağır olmak zorundadır. Herhangi bir seviyeden seçilerek suyun alınabilmesinden dolayı bu yapılar yararlıdır.



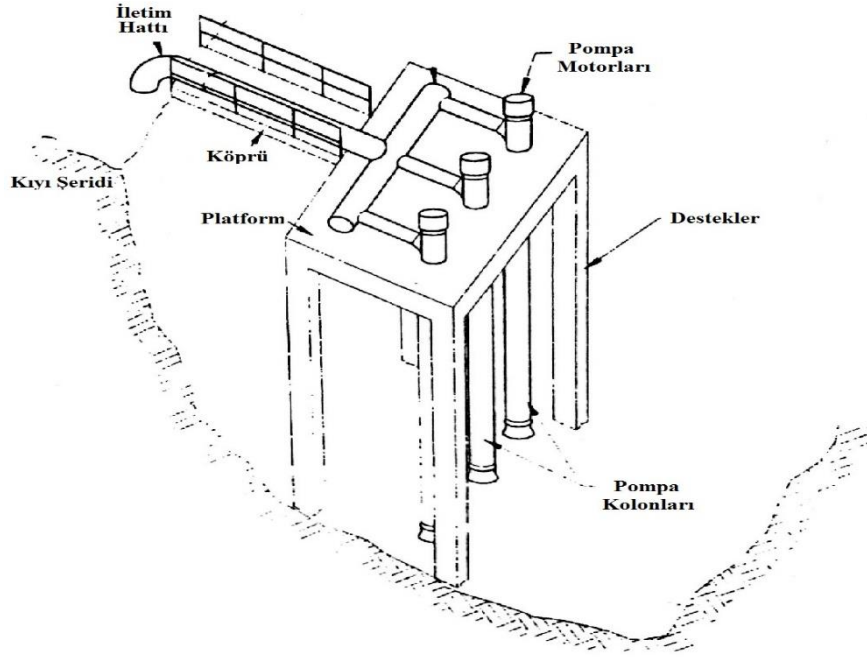
Şekil 2.5 : Kule tipi su alma yapısı [3].

- **Kıyı Tipi Su Alma Yapıları:** Sabit seviyeli nehir ve göller ya da derin kıyı şeridinde sahip olan göl ve rezervuarlarda şekil 2.6'da görülebilmekte olan bu su alma yapıları kullanılmaktadır. Genellikle, su tarafında bakan kısımları betondan oluşmaktadır. Bu yapılar bir pompa istasyonu ile bir bütün oluşturacak şekilde de kurulabilir [3].



Şekil 2.6 : Kıyı tipi su alma yapısı [3].

- **İskele Tipi Su Alma Yapıları:** Kıyı şeridindeki su derinliği yukarıdaki su alma yapısı için oldukça sığ olan göl ve nehirlerde bu yapıyla su temin edilmektedir. Şekil 2.7’de görülebildiği gibi çelik kazıklar ya da beton destekler üzerinde çelik ya da betondan bir platformdan oluşmaktadır. Bu platform ise pompaları, iletim hattını ve diğer ekipmanları taşımaktadır. Köprü ise platform ile kıyı arasında bağlantıyı sağlayıp iletim hattını da desteklemektedir [3].



Şekil 2.7 : İskele tipi su alma yapısı [3].

2.2.2. Yeraltından su alma

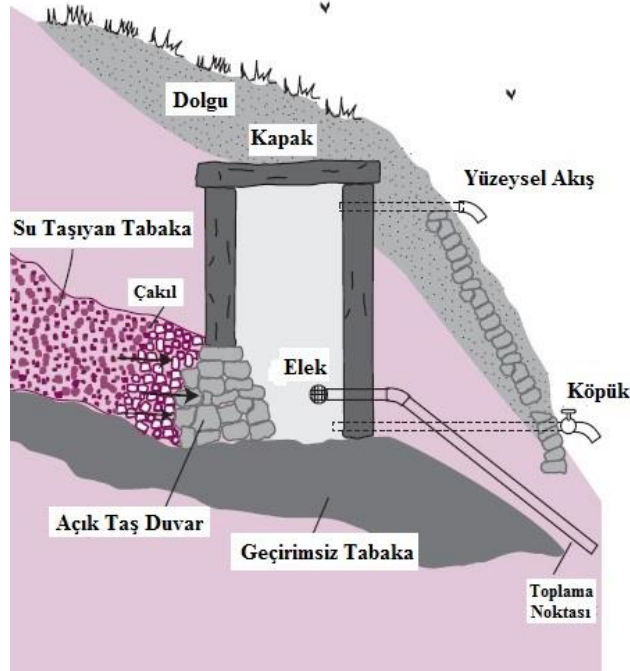
2.2.2.1. Memba sularının toplanması

Yüzey altında katı ya da kil tabakasıyla doğal bir şekilde akışı durdurulan yeraltı suyu yüzeye doğru akmaya zorlanır. Memba suları ya bir pınar olarak ya da yüzey altından bir nehir, göl ya da denize akacak şekilde ortaya çıkar. Memba suları, kum – çakıl, suyu taşıyan tabaka, akifer ya da kayaların ince çatlaklarından akan su ile beslenmektedir. Şekil 2.8’de görülmekte olan toplama noktası uygun bir yapıyla korunduğunda bu kirlenmeyi engelleyecek ve suyun dağıtılması için gerekli hidrolik koşulları sağlayacaktır. Memba sularını toplama sisteminin ana kısımları [4]:

- En düşük su seviyesinin altında bir drenaj kanalının oluşturulması,
- Stabilitate için kaynak koruyucu bir yapı,

- Yüzeysel suyun tekrar geri sızmasını engellemek için bir mühür olmak üzere sıralanabilir.

Drenaj kanalı genellikle kumla kaplı çakıl tabakasının içerisine doğru açılır ve bir oluğa ya da rezervuara bağlanır. Koruyucu yapı betondan ya da yığma yapıdan olabilir. Mühür, sıklıkla plastikten yapılmaktadır. Başlangıç noktasına bir elek takılmış boruyla memba suyu serbest bir şekilde dışarı akabilmektedir. Yüzeysel suyun süzülmesiyle meydana gelebilecek kirlenmeyi engellemek için oluşturulan ayrı bir savakla yüzeysel suyun membaya ulaşmasının önüne geçilir ve ayrıca memba alanının çevresinde yapılacak bir çit ile bölgede hayvan gezmesi önlenmiş olur. Memba suları genellikle iyi kalitede olmakla birlikte her zaman kontrol edilmelidir. Su toplama alanı kirlenmiş olabilir. Bir memba korunmamış ise hemen hemen her zaman kirlenmiştir [4].



Şekil 2.8 : Memba sularının toplanması [4].

2.2.2.2. Hazneli kuyular

Çeşitli kazı makinalarıyla (kazma, kürek, vb.) özellikle sığ tabakalarda açılan kuyulardır [5].

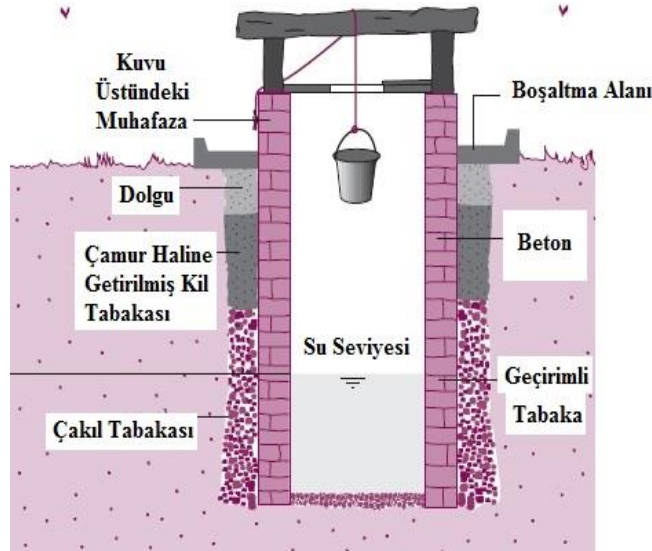
Bu kuyulara temizlik ve derinleştirme için içine girilebilir. Bu kuyular korunan ve korunmayan olmak üzere iki tipte bulunmaktadır [4]:

- **Korunmayan Kuyular:** Zemin üzerinde etkili bir koruması olmayan ve kirlenmeye maruz kalma ihtimali yüksek olan kuyulardır.

- **Korunan Kuyular:** Şekil 2.9’da görülmekte olan bu kuyu tipi üç kısımdan oluşmaktadır [4]:
 - Bir taş, tuğla ya da betondan boşaltma alanı;
 - Kuyudaki suyu almak için zeminin yukarısında yeterince boya sahip kısım;
 - Kuyunun çökmesini önlemek için örülen bir duvar.

Şekil 2.9’da görülmekte olan boşaltma alanı, kuyunun kenarlarından suyun aşağıya doğru sızarak kirlenmeyi önleme, kullanıcıların rahatlıkla işlerini görmeleri için bir destek görevi ve kuyudan drenaj kanalına direkt olarak dökülmeyi sağlar. Kuyunun zeminin üstünde kalan kısmı ise insanların veya hayvanların kuyuya düşmesini önler, yağışı, yüzeysel akışı, döküntü maddeleri engeller ve güneş ışığını da keser [4].

Şekil 2.9’da da görülebileceği gibi zemin ve su yüzeyi arasında duvar, güçlendirilmiş beton halkalar, tuğlalar ya da beton bloklardan yapılır ve kuyunun çökmesini engeller. Su seviyesinin altındaki kısım ise yeraltı suyunun kuyuya girişini sağlayacak şekilde geçirimli bir tabakadan oluşmaktadır. Bunların dışında kuyuyu çevreleyen bir çit ve kuyudan dökülen sular için bir drenaj kanalı bulunmaktadır [4].



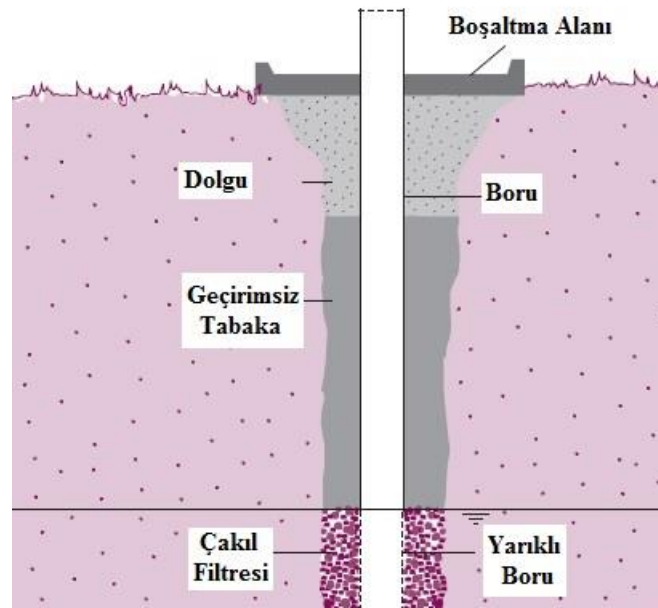
Şekil 2.9 : Hazneli kuyular (korunmalı) [4].

2.2.2.3. Borulu kuyular

Şekil 2.10’da görülebilmekte olan 1,5 – 4 m arasında uzunluğa sahip borulardan oluşan bu kuyular hazneli kuyulara göre daha küçük çaplıdır [5].

Bundan dolayı da temizlik ve derinleştirme için içine bir kişinin girmesi mümkün değildir. Borular makinalarla çakılabileceği gibi elle işletilebilen araçlarla da kurulabilir. Üç önemli kısımdan oluşmaktadır [4]:

- Hazneli kuyuda olduğu gibi betondan bir boşaltım alanı, kuyunun kenarlarından suyun aşağıya doğru sızarak kirlenmeyi önleme, kullanıcıların rahatlıkla işlerini görmeleri için bir destek görevi ve de kuyudan drenaj kanalına direkt olarak dökülmeyi sağlar.
- Zeminin altında akifere kadar olan kısım çökmeyi engellemek için geçirimsiz tabakadan oluşmaktadır. Burada kullanılan malzeme sıklıkla PVC ya da galvanize edilmiş demir olmaktadır.
- Su seviyesinin altında ise borunun etrafı suyun geçmesini sağlamak için çakıl tabakasında oluşmaktadır. Bu çakıl tabakası zemin malzemesinin kuyuya girmesini önleyen bir filtre görevi de görmektedir.



Şekil 2.10 : Borulu kuyular [4].

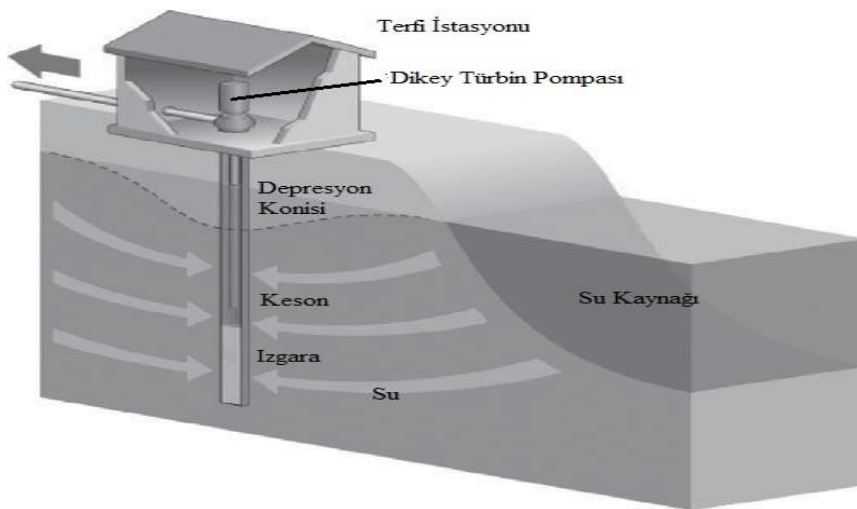
2.3. Desalinasyon Tesisleri için Kullanılan Su Alma Yapıları

Desalinasyon tesisleri, minimum bir ekolojik etkiyle orta derecede tutarlı bir kalitede güvenilir miktarda deniz suyunu alabilmek için bir su alma yapısına ihtiyaç duymaktadırlar. Ön arıtma prosesinin ilk kademesinde kullanılan su alma yapısının türü ham suyun kalite parametrelerinin aralığını ve devamındaki arıtma proseslerini etkilemektedir. Bu yapılar oldukça yüksek oranda su alınan yerlere özgüdür.

Desalinasyon tesislerinin toplam olarak düşünöldüğünde yatırım maliyetinin % 10 – 30'unu su alma yapısı oluşturmaktadır. İyi bir su alma yapısı dizaynı donanı korumakla birlikte su yaşamı üzerindeki çevresel etkiyi de azaltmaktadır. Bununla birlikte proses performansını geliştirmekte ve ayrıca ön arıtma sisteminin yatırım ve işletme maliyetini de azaltmaktadır [6].

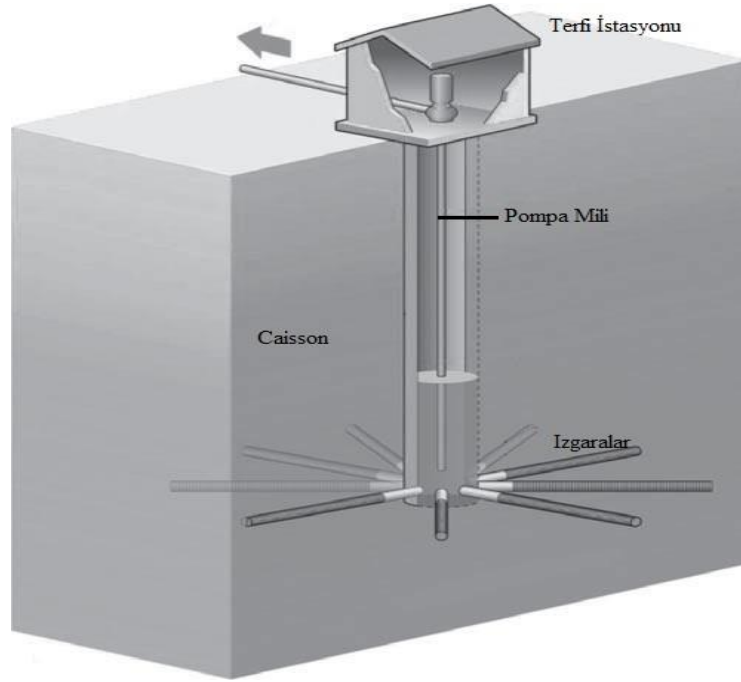
Desalinasyon tesislerinde suyu sağlamak için kullanılan iki su alma yapısı türü vardır; yüzey altı su alma yapıları (membalar, infiltrasyon galerileri, vb.) ve açık su alma yapılarıdır. Deniz suyu alma yapısı membaları ya dikey ya da yatay ham su toplayıcılardan oluşmaktadır. Genellikle denize yakın bir yerde konumlandırılırlar. Yüksek porozite ve iletimliliğe sahip akifer durumu deniz suyunun yeraltından transferini kolaylaştırmaktadır. Böylelikle yüksek kalitede ve miktarda deniz suyu sahilden iç kısımlarda açılan su alma membalarıyla toplanabilmektedir. Bu da desalinasyon tesisinin ana kullanıcılara daha yakın konumlandırılmasına izin verir. Böylelikle su taşıma maliyeti de azalmaktadır. Acı su arıtma tesisleri ise genellikle ham suyu toplamak için membaları kullanır ve ham su da iç kısımlardaki acı su akiferlerinin üzerinde konumlanmıştır [6].

Su alma membaları kısmen kurulumu daha kolaydır ve onların topladığı deniz suyu ve acı su, ham su çıkarma bölgesindeki yüzey altı kum ya da deniz yatağı teşkilinde yavaş filtrasyon ile ön arıtılmaktadır. Şekil 2.11'de görölebilmekte olan dikey su alma membaları sıklıkla yatay olanlardan daha az maliyetli olmakla birlikte onların verimliliği ise daha küçüktür ve bundan dolayı da büyük kapasiteli tesisler için dikey su alma membalarının kullanılması daha az tercih edilir [6].



Şekil 2.11 : Dikey su alma membası [6].

Şekil 2.12’de görülebilmekte olan yatay su alma membaları ise büyük kapasiteli deniz suyu desalinasyon tesisleri için daha uygundur. Uygulamada iki yapılandırmaya sahiptir. Biri, radyal Ranney tipi toplayıcı membaları diğeri de yatay HDD toplayıcılarıdır. Dikey ve radyal toplayıcı membaları sahilde olan akiferin içindeki suyu almak için kullanılırken HDD toplayıcıları ise genellikle deniz yatağının altında suyu direkt olarak çekebilmek için açık denize doğru uzatılmıştır [6].



Şekil 2.12 : Yatay su alma membası [6].

Açık okyanus su alma yapıları, deniz suyu desalinasyon tesislerinin bütün kapasiteleri için uygun olmakla birlikte genellikle üretim kapasitesi 20.000 m³/gün’den daha yüksek olan tesisler için daha ekonomiktir. Büyük kapasiteli deniz suyu desalinasyon tesisleri için açık su alma yapıları, sıklıkla karmaşık yapılardır. Buna genellikle birkaç yüz metreden birkaç bin metreye kadar okyanusun içerisine uzayabilen borulama dâhildir. Açık su alma yapıları ile toplanan ham su sıklıkla ters osmoz öncesi ön arıtma gerektirmektedir. Yeni bir açık okyanus su alma yapısının inşaatının maliyeti ve süresi önemli olabilir ve tüm tesis maliyetinin %10 – 20’sine ulaşabilir. Açık okyanus su alma yapıları, sahil membaları ile karşılaştırıldığında sudaki organizmaların sürüklenmelerine neden olmaktadır. Bunun nedeni ise ham suyu ön filtreleme olmaksızın direkt olarak okyanustan almalarıdır. Deniz tabanı altı yatay su alma yapılarının filtrasyon ile ön arıtma yararına sahipken minimum düzeyde deniz

yaşamının sürüklenmesine ve kıyı şeridi üzerinde limitli bir estetik etkiye neden olmaktadır [6].

Membaları kullanarak toplanan ham su, açık deniz suyu alma yapılarına göre katı madde, silt, yağ ve gres, doğal organik kirlenme ve sudaki mikroorganizmalar açısından daha iyi kalitededir. Memba su yapıları, açık su alma yapılarına kıyasla daha düşük tuzlulukta su sağlamaktadır. Bununla beraber, hidrolik olarak tatlı su akiferleri ile bağlantılı akışları değiştirme potansiyeline sahiptirler ve muhtemelen bu akiferlere deniz suyu girişini hızlandırmaktadır. Yüzey altı su alma yapılarının büyük kapasiteli desalinasyon tesisleri için kullanımı alana özgü bir takım faktörler ile limitli olabilir. Bu faktörler, belirli bir proje için en uygun su alma yapısı seçimi sırasında göz önüne alınmalıdır [6].

2.4. Suyun İletimi

Yüzeysel ya da yeraltından temin edilen su, ya direkt olarak suya ihtiyacı olanlara ulaştırılır ya da arıtma ihtiyacı gerekiyorsa arıtma tesisinden kullanıcılara basınçlı veya cazibeli kanallar aracılığıyla ulaştırılmaktadır [7].

Topografyanın sunduğu koşullara göre kanalların cazibeli mi yoksa basınçlı mı akacağına karar verilirken bir yandan kanalların uzunluğu ise su kaynağına olan uzaklığa bağlıdır. Kanalların kurulumu yerçekiminin avantajından yararlanıp mümkün olduğunca pompalama ücretinden azaltma esasına dayanmaktadır [7].

Ayrıca rezervuar ve su kulelerinin de şebeke sisteminde dağılımı pik debileri karşılamak açısından gereklidir. Bunların tasarım ölçütleri ise şunlardır [7]:

- Suyun servis edildiği alandaki su tüketiminin saatlik dağılımları,
- Bakım durumunda kısa süreli kapatma sırasında doğan ihtiyaç ve
- Yangınları kontrol etmek için yedek su ihtiyaçları.

Bu rezervuarlar sıklıkla açık ya da kapalı olacak şekilde yükseltilmiş tanklardır [7].

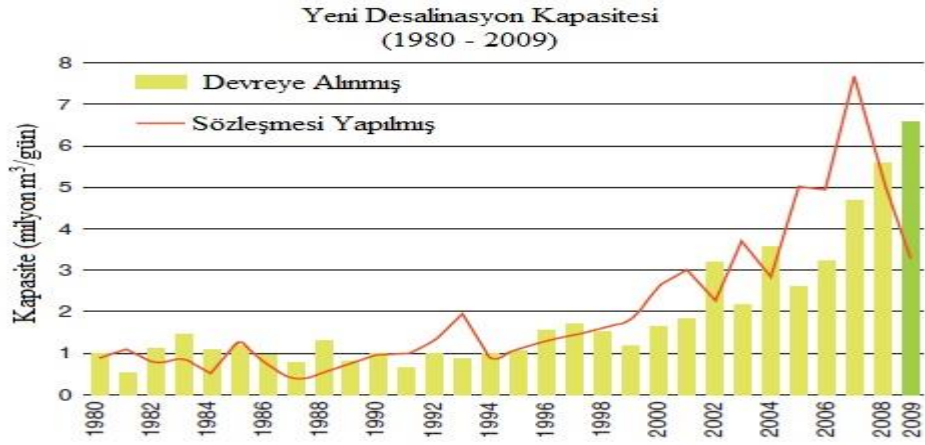
3. DESALİNASYON

“Su, su nereye baksan yalnızca su, Güverte tahtaları çekti zamanla; Su, su nereye baksan yalnızca su, Ama hiçbir yerde yok içecek bir damla” Samuel Taylor Coleridge, Yaşlı Gemici

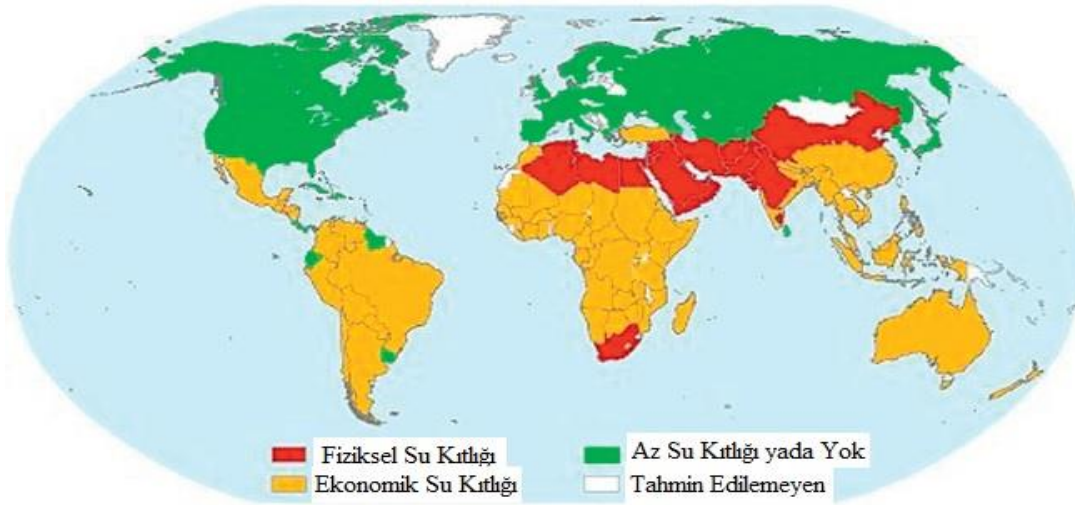
Yukarıdaki satırlar deniz suyunun bol olmasına rağmen yüksek tuz içeriğinden dolayı kullanımının yetersiz olduğunu anlatmaktadır. İnsanlar, tüketim için düşük tuz içerikli ya da tatlı suya ihtiyaç duymaktadırlar. İnsan tüketimi için uygun olan belirli tuzluluk ihtiyacı yetkililer tarafından 500 mg/l toplam çözünmüş katı maddeden az olarak saptanmıştır. Bundan dolayı M. Ö. 4. yüzyıldan itibaren insanların tatlı su üretmek için damıtma yöntemlerini kullanmış olduklarına inanmak şaşırtıcı değildir. 17. yüzyılda Japon denizcilerin çömleklerde deniz suyunu kaynatıp oluşan buhar taneciklerini ise bambu tüplerinde topladıkları sistem kayıtlara geçen ilk uygulamadır. Dünyadaki ilk endüstriyel desalinasyon tesisinin 1881 yılında Malta adasında devreye alındığı düşünülürken 1907 yılında Suudi Arabistan, Osmanlı Türkleri tarafından kurulmuş ilk desalinasyon tesisine sahiptir [8].

Desalinasyon teknolojisi 20. yüzyıl boyunca Ortadoğu ve su kıtlığı yaşanan adalarda birçok uygulama ile birlikte gelişti. Bununla birlikte şekil 3.1’de görülebildiği gibi 20. yüzyılın sonu ve 21. yüzyılın başında dünya nüfusunun artması ve değişen iklim koşulları nedeniyle su kıtlığının ortaya çıkmasıyla desalinasyon kapasitesinde hızlı bir artış gerçekleşti. Şekil 3.2’de ise 2025 yılı itibarıyla su kıtlığının çeşitli derecelerde yaşanacağı tahmin edilen bölgeler görülmektedir [8].

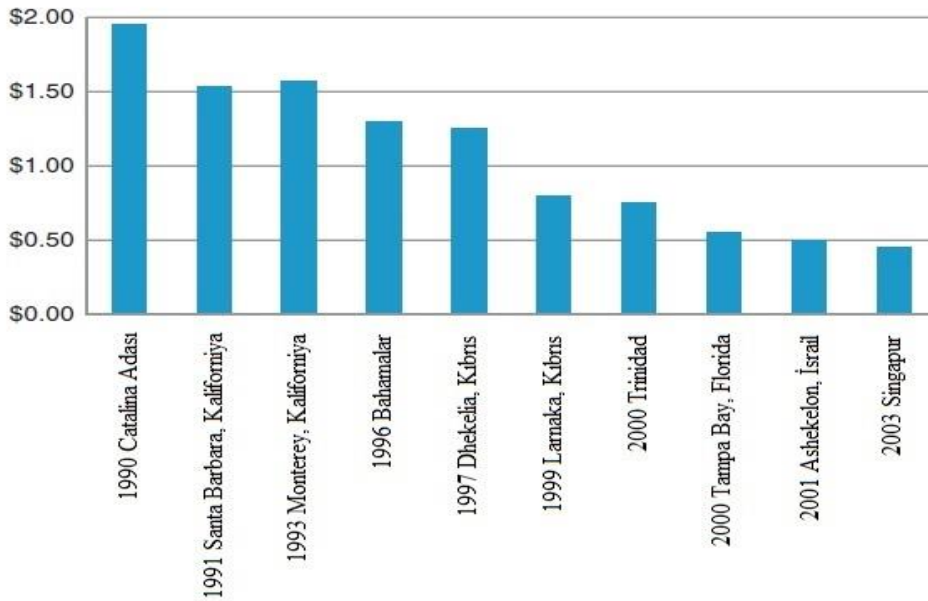
Bu tahminler ışığında su kıtlığı meseleleri ile mücadele edebilmek için daha az kaliteli kaynakların arıtılması öncelik haline gelmektedir. Deniz suyu, yeraltı suyu ve atık suyun desalinasyonu gibi uygulamalar önemli oranda artmaktadır. Desalinasyon teknolojisine olan ihtiyacın artmasıyla birlikte şekil 3.3’de görülebileceği gibi desalinasyon maliyetinde keskin bir düşüş yaşanmaktadır [8].



Şekil 3.1 : Dünya desalinasyon kapasitesi [8].



Şekil 3.2 : 2025 yılında tahmini su kıtlığı yaşanacak bölgeler [8].



Şekil 3.3 : 1990 – 2003 yılları arasında çeşitli tesislerdeki deniz suyu desalinasyonuna ait birim maliyetler (\$/m³) [8].

Tuzun giderilmesi katı partiküllere göre ozmotik basıncı aşılması gerektiğinden dolayı daha zordur ve bundan dolayı diğer arıtma proseslerine göre enerji ihtiyacı daha çoktur. Deniz suyunun desalinasyonu için ihtiyaç duyulan termodinamik olarak minimum enerji miktarı **0,79 kW/s.m³**'tür. Bu termodinamik değer, ihtiyaç duyulan minimum nihai enerji miktarıdır. Bunun yanında gerçekte yani sahada ihtiyaç duyulan değerler daha yüksektir (4 – 10 kW/s.m³). Desalinasyon teknolojisinin gelişiminin hızlandığı dönemde artan iklim değişikliği kaygıları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak deniz suyunun desalinasyonu ile oluşan sera gazının azaltılması için çaba gösterilmektedir. Bundan dolayı da enerji kullanımı yeni geliştirilecek desalinasyon teknolojileri için önemli bir husustur [8].

3.1. Deniz Suyu

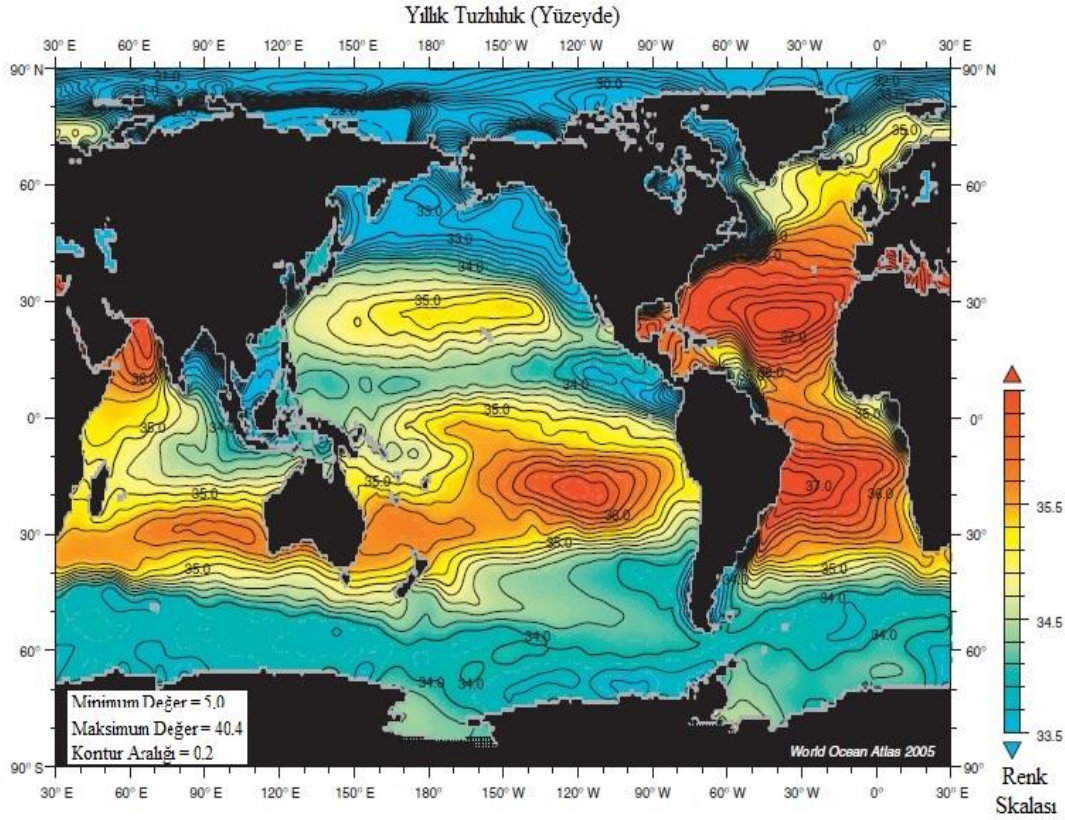
Yeryüzünün neredeyse % 70'ini deniz ve okyanuslar kaplamaktadırlar. Dünyadaki su kaynaklarının ise yaklaşık olarak % 97'sini oluşturmaktadır. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi tuzluluk seviyesi her yerde aynı değildir. Bununla birlikte tipik bir deniz suyunun tuz içeriğine ait bilgi de çizelge 3.1'de görülmektedir. Çizelge 3.1'e bakıldığında sodyum ve klorürün deniz suyunda en bol bulunan katyon ve anyon olduğu ve de magnezyumun ise kalsiyuma göre önemli oranda daha yüksek konsantrasyonda bulunduğu görülebilir [8].

Çizelge 3.1 : Deniz suyunun tuz içeriği [8].

İçerik	Konsantrasyon (%)
Kalsiyum	0.042
Magnezyum	0.13
Sodyum	1.07
Potasyum	0.04
Bikarbonat	0.015
Sülfat	0.27
Klorür	1.94
Bromür	0.007
Toplam	3,5

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi tuz konsantrasyonunun yerkürenin her yerinde aynı olmamasının yanında CaCO₃'ün miktarı derinlikle de değişmektedir. CaCO₃, yüzeyde dolgun olup daha düşük seviyelerde dolgunluk konsantrasyonunun altındadır. Bunun

ters ozmos membran sistemleri için önemi vardır. Tuz konsantrasyonu, proses sırasında membranda artar ve tuzun çökmesiyle de membran tıkanır [8].



Şekil 3.4 : Küresel deniz suyu tuzluluk seviyeleri [8].

Bromür ve Boron'un deniz suyundaki konsantrasyonu düşük olmasına rağmen özellikle ters ozmos sistemlerinde arıtılmış suyun kalitesini kötü bir şekilde etkilemektedir. Bromürün % 90 – 95 oranında membranlar tarafından tutulmasına rağmen süzüntü bromat oluşturmaya yetecek konsantrasyonda bromür içerebilir. Bu da suyun tadını ve kokusunu bozar. Bundan dolayı ozonlama ile dezenfekte edilmelidir [8].

Boron ise borik asit olarak suyun içerisinde yaklaşık olarak 5 ppm konsantrasyonunda bulunmaktadır. Borik asit, ters ozmos membranlarından geçebilecek kadar küçük bir molekül olup süzüntü de 1 ppm kadar boron içerebilir. Sulama faaliyetlerinde borona karşı hassas olan çoğu mahsul için bu önemli bir noktadır. Bundan kaynaklanabilecek problemler, yüksek oranda boronu ayırabilecek membranlar ile çözülebilir [8].

Deniz suyu, aynı zamanda yaşayan deniz canlılarından kaynaklanan organik kirleticileri de içermektedir. Bu kirleticiler, küçükten büyüğe bütün molekül tiplerini içermektedir. Bu kirleticilerde tuzla birlikte hem içme suyu standartlarını sağlamak

hem de membranların ve termal desalinasyon sistemlerinin tıkanmasını önlemek için giderilmelidir [8].

Bunların dışında alg patlamaları ya da gelgit, geçici fakat önemli oranda bulanıklık ve toplam organik karbonda artışa sebep olmaktadır. Bunun neticesinde membranlar daha hızlı tıkanmaktadır. Toplam organik karbondaki artış membranların üzerinde gelişebilecek bakteriler için besin sağlamaktadır. Bu gibi durumlarda sıklıkla sensörler kullanılarak oluşumun saptandığı anda membranın beslenmesi durdurulmaktadır [8].

3.2. Termal Teknolojiler

Termal desalinasyon teknolojileri, tuzlu solüsyondan suyun buharlaştırılması ve ardından oluşan buharın yoğunlaştırılarak saf suyun üretilmesi esasına dayanmaktadır. Bütün büyük ölçekli termal prosesler, su buharının maksimum miktarda üretilmesi için suyun kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmasını gerektirmektedir. Genellikle kaynama için ihtiyaç duyulan sıcaklığın düşürülebilmesi için sistemin basıncı düşürülmektedir. Art arda daha düşük sıcaklık ve basınçta seri ünitelerde çoklu kaynatmaya olanak sağlayacak şekilde damıtma sistemleri tasarlanabilir [9].

Deniz suyundan tuz giderimi için *Çok Kademeli Ani Damıtma* (MSF), *Çok Etkili Damıtma* (MED), ve *Buhar Sıkıştırma* (VC) olmak üzere kullanılan üç çeşit termal teknoloji bulunmaktadır.

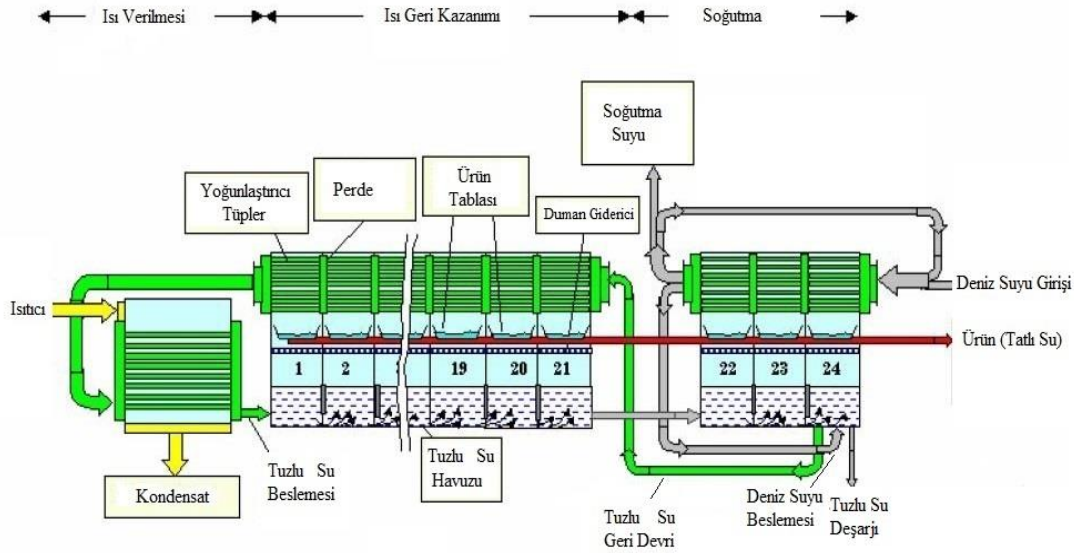
3.2.1. Ön arıtma

Termal prosesler, deniz suyu konsantrasyonuna karşı çok duyarlı olmamakla birlikte membran bazlı sistemlere göre askıda partiküllere karşı daha az hassastır. Kaba partikülleri gidermek için basit bir süzgeç filtrasyon tekniği sıklıkla uygun olmaktadır. Basit ejektör kondenserleri kullanılarak bu proses içerisinde sistemde birikerek korozyona neden olabilecek yoğunlaşmayan gazların ve de oksijenin giderilmesine ihtiyaç duyurulmaktadır. Bunun yanında bu prosesler membran bazlı sistemlere göre kalsiyum tuzlarının (çoğunlukla ısı transfer yüzeylerinde alçıtaşı) çökebilme ihtimaline karşı daha hassastır [8].

3.2.2. Çok kademeli ani damıtma (MSF)

Şekil 3.5’de görülmekte olan MSF prosesinde su, normal kaynama sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda kaynatılmaktadır. Buna da literatürde hızlı kaynama

denilmektedir. Deniz suyu, seri halindeki kademelere girişine izin verilmeden önce ısıtıcıda ısıtılmaktadır. Bu kademelerde buharlaştırıcı teşkil etmektedir. Isıtılmış suyun bu kademelere girdiğinde hızlı kaynama oluşabilsin diye bu kademeler atmosferik basınca göre azaltılmış basınçta işletilmektedir. Her kademede üretilen buhar tüplerde yoğunlaştırma ile tatlı suya dönüştürülmekte ve tuzlu sudan ayrı olarak toplanmaktadır. Ardından tüpler ısıtıcıya doğru giden deniz suyu akımıyla serinletilmektedir. Bu da deniz suyunun ısını arttırmaktadır. Böylelikle ısıtıcıda onun sıcaklığını yükseltmek için ihtiyaç duyulan termal enerji miktarı da azaltılmaktadır. Kademeden kademeye akan tatlı su son kademede ürün olarak toplanmaktadır. Ardından onun depolama ya da kullanımından önce pH ve sertliğini ayarlamak için kimyasal ilave edilebilir [10].



Şekil 3.5 : Çok kademeli ani damıtma (MSF) [10].

Çoğu MSF tesisi çift amaçlı olarak işletilmektedir. Hem enerji üretimi hem de su damıtılması işlerini kapsar. Elektrik üretimi sırasında oluşan atık ısı deniz suyunu ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu da yüksek termal verimlilik ve ucuz işletme maliyetleri sağlar [10].

Bu tesislerin avantajları şunlardır [10]:

- a) İşletilmesi kolaydır;
- b) Yüksek kaliteli su üretir;
- c) Yüksek kapasitelerde birim maliyetleri önemli oranda düşer;
- d) Temizlik ve bakım esnasında kısmi olarak işletilebilir;
- e) Az ön arıtma ihtiyacı;

f) Ön arıtma filtrelerinin geri yıkamasından atık üretmez.

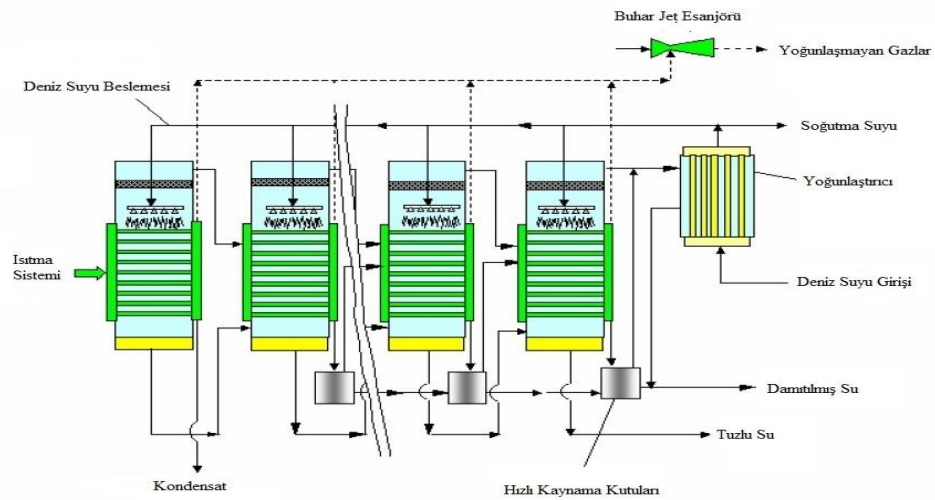
Bu tesislerin dezavantajları ise şunlardır [10]:

- a) Ters osmoz'a kıyasla yüksek enerji tüketimi;
- b) Esas olarak yüksek enerji tüketiminden dolayı hava kirliliği yaratmaktadır;
- c) Su talebindeki dalgalanmalara karşı duyarlılığı fazladır;
- d) Tüplerin içerisindeki yüzeylerin yüksek oranda kabuk bağlamasıdır.

3.2.3. Çok etkili damıtma (MED)

Şekil 3.6'da görülmekte olan bu tesislerde deniz suyu seri halinde bulunan bir dizi buharlaştırıcıdan geçer. Bir seride üretilen buhar diğer serilerdeki suyu buharlaştırmak için kullanılır. Bu yaklaşım seri halinde yerleştirilen buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcılar tarafından buharlaştırma ısısının tekrar kullanılma esasına dayanır. Üretilen buharın yoğunlaşmasıyla ortaya çıkan buharlaşma ısısı bir sonraki daha düşük sıcaklık ve basınçtaki kademelerdeki tuzlu suyu ısıtmak için kullanılır. Böylelikle ilave ısı gerekmeksizin ilk etkiden sonra suyun çoklu kaynamasına izin verilmiş olur [10].

Bu tesislerde deniz suyu birinci etkiye girer ve kaynama noktasına kadar ısıtılır. Tuzlu su, hızlı kaynamayı ve buharlaşmayı desteklemek için ısıtılmış tüplerin üzerine püskürtülür ya da zayıf bir tabaka içerisinde dikey yüzeylere doğru akar. Tüplere aktarılan tuzlu suyun küçük bir kısmı ilk etkide buharlaşır. Diğer kısmı ise birinci etkide üretilen buharla ısıtılan ikinci etkinin uygulandığı tüplere geçer. Bu buhar yoğunlaşırken verdiği ısıyla diğer kademedeki tuzlu suyun buharlaşmasını sağlar. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kondensat geri döndürülmektedir [10].



Şekil 3.6 : Çok etkili damıtma (MED) [10].

19. yüzyıla dayanan en eski desalinasyon teknolojilerinden birisidir. Düşük sermaye gereksinimi, düşük enerji ihtiyacı ve MSF'ye göre daha yüksek termal performans sunmasından dolayı son yıllarda piyasadaki talebi artmıştır [10].

Bu tesislerin avantajları şunlardır [10]:

- a) Kaynak seçimi geniştir;
- b) Yüksek güvenilirlikte yüksek kalitede ürün;
- c) MSF'ye göre düşük enerji tüketimi;
- d) Düşük işletme sıcaklığı (kabuk bağlamayı ve enerji maliyetlerini azaltır).

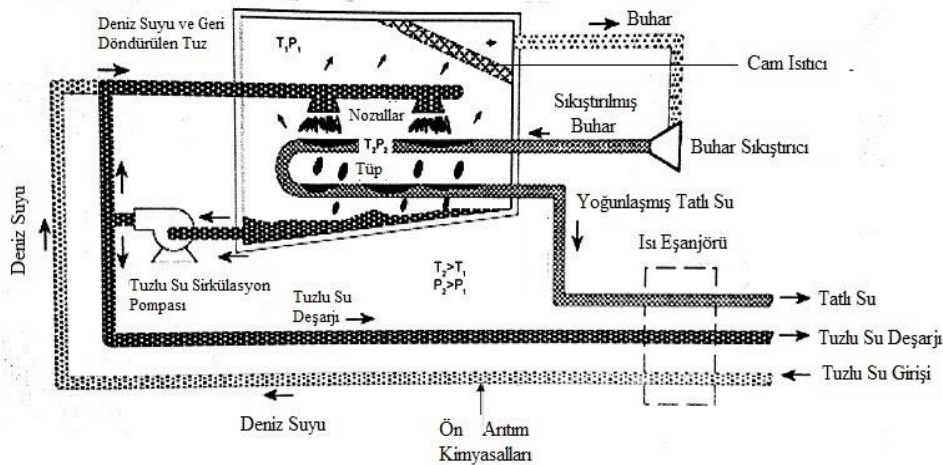
Bu tesislerin dezavantajları ise şunlardır [10]:

- a) Ters osmoz'a göre daha yüksek enerji ihtiyacı;
- b) Su talebindeki dalgalanmalara karşı duyarlılığı fazladır;
- c) MSF'ye göre daha düşük kapasite sunmaktadır.

3.2.4. Buhar sıkıştırma (VC)

Şekil 3.7'de görülmekte olan bu sistemler su buharını sıkıştırılarak işlev görmektedir. Bu da ısı transfer yüzeyinde (tüpler) yoğunlaşmaya neden olmaktadır. Böylelikle yoğunlaşma ısısı yüzeyin diğer tarafındaki tuzlu suya aktarılmaktadır. Bu da buharlaşmayı sağlar. Bu sistemlerdeki esas enerji ihtiyacı sıkıştırıcı içindir. Sıkıştırıcı, buhar tarafındaki basıncı artırırken tuzlu su tarafındaki basıncı onun kaynama sıcaklığını düşürmek için azaltmaktadır [11].

Mekanik (MVC) ve termal (TVC) olmak üzere buhar sıkıştırma sistemlerinde buharlaşma için ısı temininde kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır [9].



Şekil 3.7 : Buhar sıkıştırma (VC) [9].

3.3. Membran Teknolojileri

Bu teknolojiler yarı geçirimli membranların bazı iyonların geçişine seçerek izin vermesi ya da onları azaltma kabiliyetine göre tasarlanmaktadır. Basınç, elektrik potansiyel ve konsantrasyon olmak üzere üç tane temel sürücü kuvveti vardır. Ters Osmoz (RO) ve Nanofiltrasyon (NF) proseslerinde basınç, Elektrodializ (ED) ve Elektrodializ Tersine (EDR)'de elektrik ve İleri Osmoz (FO)'da ise konsantrasyon sürücü kuvvetleri etkindir [9].

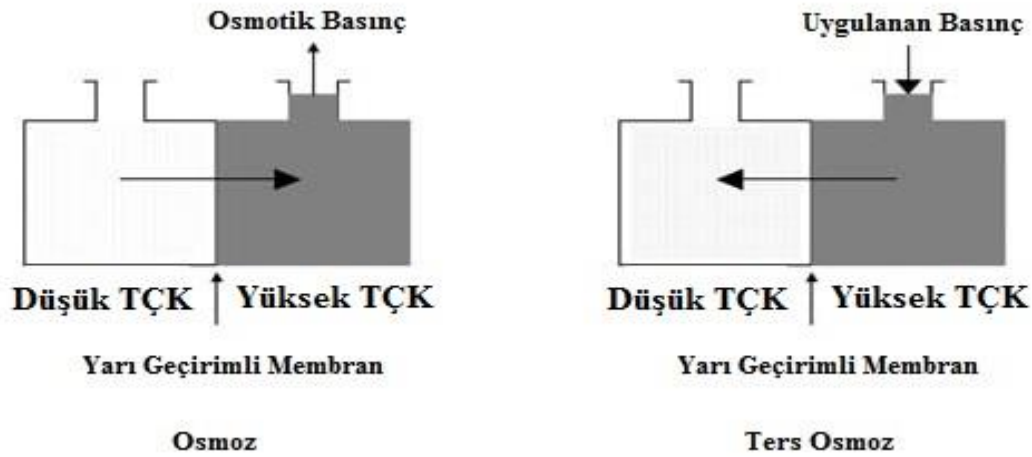
Bu teknolojiler içerisinde genellikle RO uygulanmaktadır. NF ve ED/EDR olgunlaşmış teknolojiler ve desalinasyon için kullanılabilir olmasına rağmen, genellikle ED/EDR, maliyet açısından rekabet edebilir değil ve NF'de deniz suyu desalinasyonu ile içme suyu üretimi için düşünülmemektedir. Bununla birlikte, Kaliforniya'da Long Beach Su Departmanı'nda deniz suyu desalinasyonu için iki geçişli NF yapılandırması ile çalışan yeni bir yaklaşım geliştirilmiş olup test edilmektedir. Aynı şekilde FO ise gelişmekte olan bir teknoloji olup henüz ticari olarak büyük ölçekli uygulamalarda kullanılmamaktadır [9].

3.3.1. Ön arıtma

Ya geleneksel arıtma ile ya da membranlarla yapılan ön filtrasyon, ters osmoz membranlarını korumak, partikülleri azaltmak ve böylece membranların tıkanmasını önlemek için gereklidir. Bunun sonucunda çalışma ömrü uzamakta ve işletme verimliği gelişmektedir. Bazı kirleticileri giderilerek ve membran üzerindeki mikrobik gelişimi kontrol ederek membranların korunması ve de işletiminin kolaylaştırılması sağlanmaktadır. Filtrasyon ile askıda katı maddeler giderilmektedir, membranı korumak ve tuzun çökmesini kontrol etmek için pH ayarlamaları (düşürme) yapılmaktadır. Kalsiyum karbonat ve sülfatı kontrol etmek için kabuk oluşumunu engelleyen inhibitörler ilave edilmektedir. Demir, mangan ve bazı organik maddeler membranın tıkanmasına neden olabilir. Membranın biyolojik olarak tıkanmasını kontrol etmek için dezenfektan ilave edilmektedir. Deniz canlıları, alg ve bakteri de mutlaka bertaraf edilmelidir. Eğer dezenfektan olarak klor kullanılacaksa, membran ile temasından önce nötralize edilmelidir [11].

3.3.2. Ters osmoz (RO)

Osmoz, düşük toplam çözünmüş katı maddeli (TÇK) bir çözeltiliden yüksek TÇK'lı bir çözeltiliye yarı geçirimli bir membran aracılığıyla suyun difüzyonu olarak tanımlanabilir. Ters osmoz ise tuzlu suyun (yüksek TÇK'li) yüksek basınç altında geçirimli membranlara düşük TÇK'lı çözelti üretmek için pompalanmasıdır. Böylelikle şekil 3.8'de görüldüğü gibi tuzun sudan ayrılıp tatlı suyun üretimi sağlanır. Membranların tıkanmasına neden olabilecek partiküllerin giderilmesi için sıklıkla besleme çözeltisi ön arıtmadan geçirilmektedir. Üretilen suyun kalitesi uygulanan basınca, besleme çözeltisindeki tuzun konsantrasyonuna ve kullanılan membranların türüne bağlıdır. Üretilen suyun ikinci kez membranlardan geçirilmesiyle kalitesi geliştirilebilir [10].



Şekil 3.8 : Ters osmoz prosesinin diyagramı [10].

Ters osmoz proseslerinin verimliğindeki gelişmelerle azaltılmış enerji tüketimi ve işletme maliyetleri düşmesi sağlanmıştır. Ayrıca membranların ömürlerinin artması da maliyet verimliliğini arttırmaktadır [10].

Bu tesislerin avantajları şunlardır [10]:

- a) Düşük enerji tüketimi;
- b) Deşarjların düşük termal etkisi;
- c) Korozyonla ilgili daha az problem;
- d) Yüksek geri kazanım oranları (deniz suyu için yaklaşık olarak % 45);
- e) İstenmeyen kirleticilerin giderimi (trihalometan öncülleri, pestisit ve bakteri gibi);

- f) Diğer desalinasyon süreçlerine göre daha az alan kaplar;
- g) Su talebindeki dalgalanmaları karşılamak için esnek.

Bu tesislerin dezavantajları ise şunlardır [10]:

- a) Giren su kalitesine karşı hassas;
- b) İşletilmesi daha karmaşık;
- c) Membranlar tıkanığında sıklıkla kimyasal yıkamayı gerektirir ve bunun sonucunda üretimde verimlilik düşmektedir;
- d) Üretilen suyun saflığı daha düşüktür.

3.3.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon, genellikle suyu yumuşatmak ve dezenfeksiyon yan ürünlerini gidermek için uygulanmakta olan bir teknoloji olup iki geçişli NF'nin bazı yapılandırmalarının deniz suyu desalinasyonunda başarıyla kullanılmasına rağmen genellikle bu alanda kullanılmamaktadır [9].

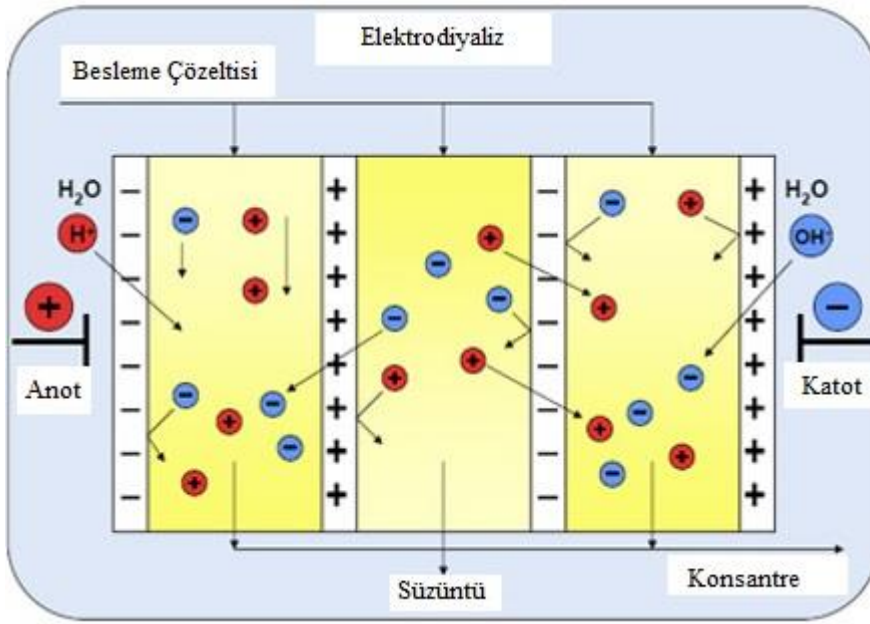
Nanofiltrasyon, yarı geçirimli membranlar kullanmaktadır ve sürücü kuvveti basınçtır. Bununla beraber, ters osmoz'a kıyasla giderebildiği en küçük bileşik oranı daha yüksektir. Bu membranlardan sertlikle ilgili olan çift değerli iyonların % 90 – 98 arasında giderilirken tek değerli iyonların giderimi ise genellikle % 60 – 85 arasında limitlidir. Tek değerli iyonların yüksek konsantrasyonlarının NF membranlarından geçebilmesinden dolayı, ozmotik basınç RO'ya göre daha düşüktür. Böylelikle daha geçirimli bir membran ile deniz suyu uygulamaları için hidrolik basınç ihtiyacı 3,4 – 4,8 MPa'a kadar azaltılmaktadır. Buradan hareketle Long Beach Su Departmanı (Kaliforniya, Birleşik Devletler) da deniz suyu desalinasyonu için iki geçişli NF metodunu geliştirip patentini de almıştır [9].

3.3.4. Elektrodializ (ED) ve tersine elektrodializ (EDR)

ED ve EDR prosesleri iyon seçici membranlar kullanmaktadır ve sudan yüklü türleri ayırmak için sürücü kuvveti olarak elektrik potansiyelini kullanır. Basıncın sürücü kuvveti olduğu RO ve NF'de bir membrandan suyu seçerek ayırmakta ve çözünmüş tuzlar tutulmaktayken ED ve EDR'de bir dizi membran ile çözünmüş iyonları çekmek için (anyonlar bir tarafa, katyonlar bir tarafa) elektrik potansiyelini kullanmaktadır. Bu

sırada deiyonize su da membranlar arasından geçmektedir ve sonunda geri kazanılmaktadır [9].

Şekil 3.9’da görülebildiği gibi bir elektrodializ şeması birbirini sırayla takip eden anyonik ve katyonik iyon seçici düz membranları içermektedir. Bunlar desaline edilen ve reddedilen suyun kanallarını yaratmaktadır. Katyonlar, katoda geçerken anyonlar ise anoda geçmektedir. Bu sırada katyon seçici membranlar sadece katyonlara, anyon seçici membranlar ise sadece anyonlara izin vermektedir. Her bir hücreden tuzun giderilmesi de net etki olarak ortaya çıkar [9].



Şekil 3.9 : Elektrodializ prosesindeki iyon değişimi [12].

ED prosesinin bir modifikasyonu olan EDR ise periyodik olarak uygulanan elektrik potansiyelinin polaritesini değiştirmektedir. Böylelikle inorganik kabuk oluşumu ve tıkanma gibi etkiler azaltılmaktadır. Bu da ED’ye göre daha yüksek geri kazanım elde edilerek işletilmesini sağlar [9].

Diğer membran bazlı desalinasyon sistemlerine göre yüksek tuzlulukta daha az verimli olduğu için genellikle ED/EDR süreçleri deniz suyu desalinasyonu için kullanılmamaktadır. Ayrıca, bakteri, iyonik olmayan içerikler ve bulanıklık, bu proseslerden etkilenmemektedir ve bundan dolayı oluşan ürünün içme suyu standartlarını karşılaması için ilave arıtma gereklidir [9].

3.3.5. İleri osmoz, çarpılmış elektrodializ, sabit iyon giderimi

İleri osmoz, çarpılmış elektrodializ ve sabit iyon giderimi üzerinde çalışılmakta olan deneysel yaklaşımlardır. Bu deneysel yaklaşımlar henüz gelişim sürecinde olup sahada uygulamaları bulunmamaktadır [11].

İleri osmoz yaklaşımında, suyun membrandan ilave bir basınç gerekmeksizin doğal bir şekilde geçebilmesi için membranın karşı tarafında örnek bir amonyum karbonat çözeltisi yapılır. Membranın diğer tarafındaki iyonik amonyum sülfat konsantrasyonunun, tuzlu sudan yüksek olması için tatlı suya amonyak ve karbondioksit ilave edilir. Seyreltilmiş olan örnek çözeltideki amonyak ve karbondioksitin uçurulması için ısıtılır. Ardından, amonyak ve karbondioksit, yakalanır ve tekrar geri kazanılır. RO'ya göre potansiyel avantajları ise ilave bir basınç gerekmemesi, daha yüksek verim ve daha düşük enerji maliyetleridir. Onun ne kadar kullanılabileceğini belirlemek için ilave araştırma gerekmektedir [11].

Çarpılmış elektrodializ ise EDR'nin ürün/tuz ters akımlarını ve polarite ihtiyacını potansiyel olarak azaltabilmektedir. Yüksek direkt akım frekansı kullanılmasından dolayı enerji kullanımı azalmakta ve ED membranların tıkanmaya karşı direnci artmaktadır [11].

Sabit iyon giderimi ise yükleme periyodu sırasında yüklenen elektrodlara iyonları çekmekte ve sonra deşarj periyodu sırasında onları tuz olarak salmaktadır. Bu teknoloji, ED sistemlerinde olduğu gibi ayrı bir tuz bölmesi ile birleşmemektedir. Geçerli voltaj, redoks reaksiyonlarını başlatan eşik değerin altından tutulmaktadır [11].

3.4. İleri Arıtma

Desalinasyon sonucunda elde edilen ürün, hem dengeye ulaşması için hem de dağıtım sistemiyle uygun hale getirmek için ileri arıtmaya tabi tutulmalıdır. pH'ın yaklaşık olarak 8'e ayarlanması gereklidir. Alkalinite ve TÇK'yı yükseltmek ve suyu dengelemek için biraz kaynak suyu ile karıştırılabilir. Ya da karbondioksitle kireç çökertme veya kireç gibi bazı kimyasallar uygulanabilir. Polifosfat gibi korozyon inhibitörlerinin ilavesi gerekli olabilir. Karıştırma sırasında patojen kontrolü gibi dağıtım sırasında mikroorganizma gelişimini kontrol etmek için ileri dezenfeksiyon da gerekli olabilir. Çözünmüş gazları uzaklaştırmakta gerekli olabilir. Birçok sistemin desalinasyon sonucu üretilen suyun mineral içeriğini arttırmak için birlikte karıştırdığı

kaynak suyu yüzdesi sodyum tuzlarının tada yaptığı katkıdan dolayı deniz suyu için genellikle yaklaşık olarak % 1 ile limitlidir. Hem kaynak suyu ile karıştırma hem de kireç ya da kireçtaşı ile arıtma ile yararlı minerallerin bir kısmı tekrar suya kazandırılmış olur [11].

3.5. Enerji Tüketimi

Desalinasyon tesisleri, prosese, sıcaklığa ve kullanılan kaynak suyunun kalitesine bağlı olarak önemli miktarlarda ısı ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Örneğin, 26.000 m³/gün'lük üretim yapan bir termal desalinasyon tesisi bir petrol rafinerisi ya da küçük bir çelik fabrikasının enerji talebine benzer bir şekilde yılda yaklaşık olarak 50 milyon kW-saat enerjiye ihtiyaç duyar. Bu yüzden kojenerasyon tesisleri verimlilik açısından önemli fırsatlar yaratmaktadır. Desalinasyon ve enerji tesisleri arasında belli bir uyum vardır. Enerji tesisleri soğutma amacıyla yüksek miktarlarda su girişine ihtiyaç duymaktadır ve desalinasyon tesislerinde kullanılabilecek önemli oranda atık ısı üretirler. Ayrıca harcanan su depolama sistemi de paylaşılabilir. Uluslararası Atomik Enerji Ajansı da kojenerasyon tesisi olarak nükleer tesislerin rolü üzerine çalışmaktadır [11].

3.6. Çevresel Etkiler

Bir desalinasyon tesisinin kurulumu ve işletilmesi, hava kalitesi, su/deniz çevresi ve yeraltı suyu ve muhtemelen başka durumlar üzerinde önemli etkiler yaratacağı konusunda potansiyel taşımaktadır. Bütün bu etkiler değerlendirilmeli ve onların kabul edilebilirliği ve azaltılma ihtiyaçları sıklıkla ulusal ve yerel yasama ve politikaların bir meselesidir. Bu etkileri değerlendirmek için yapılacak çalışmalar genellikle tesisin yapılacağı aday olan yerde yürütülmektedir ve kurulum sonrası tesisi izleme programları düzenlenmelidir. İzlenecek meseleler genel olarak şunlardır [11]:

- **İnşaat:** Sahil şeridi ve deniz tabanı ekolojisi, kuş ve memeli yaşam alanı, erozyon, noktasal olmayan kaynak kirlenmesi,
- **Enerji:** Yakıt türü ve yakıt taşınması, soğutma suyu deşarjları, elektrik enerjisi üretimi ve yakıt yanmasından kaynaklanan hava emisyonları,
- **Hava Kalitesi:** Enerji üretimiyle ilgilidir,

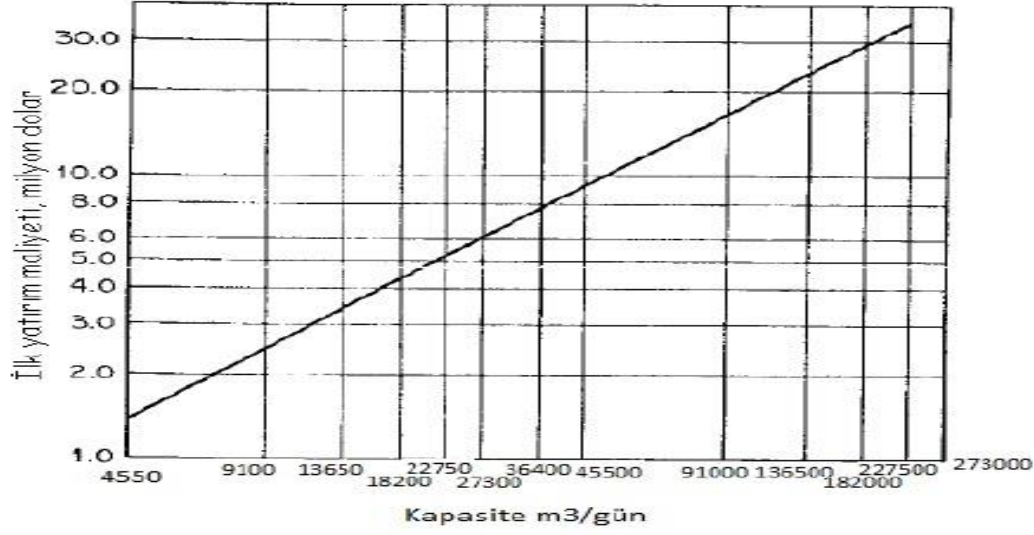
- **Deniz Çevresi:** Atık deşarjlarındaki içerikler, termal etkiler, su temini süreci, deşarj suyundaki mikrobik etkiler, toksik metaller, oksijen seviyeleri, bulanıklık, tuzluluk, karışım bölgeleri, ticari balıkçılığın etkileri ve vb.,
- **Yeraltı Suyu:** Kurumakta olan lagünlerin tabanından kaynaklanan sızma, tuzluluğun artmasına ve muhtemelen toksik metal içeriğinin birikmesine neden olmaktadır.

3.7. Desalinasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması

Neredeyse sınırsız bir tuzlu su kaynağı olan denizlerden ve de okyanuslardan yararlanılarak su sıkıntısı çeken yerleşim bölgelerinde yaşayan insanlar için yaşamsal anlamda çok önemli bir fırsat yaratılabilir. Bununla birlikte yeni tatlı suyu elde etme kaynaklarını arttırmak için gerçekleştirilen mesafe ve maliyet araştırmalarında tuzdan arındırma metotlarının uzak mesafelerden su taşınmasına göre önümüzdeki yıllarda gelişmekte olan teknolojiyle birlikte daha düşük maliyette olacağı söylenebilir. Deniz suyundan tatlı su elde edilmesini etkileyen pek çok faktör vardır [13]:

- Tesisin büyüklüğü,
- Arıtılan suyun kimyasal bileşimi,
- Üründe gerekli saflık derecesi,
- Elektrik ve termal enerjinin birim maliyeti,
- İklim ve diğer yapı koşulları,
- Ortam ve su sıcaklığı,
- Yıllık yükleme faktörü,
- Yıpranma payı ve faiz oranları,
- Isı transfer alanı da dâhil olmak üzere bileşenlerin ömrü,
- Seçilen dönüşüm tipi.

Şekil 3.10'da ilk yatırım maliyeti açısından buhar üretme ekipmanları dâhil edilmeyen MSF için toplam kapasitesine göre maliyetin 1,5 ile 30 milyon dolar arasında değiştiği görülmektedir [13].



Şekil 3.10 : İlk Yatırım Maliyeti ve kapasite arasındaki ilişki [13].

Çalışma şekilleri açısından termal ve membran teknolojileri değerlendirildiğinde çizelge 3.2 elde edilmektedir [13].

Çizelge 3.2 : Çalışma şekilleri açısından membran ve termal teknoloji arasındaki farklar [13].

Dönüşüm Teknolojisi	Özellikler	Ön Arıtma	İşletme Sıcaklığı (°C)	Tatlı Su Verimi (%)	TÇK (mg/L)
Membran	Düşük işletme ve yatırım maliyetleri. Elektrik enerjisi gerekir. Düşük enerji gereksinimi. Daha az tesis alanı. Neredeyse 20 yıldır gelişmekte olan bir performans. Yüksek işletme ve yatırım maliyetleri. Isı enerjisi gerekir. Yüksek enerji gereksinimi. Eski ve güvenilir bir sistem.	Filtrasyon ve dozajlama gerekir.	Çevre Sıcaklığı	30 – 60	350 – 1000
Termal		Neredeyse hiç ön arıtma gerekmez.	60 – 110	10 – 20	< 25

Bununla birlikte bütün membran ve termal teknolojilerin karşılaştırılmasıyla çizelge 3.3’de görülmekte olan proses verileri elde edilmektedir.

Çizelge 3.3 : Bütün membran ve termal teknolojilerin karşılaştırılması neticesinde elde edilen proses verileri [14].

	MSF	MED	TVC	MVC	RO	ED
İşletim Sıcaklığı (°C)	<120	<70	<70	<70	<45	<45
Enerji Şekli	Buhar	Buhar	Buhar	Mekanik (Elektrik)	Mekanik (Elektrik)	Elektrik
Elektrik Tüketimi (kWh/m ³)	3,5	1,5	1,5	8 – 14	4 – 7	1,0
Ham suyun tipik tuz içeriği (ppm TÇK)	30.000 – 100.000	30.000 – 100.000	30.000 – 100.000	30.000 – 50.000	1.000 – 45.000	100 – 3.000
Ürün Suyu Kalitesi (ppm TÇK)	<10	<10	<10	<10	<500	<500
Tek bir modül kapasitesi (m ³ /gün)	5.000 – 60.000	500 – 12.000	100 – 20.000	10 – 2.500	1 – 10.000	1 – 12.000

Günümüzde enerji maliyetleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu doğrultuda dünyada en çok tercih edilen RO, MSF ve MED teknolojilerinin toplam maliyetleri arasındaki karşılaştırma çizelge 3.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 : 100.000 m³/gün kapasiteli RO, MSF ve MED proseslerinin toplam maliyetleri [13].

	RO	MSF	MED
Yatırım Maliyeti	0,15	0,29	0,22
Parça Değişimi ve Bakım Maliyeti	0,03	0,01	0,01
Kimyasallar	0,07	0,05	0,08
İşçilik	0,10	0,08	0,08
Membranlar	0,03	0	0
Isı Enerjisi	0	0,27	0,27
Elektrik Enerjisi	0,23	0,19	0,06
Toplam (\$/m³)	0,61	0,89	0,72

Çizelge 3.4’de görülebildiği gibi orta ve küçük kapasitelerde ters osmoz (RO) diğer proseslere göre daha ekonomiktir. Bunda ısı enerjisine ihtiyaç duymamasıyla birlikte modüler olması ve düşük yüklerde de tam yüklü gibi verimli çalışabilmesinin ve esnek olmasının katkısı bulunmaktadır [13].

4. BULANIK MANTIK VE ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

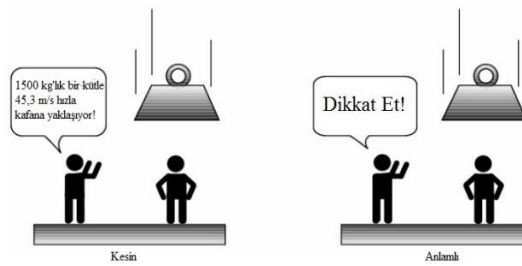
4.1. Bulanık Mantık

Bütün insanlar tarafından aynı şekilde algılanmayan, sonucu kestirilemeyen, objektif veriler içermeyen, belki soyut olarak ifade edilebilecek her duruma belirsizlik denir. Hayatın her anı belirsizliklerle doludur. Örneğin; okulda, evde, iş yerinde, vs. her yerde belirsizlik vardır. Birisi ev almaya karar verdiğinde acaba hangi muhitten alsam, ulaşımı kolay mı, acaba zemini sağlam mıdır? Gibi çok sayıda belirsizlik sayılabilir. Bunun gibi tercih yapmak konumunda kalınan durumlarda klasik mantıkla çözüm bulmak oldukça güç olmakla birlikte bazı durumlar için de imkânsız olduğu söylenebilir [15].

Kaliforniya’da Berkeley Üniversitesi’nde öğretim görevlisi olan Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen bulanık küme teorisiyle bu belirsizliklerin ifade edilmesi sağlanmıştır.

İnsan bilgisinin yetersizliğinden dolayı gerçek bir olayın tam olarak anlaşılması mümkün olmadığından dolayı bu gibi olaylar karşısında insan, düşünce sisteminde yaklaşık olarak yorumlarda bulunmaktadır. Sözel olarak düşündüğünden ve aktardığından dolayı da bu yorumların kesin olması beklenmemelidir [16].

Bulanık mantıkta siyah ve beyaz ile birlikte arasındaki gri tonlarda dikkate alınmaktadır. Bundan dolayı da Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh, tarafından geliştirilen bulanık küme teorisinin şekil 4.1’de görülebilmekte olan insan düşünce sistemine gösterdiği benzerlik yüksektir [15].



Şekil 4.1 : İnsan düşünce sistemi [17].

Albert Einstein'in belirsizlik üzerine "Matematiğin kavramları kesin oldukları sürece gerçeği yansıtmazlar, gerçeği yansıttıkları sürece de kesin değildir." söylediği sözünü hatırlatarak bulanık mantığın ortaya çıkışından itibaren hızla büyüyerek günümüze kadar elde ettiği kavramsal çerçeve ve sonuçları bakımından geniş bir perspektife sahiptir. Uygulama alanlarının genişliği ve sonuçları göz önüne alındığında bulanık küme teorisi günümüzde bilimsel çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır [18].

Çizelge 4.1'de görülebileceği gibi klasik mantıkta ikili bir durum vardır. Yani bir durum için kesin olarak ya yanlış ya da doğru şeklinde karar verirken bulanık mantıkta derecelendirme vardır.

Çizelge 4.1 : Bulanık mantık ve klasik mantık arasındaki farklar [15].

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
Kesin	Belirsiz (Kısmi)
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 ya da 1	0 ile 1 Arasında
İkili Birimler	Bulanık Birimler
A veya A Değil	A ve A Değil

Çizelge 4.2'de görülebileceği gibi bulanık mantığın günümüzde hemen hemen her alanda uygulaması bulunmaktadır [15].

Çizelge 4.2 : Bulanık mantığın uygulama alanları [15].

Uygulama Alanı	Açıklama
Klimalar	Ortam şartlarına göre en iyi çalışma durumunu belirler.
Çamaşır Makineleri	Çamaşırın kirliliğine, kumaş cinsine, ağırlığına göre uygun yıkama programını seçer.
Elektrikli Süpürge	Süpürülen yerin kirliliğine ve durumuna göre motor gücünü en uygun şekilde ayarlar.
Su Isıtıcısı	Kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ısınma derecesini ayarlar.
SLR Fotoğraf Makineleri	Ekrandaki nesne sayısı arttığında en iyi odak ve aydınlatmayı belirler.
ABS Fren Sistemi	Tekerleklerin kilitlenmeden fren yapmasını sağlar.
Otomobil Aktarma Organı	Arabada bulunan yük miktarı ve kullanıma göre en iyi dişli sistemini seçer.

4.1.1. Bulanık küme teorisi

Bu teoriyi açıklayabilmek için $A = \{a,b,c\}$ kümesi ele alınırsa klasik küme mantığında bir eleman bu kümeye ya aittir ya da değildir. Yani, d elemanı kümeye ait değilken b elemanı aittir. Bu da üyelik derecesiyle ifade edilebilmektedir. Bir elemanın bir kümeye ait olması, olmaması, ya da ne kadar ait olduğu üyelik derecesiyle ifade edilmektedir. Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi klasik küme mantığında b elemanı ait olduğuna göre üyelik derecesi 1, d elemanı ait olmadığı için üyelik derecesi 0'dır. Bulanık küme mantığında ise üyelik derecesi, $[0,1]$ kapalı aralığından bir değer alır [15].

Bulanık kümeler için yukarıdaki gibi tanımlanan üyelik derecelerinin sağlaması gereken üç temel özellik şunlardır [19];

- Bulanık küme içerisinde bulunan elemanlardan en azından bir tanesinin üyelik derecesinin 1 olması gereklidir. Böylelikle bulanık küme normal olacaktır.
- Bulanık küme içerisinde üyelik derecesi 1 olan elemanın sağında ve solunda yakın olan elemanlarında üyelik derecelerinin 1'e yakın olması istenir. Böylece bulanık kümeler monoton olur.
- Bulanık kümelerin simetrik olma özelliği bulunmaktadır. Bu da üyelik derecesi 1 olan elemanın sağında ve solunda eşit mesafe gidildiği vakit bulunan elemanların da üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır.

Yılların getirmiş olduğu bir alışkanlık olarak sayısal verilere daha çok güvenilmektedir. Fakat yukarıdaki açıklamalarda görüldüğü gibi sözel verilerinde hayatlarımızda ve de mühendislik faaliyetlerinde yeri vardır [19].

4.1.2. Üyelik fonksiyonları

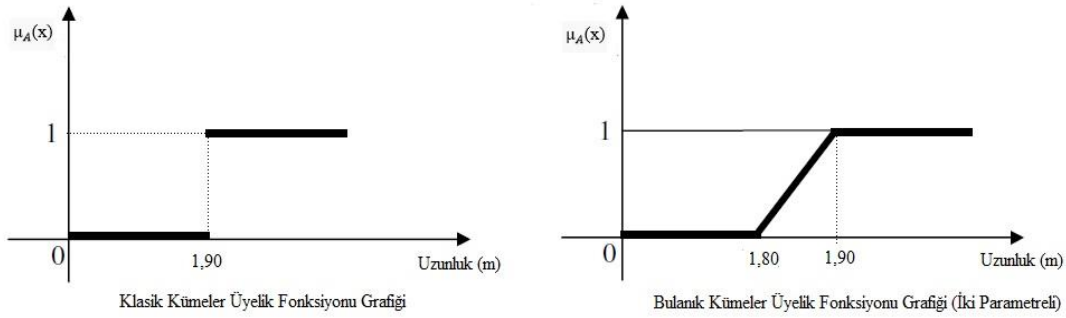
Yukarıda anlatıldığı üzere bir ögenin kümeye ait olup, olmaması ya da ne kadar ait olduğu üyelik derecesiyle tanımlanmıştı. Klasik küme mantığında eğer bir eleman ait ise 1, değil ise üyelik derecesi 0'dır. Örneğin [15];

$A = \{x \mid x \text{ uzunluğu } 1,90 \text{ m'den uzun olan insanlar}\}$ kümesinin öğelerine ait olan üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ile gösterilirse, üyelik fonksiyonu $\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x > 1,90 \text{ m.} \\ 0, & x < 1,90 \text{ m.} \end{cases}$ şeklinde tanımlanır.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi klasik küme mantığında boyu 1,85 m. olan insanlar uzun olarak değerlendirilmez ve üyelik derecesi 0 ile gösterilir. Bunun yanında bulanık küme mantığında ise 1,85 m. boya sahip olan insanlarda değerlendirilir ve bir üyelik derecesi ile gösterilirler. Buna göre, bulanık küme mantığında ise;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x > 1,90 \text{ m.} \\ \frac{x-1,80}{0,1}, & 1,80 \text{ m.} \leq x \leq 1,90 \text{ m.} \\ 0, & x < 1,80 \text{ m.} \end{cases}$$

şahip olan insanlar için üyelik derecesi 0,5 olarak derecelendirilmiş olur.



Şekil 4.2 : Üyelik fonksiyonları [15].

Literatürde iki parametrelî artan veya azalan, üç parametrelî artan, üçgensel, yamuk ve çan şekilli olmak üzere çeşitli üyelik fonksiyonları bulunmaktadır [15].

Bulanık mantıkla modelleme çalışması sırasında üyelik fonksiyonlarını tanımlayabilmek için çeşitli yöntemler vardır. Bunlar [20];

- **Sezgi:** Karar verici kendi görüşleri ve bilgisi dâhilinde ya da araştırılan konuyla ilgili bir uzmana danışarak karar verir. Bu yüzden basit bir yöntemdir.
- **Çıkarım:** Mutlaka araştırılan konu hakkında temel bilgi ihtiyacı bulunmaktadır.
- **Mertebeleme:** Anket, araştırma ya da seçim yapılarak üyelik dereceleri belirlenir ve sunulan iki seçenek arasındaki tercihler sayılır. Ardından, tercihler için puanlandırma yapılarak işlemler yapılır.

Üyelik fonksiyonları sahip oldukları şekille bulanık kümenin içerdiği belirsizlik ve bilgiyi yansıtmakla birlikte iyimserlik ve kötümserlik ya da toleransa karşı korumacılığın da mertebesini göstermektedir. Örneğin, üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonuna göre daha az toleranslı olmakla birlikte yamuk üyelik fonksiyonu ise daha iyimserdir. Yüksek üyelik derecesi sağlanabilen daha geniş bir

aralık içermektedir. Bu da yamuk üyelik fonksiyonunu daha iyimser yapar. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarına ait denklemler ise şunlardır [20]:

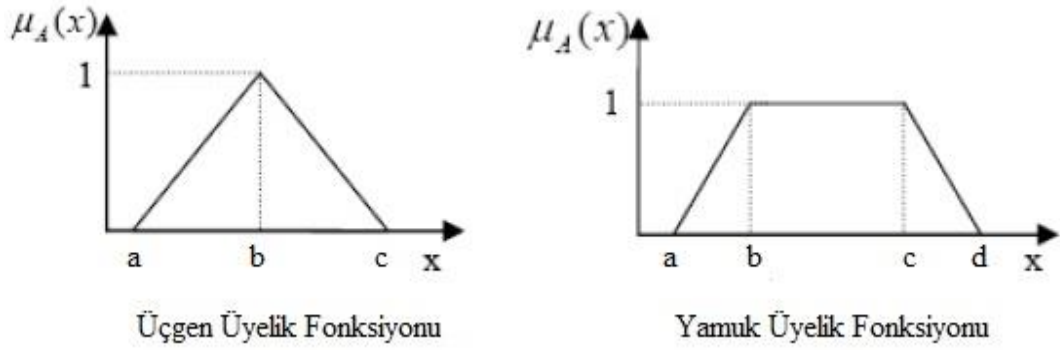
$A = \{a,b,c\}$ şeklinde bulanık küme ifade edildiğinde buna ait olan üçgensel üyelik fonksiyonu şu şekildedir:

$$\mu_A(x; a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (4.1)$$

$A = \{a,b,c,d\}$ şeklinde bulanık küme ifade edildiğinde ise buna ait olan yamuk üyelik fonksiyonu şu şekildedir:

$$\mu_A(x; a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (4.2)$$

Bu fonksiyonlara ait grafiklerde şekil 4.3’de görülmektedir [20].



Şekil 4.3 : Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları [20].

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi üçgen üyelik fonksiyonu sadece bir noktada üyelik derecesi 1 olduğu için toleransı yamuk üyelik fonksiyonuna göre daha azdır.

4.1.3. Bulanık kümelerde işlemler

A ve B gibi iki bulanık küme kabul edilirse aralarındaki işlemler aşağıdaki gibidir [20]:

- Birleşim İşlemi:

$$A \cup B = \{\forall x \in E \mid \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (4.3)$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \{\forall x \in E \mid \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (4.4)$$

- Kesişim İşlemi:

$$A \cap B = \{\forall x \in E \mid \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (4.5)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \{\forall x \in E \mid \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (4.6)$$

- Tümlenme İşlemi:

$$\bar{A} = \{\forall x \in E \mid \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)\} \quad (4.7)$$

- Fark İşlemi:

$$A - B = (A \setminus B) = A \cap \bar{B} \quad (4.8)$$

- Eşitlik:

$$\forall x \in E \mid \mu_A(x) = \mu_B(x) \rightarrow A = B \quad (4.9)$$

4.1.4. Bulanık sayılar

Yukarıda da bahsedildiği üzere reel sayıların bir alt kümesi olan bulanık sayılar, her bir reel sayıyı $[0,1]$ kapalı aralığı ile eşleştirir. Bu sayıların kesin bir değeri yoktur ama üyelik dereceleri ile alabileceği değerler belirlenir. Bu sayılar esasında bir aralıktır. Mesela, $(2,6,8)$ üçgensel bulanık sayısı gibi ya da $(2,6,8,9)$ gibi yamuk bulanık sayıları şeklinde tanımlanabilirler [15].

4.1.4.1. Üçgensel bulanık sayılarda işlemler

Örneğin, $a < b < c$ ve $d < e < f$ olmak üzere $A(a,b,c)$ ve $B(d,e,f)$ bulanık sayıları verildiğinde bunlarla yapılabilecek işlemler şu şekilde gerçekleşir [15]:

- Toplama İşlemi:

$$A + B = (a+d, b+e, c+f) \quad (4.10)$$

- Çıkarma İşlemi:

$$A - B = (a-f, b-e, c-d) \quad (4.11)$$

- Çarpma İşlemi:

$$A \times B = (a \times d, b \times e, c \times f) \quad (4.12)$$

- Bölme İşlemi:

A ve B'nin her ikisi pozitif olduğunda;

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{a}{f}, \frac{b}{e}, \frac{c}{d} \right) \quad (4.13)$$

A negatif B pozitif olduğu durumlarda;

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{a}{d}, \frac{b}{e}, \frac{c}{f} \right) \quad (4.14)$$

- Tersinin Alınması:

$$A^{-1} = \left(\frac{1}{c}, \frac{1}{b}, \frac{1}{a} \right) \quad (4.15)$$

4.1.4.2. Yamuk bulanık sayılarda işlemler

Örneğin, $a < b < c < d$ ve $e < f < g < h$ olmak üzere A (a,b,c,d) ve B (e,f,g,h) bulanık sayıları verildiğinde bunlarla yapılabilecek işlemler şu şekilde gerçekleşir [21]:

- Toplama İşlemi:

$$A + B = (a+e, b+f, c+g, d+h) \quad (4.16)$$

- Çıkarma İşlemi:

$$A - B = (a-h, b-g, c-f, d-e) \quad (4.17)$$

- Çarpma İşlemi:

$$A \times B = (a \times e, b \times f, c \times g, d \times h) \quad (4.18)$$

- Bölme İşlemi:

A ve B'nin her ikisi pozitif olduğunda;

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{a}{h}, \frac{b}{g}, \frac{c}{f}, \frac{d}{e} \right) \quad (4.19)$$

A negatif B pozitif olduğu durumlarda;

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{a}{e}, \frac{b}{f}, \frac{c}{g}, \frac{d}{h} \right) \quad (4.20)$$

4.1.5. Bulanık sayılarda sıralama

Bir bulanık mantık modellemesi çalışması sonucunda kriterler ve de alternatiflerin alacağı değerler de bulanık olacaktır. Bundan dolayı karar verme aşamasında sıralama yapmak gerekmektedir. Bu konu hakkında literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır.

Bunların avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Sezgisel sıralama, α – kesme ve bulanık ortalama ya da sapmalar hesaplanarak aşağıda görülebildiği gibi sıralama yapılabilmektedir [15]:

- Sezgisel Sıralama:

Lee ve Li, insan sezilerinin bulanık sayıları sıralamak için uygun olduğunu belirtmiştir. Bundan dolayı da üçgen bulanık sayılar için üyelik fonksiyonlarından ortalama değer ya da düşük dağılım için sezgisel olarak sıralama yapılabilir.

- α – Kesme Metodu İle Sıralama:

Adamo tarafından bu metotta A ve B gibi iki bulanık sayı için $[0,1]$ kapalı aralığından bir α değeri alınır. Bunun kesmesi ile elde edilen $A = [a,b]$ ve $B = [c,d]$ arasında aşağıdaki gibi karşılaştırma yapılır.

Mesela $b < d$ ise $A \leq B$ olarak tanımlanır.

- Bulanık Ortalamalar ve Sapmalar:

Örneğin $A = (a,b,c)$ üçgensel bulanık sayısı için;

Normal dağılım varsa,

$$x_U(A) = \frac{1}{3} (a + b + c) \quad (4.21)$$

$$\sigma_U(A) = \frac{1}{18} (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - ba) \quad (4.22)$$

Orantılı dağılım varsa,

$$x_p(A) = \frac{1}{4} (a + 2b + c) \quad (4.23)$$

$$\sigma_U(A) = \frac{1}{80} (3a^2 + 4b^2 + 3c^2 - 2ab - 4ac - 4ba) \quad (4.24)$$

Bu çalışmada aşağıda ayrıntılarıyla anlatılacak olan Liou ve Wang tarafından 1992 yılında bulunan toplam bütüncül değer metodu kullanılacaktır.

4.1.5.1. Liou ve Wang'ın sıralama metodu

Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konan toplam bütüncül değer metoduna ait olan algoritma aşağıdaki gibidir [15]:

Örneğin $A = (a,b,c)$ üçgensel bulanık sayısı için iyimserlik indeksi $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere toplam bütüncül değer şu şekilde hesaplanır.

$$I_T^\alpha(A) = \frac{1}{2} \alpha(b + c) + \frac{1}{2} (1 - \alpha)(a + b) \quad (4.25)$$

$$= \frac{1}{2} [\alpha c + b + (1 - \alpha)a]$$

4.25 numaralı denklemde görülmekte olan α iyimserlik indeksi büyüdükçe verilecek kararın olumlu olma ihtimali artmaktadır. Mesela, A ve B bulanık sayılarını ele alırsak, eğer $I_T^\alpha(A) > I_T^\alpha(B)$ ise $A > B$, eğer $I_T^\alpha(A) < I_T^\alpha(B)$ ise $A < B$ ve eğer $I_T^\alpha(A) = I_T^\alpha(B)$ ise $A = B$ 'dir.

Yamuk bulanık sayılar için 4.26 numaralı denklemle yapılmaktadır [15]:

Örneğin $A = (a,b,c,d)$ bulanık sayısı için,

$$I_T^\alpha(A) = \frac{1}{2} [\alpha(d + c) + (1 - \alpha)(a + b)] \quad (4.26)$$

şeklinde yapılmaktadır.

4.1.5.2. Bulanık ortalama değer yöntemiyle sıralama

Bulanık sayının sınırlarından birinin sıfır ya da negatif olduğunda kullanılan bu yöntemin işleyişi şu şekildedir [15]:

$A = [a_{ij}]$, $i = 1,2, \dots, n$ ve $j = 1,2, \dots, m$ bulanık sayısı için,

$$K(A) = \sqrt{\frac{\sum (a_{ij})^2}{n}} \quad (4.27)$$

$A = (a,b,c)$ üçgensel bulanık sayısı için,

$$K(A) = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}} \quad (4.28)$$

Şeklinde hesaplanır ve bulunan $K(A)$ değerleri sıralanır.

4.1.6. Durulaştırma

Bulanık sayılarla modelleme çalışmaları sonucunda karar vericiler sıklıkla kesin değerlere ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulanık sayılar aşağıda verilen çeşitli durulaştırma metotlarıyla kesin değerlere çevrilir [15]:

- En büyük üyelik ilkesi,
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlıklı ortalama yöntemi,

- Ortalama en büyük üyelik yöntemi (aritmetik ortalama),
- Toplamların merkezi yöntemi,
- En büyük alanın merkezi yöntemi,
- En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi olarak sıralanmaktadır.

Bunun dışında Kwong ve Bai tarafından 2003 yılında üçgensel bulanık sayıların 4.29 numaralı denklemle durulaştırılabileceği söylenmiştir. Buna göre [15]:

$A = (a,b,c)$ şeklinde verilmiş bir üçgensel bulanık sayı için kesin değer;

$$M_d = \sqrt{\frac{a+4b+c}{6}} \quad (4.29)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu konuda Cheng ve arkadaşları tarafından 2008 yılında üçgensel bulanık sayılar için 4.30 numaralı denklemi ortaya koymuşlardır. Buna göre de [15]:

Yukarıdaki gibi aynı üçgensel bulanık sayı için;

$$M_d = \frac{(c-a) + (b-a)}{3} + a \quad (4.30)$$

şeklinde hesaplanır.

Bununla birlikte literatürde geometrik ortalama ile de durulaştırma yapılabileceğinin mümkün olduğu görülmüştür [15].

4.2. Çok Kriterli Karar Verme

Ortaya çıkan bir sorun nihai olarak karar verme sürecini de doğurur. Bir karar verici tarafından karar verme durumuna bağlı olarak bir karar kümesi içerisinde en iyi kararı verme durumu ise çok kriterli karar sorunu olarak tanımlanmaktadır. Bu sorun da alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ile çözülmektedir [22].

Bir karar verme sürecinde amaçlar, kriterler ve nitelikler ele alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Alternatiflere ilişkin nitelikler ile kriterler belirlenir. Bir karar vericinin yaşamış olduğu belirsizlik, karmaşıklık ve arada kalma durumu karşısında karar verme sürecinde yardımcı olan dört başlık olarak toplanabilen çeşitli yöntemler şunlardır [22]:

- Değer fayda temelli yöntemler: AHP, TOPSİS, SMARTS,

- Üstünlük yöntemleri: ELECTRE, PROMETHEE,
- Etkileşimli yöntemler: PRIAM, STEM ve
- Diğer yöntemler (basit)

4.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Çok kriterli karar verme yöntemi olan AHP, 1965 yılında L. T. Saaty tarafından A. B. D. Savunma Bakanlığı'na olasılık problemlerinin çözümü için ortaya konmuştur. Birçok uygulama alanına sahip olup 1973 yılında Sudan'da ulaşım projesinde kullanılması neticesinde tam olarak gelişim geçirmiştir. 1974 – 1978 yılları arasında ise teorik olarak olgunlaşmasını tamamlamıştır [15].

İnsanların yaşadıkları müddetçe karşılaşmış oldukları problemler karşısında içgüdüsel olarak verdiği kararların çoğu soyut kavramlar içerir ve bundan dolayı bireyden bireye değişiklik göstermektedir. Bu noktada karar verme sürecinde soyut (sübjektif) ve somut (objektif) ölçütleri birlikte değerlendirebilen AHP yöntemi büyük bir kolaylık sağlayıp çözüme ulaşmada önemli bir yaklaşım sağlamaktadır [15].

Hem nicel hem de nitel tüm etkenleri göz önünde bulundurması, esnek ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle birçok zor problemin çözümünde karar vericilere çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Soyut ve somut tüm kriterleri, ikili karşılaştırma yaparak ölçüp değerlendirmekte ve birbirlerine göre öncelik sırasını belirlemektedir. Tecrübenin ve bilginin bu yöntem içerisinde yeri ayrıca önemlidir [15].

AHP yöntemiyle çözüm için öncelikle karşılaşılan problem tam olarak tanımlanır. Buna ait kriterler varsa alt kriterler saptanır. Ardından alternatifler belirlenir. Bu şekilde bir hiyerarşik çerçeve oluşturulur. Bundan sonra ise kriterlerin ve alt kriterlerin ikili olarak karşılaştırılmasına geçilir. Bu şekilde bütün kriterlerin önem dereceleri belirlenir ve de en iyi sıralama ya da en iyi seçenek saptanır [15].

AHP yöntemiyle karar verme sürecinde izlenmesi gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir [15]:

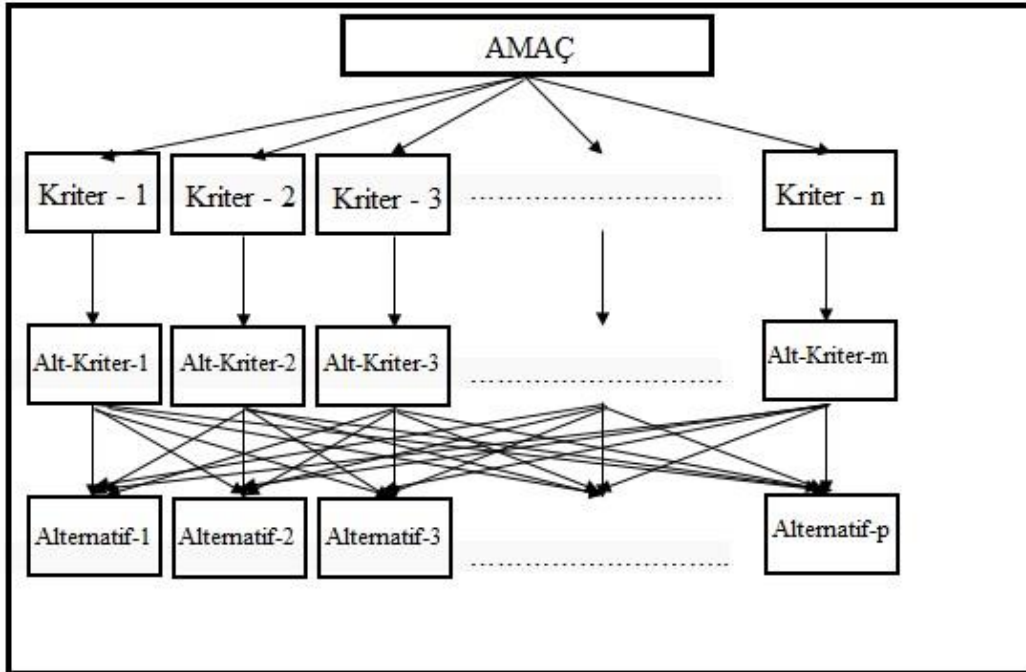
1. Öncelikle problem tam olarak belirlenir ve hiyerarşi de en üstte yer alacak şekilde hedef saptanır.
2. Probleme ilgili bütün kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenir ve bu şekilde hiyerarşik yapı oluşturulur.

3. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.
4. Bu matrislerden faydalanılarak göreceli önem ağırlık vektörleri bulunur.

4.3.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Kriterlerin önem düzeylerine göre gruplandırılması ile ele alınan çok kriterli problemlerin karmaşıklığının üstesinden gelinir. Buna da hiyerarşik düzen denir. Böyle bir sistemde her bir düzeydeki bütün kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilerek ayrı ayrı gruplanır. Ele alınan problemin karmaşıklığına ve önemine bağlı olarak düzey sayısı da yani kriter sayısı da artmaktadır. Şekil 4.4’de görülebilmekte olan bir hiyerarşik yapı oluşturulurken izlenmesi gereken adımlar şunlardır [20]:

1. Ele alınan problem, hiyerarşik yapı tarafından en iyi şekilde yansıtılmalıdır.
2. Karşılaşılan problem ile bütün faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.
3. Çözüme yönelik bilgi kaynakları incelenmelidir.
4. Çözüm için katkı sağlayabilecek kişiler ile temas kurulmalıdır.



Şekil 4.4 : AHP hiyerarşi modeli [15].

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi hiyerarşi modelleri en üstte amaç, soyut ve somut karar vermeyi sağlayacak kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri içerecek şekilde bir yapıya sahip olmalıdır. Bununla birlikte eğer bir alt düzeyde bulunan öğenin üstteki tüm

öğeleri etkilemediği hiyerarşik yapılara da tam olmayan hiyerarşik yapı denir. Tüm öğeleri etkiliyor ise tam hiyerarşik yapıdır [15].

Bir hiyerarşik yapının sağladığı yararlar ise şu şekilde özetlenebilir [20]:

- Alt düzeyde yer alan öğelerde oluşan değişim üst düzeyde bulunan elemanlardaki değişim ile tespit edilebilir.
- Ele alınan problemin çözümü için faydalanılan sistem yaklaşımı ilkesi ile sistemin bütünü ve alt grupları hakkında bilgi elde edilir.
- Karşılaşılan problem için sağlam bir şekilde oluşturulan hiyerarşik yapı ile sistemin değişikliklerden en az seviyede etkilenmesi sağlanmış olur. Bu da elde edilen verimin düşmesini önler. Ayrıca, bu yapıların esnek ve kararlı olmasını sağlar.
- Ele alınan problemlerin hiyerarşik yapı oluşturulmadan bir bütün olarak değerlendirilmesi verimsiz sonuçların elde edilmesini sağlar.

4.3.2. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Örneğin ikili karşılaştırma yapılacak n tane elemanın $\frac{n(n-1)}{2}$ tane kombinasyonu vardır. Ele alınacak kriterlerin önem dereceleri $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ olarak kabul edilirse, $n \times n$ boyutunda bir matriste $ij = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere $A = (a_{ij})$ 'dir. Matrisin elemanları olan a_{ij} , aşağıdaki özelliklere sahiptir [15]:

- Eğer $a_{ij} = m$ ise $a_{ji} = 1/m$ olmalıdır ($m \neq 0$).
- Eğer A_i ve A_j kriterleri eşit öneme sahip ise, $a_{ij} = 1$ ve $a_{ji} = 1$ olmalıdır. Bu durumda a_{ii} ve a_{jj} şeklinde yazılabilir.

Bunun dışında aşağıdaki kare matrisin tüm elemanları pozitif olmak zorundadır ve köşegenleri ise 1'dir. Buna göre A matrisi çizelge 4.3'de görüldüğü gibi olur [20].

Çizelge 4.3 : İkili karşılaştırma matrisi.

Kriterler	1	2		n
1	1 (a_{11})	a_{12}		a_{1n} (a_{1j})
2	$1/a_{12}$	1		a_{2n}
...				...
n	$1/a_{1n}$ (a_{i1})	$1/a_{2n}$		1 (a_{ij})

Çizelge 4.3'de görülmekte olan a_{ij} matrisi ile A_i kriterinin A_j kriterine göre önemi belirtilmektedir.

İkili karşılaştırma matrisi oluştururken nitel kriterler için kullanılan ölçek çizelge 4.4’de görülmektedir. Nicel kriterler için sayısal olarak bir değerlendirilme yapılabilmektedir [20].

Çizelge 4.4 : AHP için ikili karşılaştırma yaparken kullanılan önem ölçeği [15].

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Önem açısından birbirine eşit iki kriter
3	Birinin diğerine göre orta derecede önemli olması	Burada bir kriter diğerine göre biraz daha fazla tercih ediliyor.
5	Birinin diğerine göre ileri derecede önemli olması	Burada bir kriter diğerine göre daha fazla tercih ediliyor.
7	Birinin diğerine göre çok ileri derecede önemli olması	Burada bir kriter diğerine göre çok daha fazla tercih ediliyor.
9	Birinin diğerine göre aşırı derecede önemli olması	Burada bir kriter diğerine göre aşırı derecede fazla tercih ediliyor.
2,4,6,8	Ortalama değerler	Yukarıda yer alan durumlar arasında kalan değerler

5. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (FAHP)

Yaşam, pek çok belirsizlikle doludur ve insanlar bu durumlarda karar vermek zorundadır. Bunun için de çözüm yolları aranmış ve de bulanık mantık bulunmuştur. Karar verirken çoğunlukla somut unsurlarla birlikte soyut unsurlarda etkilidir. Bulanık mantıkta insan düşünce sistemine çok yakın olduğundan dolayı ortaya çıkan belirsizlikleri gidermektedir. Bu mantık sistemini kullanan metotlar ile alınan kararlar daha isabetli olmaktadır [15].

Çok ölçütlü karar verme metotlarından biri olan AHP, özellikle soyut kavramlar için kesin sayılar kullanmasından dolayı tam olarak belirsizliği gidermemektedir. Bundan dolayı da bulanık mantıkla birleştirilerek FAHP elde edilmiştir. Bu proseste güvenilir olan aralıklı değerlendirmeye imkân veren bulanık sayılar kullanılmaktadır. Yani birini bakkala gönderdiğinizde bir ürün için 15 TL'lik olanı al dediğinizde eğer yoksa zor durumda kalmaktadır. Eğer ona bir aralık vererseniz, 13 ile 18 TL arasında olanlardan alabilirsin dediğinizde daha kolay alışveriş yapabilecek ve istediğinizi gerçekleştirecektir. Bu hususta literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Laarhoven ve Pedrycz'nin 1983 yılında ilk olarak geliştirdiği metottan sonra Buckley'de 1985 yılında bir metot geliştirmiştir [15].

Bunlar hakkında aşağıda kısaca bilgi verilecektir fakat bu çalışmada kullanılacak olan Chang'ın 1996 yılında ortaya koyduğu genişletilmiş FAHP yöntemi üzerinde duyulacaktır.

5.1. Laarhoven ve Pedrycz'in 1983 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım

AHP'nin genişletilmiş bir versiyonu olan bu metotta Laarhoven ve Pedrycz, ikili karşılaştırma matrislerini üçgensel bulanık sayılar kullanarak oluşturmuştur. Buna karşın, klasik AHP'de bulanıklık, kesin sayılar kullanılarak ifade edilir. Aynen klasik AHP'de olduğu gibi karşılaştırma adımları da Laarhoven ve Pedrycz'in aynıdır. Bununla beraber Lootsma'nın logaritmik en küçük kareler metodunu kullanarak bulanık ağırlıkları elde etmişlerdir [21].

5.2. Buckley'in 1985 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım

Buckley, yukarıdaki yaklaşımının iki zorluk taşıdığını ileri sürerek 1985 yılında yamuk bulanık sayıları kullandığı yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Buckley'e göre Laarhoven ve Pedrycz'in geliştirdiği yaklaşımda kullanılan lineer denklemler her zaman tek çözümlü olmuyor ve üçgensel bulanık sayılarla yapılan cebirsel işlemlerden sonra her zaman üçgensel bulanık sayı olmuyordu. Bundan dolayı da Laarhoven ve Pedrycz, yaklaşık yöntemler kullanarak bulanık sayının şeklini korumak zorunda kalmışlardır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için Buckley, yamuk bulanık sayılar ile bulanık ağırlıkları hesaplamak için geometrik ortalamayı tercih etmiştir [21].

5.3. Chang'in 1996 Yılında Ortaya Koyduğu Yaklaşım (Bulanık Derece Analizi)

Hesap gereksiniminin az olması ve klasik AHP'nin adımlarını izlemesinden dolayı FAHP'nin uygulandığı pek çok problemde bu yaklaşım tercih edilmektedir. Sadece üçgensel bulanık sayıları kullanıyor olması tek dezavantajıdır. α kesim seviyelerine ihtiyaç duyulmayan bu yaklaşımda yapay derece değerleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın algoritması aşağıda gösterilmektedir [15]:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 'i nesneler kümesi, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 'yi de hedefler kümesi olarak seçersek, bu yaklaşıma göre her bir nesne, her bir hedef için sırasıyla ele alınır ve m tane g_i derece analizi gerçekleştirilir. Bunlar;

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, i = 1, 2, \dots, n \quad (5.1)$$

şeklinde elde edilir. Burada görülmekte olan $j = 1, 2, \dots, m$ olmak üzere tüm $M_{g_i}^j$ 'ler üçgensel bulanık sayılardır. Bu yaklaşımın adımları şunlardır [15]:

Birinci Adım: i. nesneye göre bulanık yapay büyüklük değeri (görelî ağırlık değeri),

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (5.2)$$

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ 'yi elde etmek için, belirli bir matris için m değerleri üzerinde bulanık sayılarda toplama işlemi gerçekleştirilir. Buna göre;

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (5.3)$$

denklemini elde edilir ve $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ ifadesini elde edebilmek için, $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üzerinde bulanık toplama işlemi yapılır.

Ardından,

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j] = (\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{i=1}^n m_j, \sum_{i=1}^n u_j) \quad (5.4)$$

ifadesi elde edilir ve son olarak tersi alındığında,

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_j} \right) \quad (5.5)$$

denklemini elde edilir.

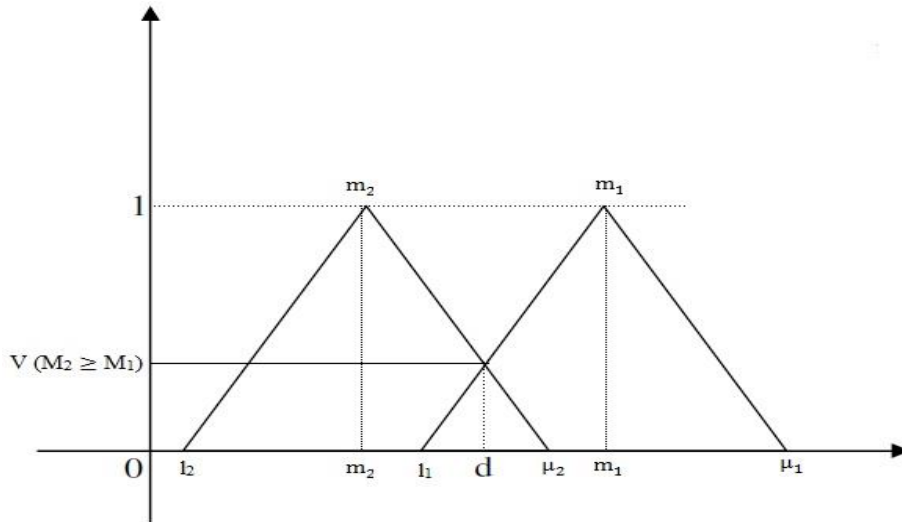
İkinci Adım: Eğer olasılık derecesi (tercih edilme oranı) $M_1 = (l_1, m_1, u_1) < M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde tanımlanırsa,

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min\{\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)\}] \quad (5.6)$$

denklemini elde edilir. Ardından M_1 ve M_2 üçgensel bulanık sayıları aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.7)$$

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi M_1 ve M_2 üçgensel bulanık sayılarının keşişim noktasının ordinatı $V(M_2 \geq M_1)$ ile ifade edilir. Bununla birlikte M_1 ile M_2 ’yi karşılaştırmak için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin her ikisinin de bulunması gerekir.



Şekil 5.1 : M_1 ve M_2 üçgen bulanık sayılarının keşişimi [15].

Üçüncü Adım: k tane konveks (monoton) bulanık sayıdan daha büyük bir konveks bulanık sayı için olasılık derecesi M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) şu şekilde ifade edilebilir.

$$V (M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V [(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)]$$

$$= \min V (M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (5.8)$$

$k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq j$ için, $d' (A_i) = \min V (S_i \geq S_k)$ olarak alınırsa, ağırlık vektörü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$W' = (d' (A_1), d' (A_2), \dots, d' (A_n))^T \quad (5.9)$$

Yukarıdaki denklemde görülmekte olan A_i , n elemandan oluşur.

Dördüncü Adım: 5.9 numaralı denklem normalize edildiğinde artık bulanık olmayan W sayısı elde edilir.

$$W = (d (A_1), d (A_2), \dots, d (A_n))^T \quad (5.10)$$

Yukarıda sayılan yöntemlerin dışında literatürde entropi ağırlığına dayanan yöntemler, Enea ve Piazza yaklaşımı ve bulanık sayıların sıralanması metodu (Liou ve Wang'ın 1992'de bulduğu yaklaşım) da bulunmaktadır. Bu çalışmada Chang'ın 1996 yılında bulduğu yaklaşım olan genişletilmiş bulanık AHP yöntemi kullanılacağından yukarıda detaylı bir şekilde bu yöntem açıklanmıştır.

5.4. Çözüm Yaklaşımı

Bu çalışmada Srdjevic ve Medeiros tarafından 2007 yılında sunulan bulanık karar verici (BKV) yaklaşımı teklif edilecektir. Bu yaklaşım yukarıda üzerinde duyulan klasik AHP'den esinlenmiş olup hiyerarşik olarak tasarlanmış alınması gereken bir karar içeren problemin çözümü ve buna bağlı olarak analizi için temel oluşturan bir takım prensipler ve prosedürler içermektedir. BKV yaklaşımı bulanık çerçeve içerisinde nitel (sübjektif) değerlendirmeleri gerektirmektedir ve bu yaklaşım aşağıdaki önermelere dayanmaktadır [23]:

- Klasik AHP, onun klasik mantığını ve öncelik değerleri üretme metodunu muhafaza ederek bulanıklaştırılmaktadır.
- Saaty'ın değerlendirme ölçütünün bütün aralığı bulanıklaştırılmaktadır. Sadece tek tam sayılar değil, 1 ile 9 kapalı aralığındaki bütün değerler bulanıklaştırılmaktadır. Üçgensel bulanık sayılar kullanılmaktadır.

- Alt kriterlere ayrılan bir kriter belirlendiğinde bütüncül esas yürütülmektedir. Kriter ve alt kriter seviyeleri aynı aynı seviyede toplanmaktadır.
- Chang'in 1996 yılında ortaya koyduğu yaklaşım olan yukarıda anlatılan genişletilmiş AHP yöntemi (Bulanık Derece Analizi), bütün örneklerde uygulanmaktadır.
- Durulaştırma ve alternatiflerin sıralanması için yukarıda anlatılan Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konmuş toplam bütüncül değer metodu kullanılmaktadır.

5.4.1. Karar ölçeğinin bulanıklaştırılması

Bulanık sayılar, karar vericinin nitel değerlendirmelerde bulunurken kullanımı sezgi ile anlaşıldığından dolayı kolaydır. FAHP uygulamasında ikili karşılaştırma matrislerinin yapılmasını kolaylaştırmak için Saaty'ın orijinal 9 nokta ölçeği çizelge 5.1'de son iki sütunda görüldüğü gibi bulanıklaştırılabilir. Üyelik fonksiyonlarının $\tilde{1} \leq \tilde{x} \leq \tilde{9}$ aralığı arasında üçgensel simetrik ve bununla birlikte çift, tek ve sınır değerleri için farklı olacak şekilde ayarlandığı farz edilmektedir. Burada $\tilde{2}, \tilde{4}, \tilde{6}$ ve $\tilde{8}$ gibi çift bulanık sayılar, ara değerler olduğundan dolayı $\delta = 1$ olacak şekilde bulanıklaştırılmaktadır ve $\tilde{1}$ ve $\tilde{9}$ gibi sınır bulanık değerler ise gerçek durumu yansıtabilmek için tanımlanmaktadır. Çizelge 5.1'de ikinci sütunda verilmiş olan karar tanımlarına göre tek tam sayılar için bulanık mesafe $0,5 \leq \delta \leq 2$ aralığında olmalıdır [23].

Çizelge 5.1 : İkili karşılaştırma matrisleri için orijinal ve bulanıklaştırılmış saaty ölçeği [23].

Saaty'ın Kesin Değerleri	Tanım	Bulanıklaştırılmış Değerler
1	Eşit önem	(1, 1, 1 + δ)
3	Birinin diğerine göre orta derecede üstün olması	(3 - δ , 3, 3 + δ)
5	Birinin diğerine göre ileri derecede üstün olması	(5 - δ , 5, 5 + δ)
7	Birinin diğerine göre çok ileri derecede üstün olması	(7 - δ , 7, 7 + δ)
9	Birinin diğerine göre aşırı derecede üstün olması	(9 - δ , 9, 9)
2,4,6,8	Ortalama değerler	(x - 1, x, x + 1), x = 2,4,6,8

Literatürde kullanılan yöntemle göre kullanılan ölçek değişmekle birlikte yaygın olarak kullanılan ortalama değerlerin alınmadığı üçgensel bulanık sayılardan oluşan ölçekte çizelge 5.2'de görülebilmektedir [15].

Çizelge 5.2 : FAHP önem ölçeği [15].

Açıklama	Önem Derecesi	Önem Derecesi Eşleniği
Eşit önemli	(1,1,1)	(1,1,1)
Daha önemli	$(\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2})$	$(\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2})$
Çok daha önemli	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$
Çok fazla önemli	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$
Kesin önemli	$(\frac{7}{2}, 4, \frac{9}{2})$	$(\frac{2}{9}, \frac{1}{4}, \frac{2}{7})$

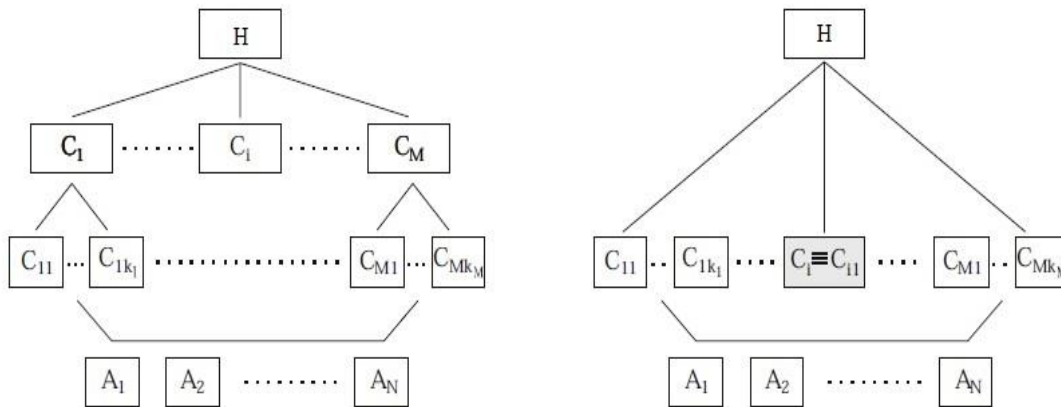
5.4.2. Bütüncül prensip

Toplam M tane kriter, $C_1, C_2, \dots, C_M$ şeklinde verilmiş olsun. Her kriter birkaç alt kritere ayrılabilir. Eğer j'inci kriter ile ilgili toplam k_j adet alt kriter varsa, bu durumda toplam alt kriter sayısı (K) [23],

$$K = \sum_{j=1}^M k_j \quad (5.11)$$

bu şekilde hesaplanabilir.

Eğer kriter, yeterince alt kritere ayrılmazsa, yani $k_j = 1$ ise, kriter de alt kriter olarak sayılmaktadır. Kriter ve alt kriterlerin yerleştirildiği birbirini takip eden hiyerarşik seviyelerde verilen kararların bütüncül sürecinin anlaşılmasında bu husus önemlidir. Bu durumda bütün kriter seviyesinin artık olmadığı farz edilerek kriter, alt kriter seviyesine yerleştirilerek toplanır. Her kriterin en azından kendi ismi ile adlandırılan bir alt kritere sahip olduğu durum ile de eşdeğerdedir. Şekil 5.2'de bu prensip görülmektedir [23].



Şekil 5.2 : Kriter ve alt kriter seviyelerinin toplanması [23].

5.4.3. Kriterlerin değerlendirilmesi

Yukarıdaki şekilde görülmekte olan hedefe göre kriterlerin önemlerinin belirlenmesiyle sıralama prosedürü başlamaktadır. Bulanıklaştırılmış bir ölçek kullanarak aşağıda görüldüğü gibi bulanık karşılıklı karar matrisi belirlenir [23]:

$$A = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1M} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \dots & \tilde{a}_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{M1} & \tilde{a}_{M2} & \dots & \dots & \tilde{a}_{MM} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

5.12 numaralı denklemde $i = j$ ($i, j = 1, 2, \dots, M$) olduğu durumlarda $\tilde{a}_{ij}$, 1'dir. $\tilde{a}_{ij}$ 'nin tersi ise $\frac{1}{\tilde{a}_{ij}}$ 'dir. Yukarıda anlatılan bulanık derece analizi ile kriterlerin ağırlıklarına ait vektör aşağıdaki gibi belirlenir.

$$w_i = \sum_{j=1}^M \tilde{a}_{ij} \otimes \left[\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M \tilde{a}_{kl} \right]^{-1}, i = 1, 2, \dots, M \quad (5.13)$$

5.4.4. Alt kriterlerin değerlendirilmesi

C_j şeklinde bir kriter seçilirse, bunun ayrıştığı k_j kadar alt kriter vardır. Bu seçilmiş kritere göre alt kriterlerin görel ağırlıkları aşağıdaki bulanık karar matrisi ile belirlenebilir [23].

$$A_j = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \dots & \tilde{a}_{1k_j} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \dots & \tilde{a}_{2k_j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{k_j1} & \tilde{a}_{k_j2} & \dots & \dots & \tilde{a}_{k_jk_j} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

Ardından tekrar bulanık derece analiziyle seçilmiş olan kritere göre alt kriterlerin ağırlıkları elde edilir. Nihai alt kriter ağırlıkları ise birbirini izleyen seviyelerdeki ağırlıkların bir araya gelmesiyle elde edilir. Yani 5.13 numaralı denklem ile elde edilen ilgili kriter ağırlıkları ile alt kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi çarpılır [23].

$$w_j^p = \left(\sum_{l=1}^{k_j} \tilde{a}_{il} \otimes \left[\sum_{i=1}^{k_j} \sum_{l=1}^{k_j} \tilde{a}_{il} \right]^{-1} \right) \otimes w_j, j = 1, 2, \dots, M, p = 1, 2, \dots, k_j \quad (5.15)$$

Bu denklem ile elde edilen w_j^p , alt kriterlerin nihai bulanık ağırlıklarıdır. Her birisi, aşağıdaki ağırlık vektörünün girdileridir [23].

$$W = (w_1^1, w_1^2, \dots, w_1^{k_1}, \dots, w_j^1, w_j^2, \dots, w_j^{k_j}, \dots, w_M^1, w_M^2, \dots, w_M^{k_M}) \quad (5.16)$$

Bu denklemi basit bir şekilde sunabilmek için 5.11 numaralı denklemde gösterilen toplam alt kriter sayısı K değişkeninden yararlanılarak ve “w” yerine “ ω ” konup tekrar numaralandırılırsa aşağıdaki denklem elde edilir [23].

$$W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_K) \quad (5.17)$$

5.4.5. Alternatiflerin değerlendirilmesi

Öncelikle elde bulunan alternatifler, K tane alt kriterin her birine göre ikili olarak karşılaştırılır. Aşağıda görüldüğü gibi K tane bulanık karar matrisi elde edildikten sonra bulanık derece analizi ile karar matrisi olan 5.20 numaralı denklem elde edilir [23].

$$W_k = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1N} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{N1} & \tilde{a}_{N2} & \dots & \tilde{a}_{NN} \end{bmatrix}, k = 1, 2, \dots, K \quad (5.18)$$

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^K \tilde{a}_{ik} \otimes \left[\sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^K \tilde{a}_{lm} \right]^{-1}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, K \quad (5.19)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1K} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{NK} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

Karar matrisinde yer alan x_{ij} , her bir alternatifin (A_i) j’inci alt kriter gere göre bulanık sonuç performans değerini göstermektedir ($i = 1, 2, \dots, N$ ve $j = 1, 2, \dots, K$) [23].

5.4.6. Performans matrisi

Deng tarafından 1999 yılında ortaya konulmuş olup her alternatifin bütün alt kriterlere karşı toplam performansı 5.21 numaralı matris ile gösterilmektedir [23].

$$Z = \begin{bmatrix} x_{11} \otimes \omega_1 & x_{12} \otimes \omega_2 & \dots & x_{1K} \otimes \omega_K \\ x_{21} \otimes \omega_1 & x_{22} \otimes \omega_2 & \dots & x_{2K} \otimes \omega_K \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} \otimes \omega_1 & x_{N2} \otimes \omega_2 & \dots & x_{NK} \otimes \omega_K \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

5.17 ve 5.20’nin ilgili kolonunun çarpılması ve bulanık aralık aritmetiğinin uygulanması neticesinde 5.21 elde edilmiştir. Çözüm yaklaşımında anlatıldığı üzere eğer bir kriterin alt kriteri yoksa, onun kendisi alt kriter olarak düşünülecektir ve hedefe göre onun ağırlık değeri muhafaza edilecektir [23].

5.4.7. Son değerlendirmeler ve sentez

Karar vericinin değerlendirmelerini bir araya getirmek için birçok metot teklif edilmiştir. En yaygın olarak kullanılanları ise ortalama, medyan, maksimum, minimum ve karışık operatörlerdir. Bu çalışmada toplam sentez sunulmuştur ve hedefe göre nihai alternatif performans ağırlıkları yukarıda görülmekte olan performans matrisinin satırlarındaki elementlerin toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Böylelikle 5.22 numaralı denklem elde edilir [23].

$$F_i = \sum_{j=1}^K x_{ij} \otimes \omega_j, i = 1, 2, \dots, N \quad (5.22)$$

Bu aşamadan sonra alternatifleri sıralamak için toplanan değerlendirmelerin öncelik puanlarının belirlenmesine ihtiyaç vardır. 5.22 numaralı denklem sonucu elde edilen F_i 'ler birer ğensel bulanık sayı oldukları için ğensel bulanık sayıların sıralanmasını sağlayan bir metodun uygulanması gereklidir. Ağırlık merkezi metodu, α – kesme metodu ve toplam bütüncül değer gibi bu işlemi gerçekleştirmek için pek çok metot bulunmaktadır. Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konan toplam bütüncül değer metodunun görevi verimli bir şekilde gerçekleştirdiği için iyi bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı da bu çalışma içerisinde sunulmuştur [23].

$A = (a_1, a_2, a_3)$ gibi bir ğensel bulanık sayı verilirse, bunun toplam bütüncül değer şu şekilde tanımlanmaktadır [23]:

$$\begin{aligned} I_T^\alpha(A) &= \frac{1}{2} \alpha(a_2 + a_3) + \frac{1}{2} (1 - \alpha)(a_1 + a_2) \\ &= \frac{1}{2} [\alpha a_3 + a_2 + (1 - \alpha)a_1], \alpha \in [0, 1] \end{aligned} \quad (5.23)$$

Bu denklemde görülmekte olan α değişkeni, karar vericinin riske karşı takındığı tutumu ifade eden iyimserlik indeksi olarak sunulmaktadır. Bu indeksin yüksek değerleri, iyimserliğin yüksek olduğunu belirtmektedir. Pratik uygulamalarda karar vericinin iyimser, kötümser ve ılımlı görüşlerini yansıtmak için sırasıyla 1, 0 ve 0,5 değerleri kullanılmaktadır [23].

Mesela A ve B gibi iki bulanık sayı verilirse, eğer $I_T^\alpha(A) < I_T^\alpha(B)$ ise $A < B$; eğer $I_T^\alpha(A) > I_T^\alpha(B)$ ise $A > B$; ve $I_T^\alpha(A) = I_T^\alpha(B)$ ise $A = B$ olduğu söylenmektedir [22].

Karar verici tarafından belirli bir iyimserlik indeksi kabul edildiğinde alternatiflerin nihai sıralaması gerçekleştirilir. Bunun için kabul edilen değer 5.23 numaralı

denklemden yerine konur ve 5.22 numaralı denklem ile elde edilen bulanık sayılar üzerinde değerlendirmeler yapılır. Bunun neticesinde $I_T^\alpha(F_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere elde edilen değerlere göre alternatifler sıralanır [23].

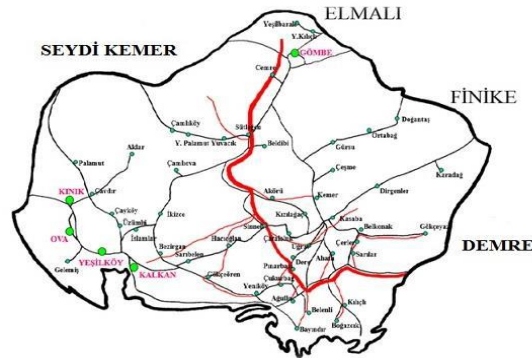
6. UYGULAMA

6.1. Senaryo

Bu çalışmada Antalya'nın Kaş ilçesi için bir su yönetim modeli oluşturulmuştur. Kaş Belediyesi'nin yayınlamış olduğu stratejik planında belirtildiği üzere tek su kaynakları yaz kış akmakta olan Eşen Çayı'dır. İlçede içme suyu kapalı sistem şebeke ile dağıtılmaktadır. Değişen iklim koşullarıyla birlikte bu kaynakta su ihtiyacını karşılamamaktadır. Bundan dolayı da bu ilçemiz için su temin edebileceği alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle yaz döneminde turizm nedeniyle artan su ihtiyacını karşılamak için yetersiz kalan ilçenin var olan kaynaklarını desteklemek için üç seçenek sunulacaktır. Bunlar; su ihtiyacının tamamının başka bir yerden taşınarak sağlanması, yarısının taşıma yarısının da deniz suyunun arıtılmasıyla ve tamamının deniz suyunun arıtılmasıyla sağlanması şeklindedir.

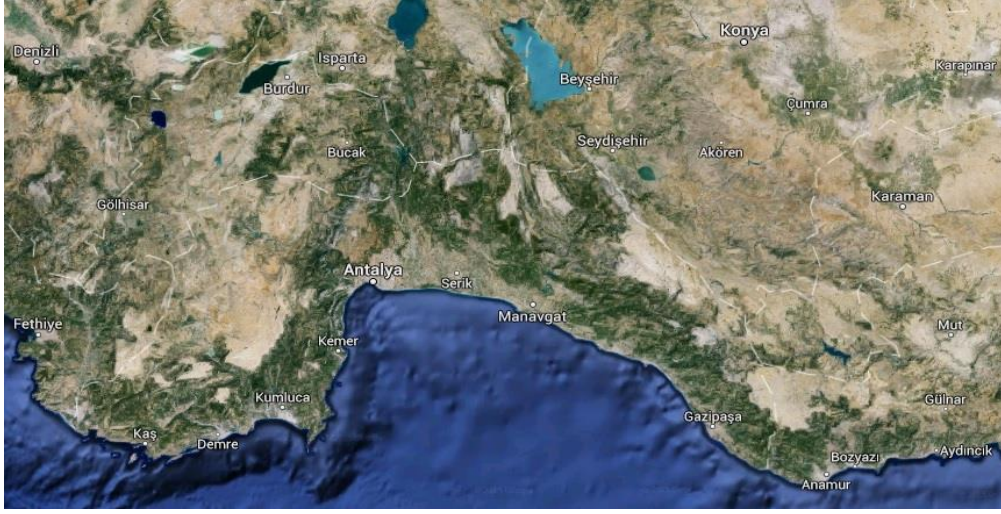
6.1.1. İlçenin coğrafi konumu, iklimi ve nüfusu

Şekil 6.1'de görülmekte olan Kaş ilçesi, il merkezine 189 km. uzaklıkta olup sahil şeridi ise 70 km. civarında uzunluğa sahiptir. Bununla birlikte batısında Eşen Çayı ile Muğla'nın Seydi Kemer ilçesinde ayrılır. Doğusunda Demre ve kuzeyindeyse Elmalı ilçeleriyle komşudur. Sahilden 2100 m. uzaklıkta ise Yunanistan'a ait olan Meis Adası bulunmaktadır [24].



Şekil 6.1 : Coğrafi konumu [24].

Şekil 6.2’de ise ilçenin uydudan konumu görülmektedir.



Şekil 6.2 : Kaş ilçesinin uydudan konumu.

Yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılık ve yağışlı olduğu tipik Akdeniz iklimine sahiptir. Deniz seviyesinde itibaren 700 m. yüksekliğine kadar Akdeniz iklimi, daha yükseklerde karasal iklim etkilidir. Yazın nem oranının Akdeniz kıyı şeridinin en düşük değerlerine sahip olduğu Kaş’ta kışın sıcaklığın 0’ın altına inmediği Türkiye’deki tek merkezdir [24].

2013 yılı TÜİK kurumunun verilerine göre Kaş ilçesinin nüfusu **55.061** olup Antalya il nüfusunun yaklaşık olarak % 2,5’ini (**2.158.265**) oluşturmaktadır [24].

Tuzdan arındırma seçeneğinde kaynak suyu olarak kullanılacak Akdeniz’in kalite parametreleri çizelge 6.1’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.1: Akdeniz’e ait olan kalite parametreleri [25].

Parametre	
pH	8.3
TÇK	37,100 mg/L
Sodyum	11,544 mg/L
Potasyum	388 mg/L
Kalsiyum	1302 mg/L
Magnezyum	415 mg/L
Amonyum	0
Stronsiyum	6,3 mg/L
Baryum	0,01 mg/L
Bikarbonat	146 mg/L
Klorür	20,500 mg/L
Sülfat	2790 mg/L
Florür	<1
Nitrat	<1
Silis	5
Demir & Mangan	<0,1

6.1.2. Sunulan seçenekler hakkında bilgiler

Bu çalışma ile Kaş ilçesi için elde edilecek 25 yıllık su yönetimi planı, üç seçenekten oluşmaktadır. Bulanık analitik hiyerarşi prosesinden faydalanılarak bu seçenekler arasından en uygun olanı tespit edilecektir. Öncelikle bazı kabuller yapıp ardından aşağıda seçenekler sunulacaktır. Antalya'nın Kaş ilçesinin 2042 yılında sahip olacağı nüfus 75.000 olarak kabul edilirse, iller bankasının yaz aylarında kişi başına düşen su ihtiyacı olarak belirlediği miktar (120 – 170 L/gün) 150 L/gün olarak seçildiğinde günlük su ihtiyacı yaklaşık olarak 12.000 m³/gün olacaktır. Buna göre;

Seçenek – 1 (F₁): Antalya'da Oymapınar, Alakır, Korkuteli, Çayboğazı ve Dim olmak üzere toplam 5 adet baraj bulunmaktadır. Bunlardan Korkuteli ve Dim barajları, içme ve kullanma suyu amacıyla da kullanılmaktadır. Bu iki baraja ait olan bilgiler çizelge 6.2'de görülebilmektedir.

Çizelge 6.2 : Korkuteli ve Dim barajı hakkında bilgiler [26].

Baraj İsimleri	Korkuteli	Dim
Barajın Yeri	Korkuteli	Alanya
Akarsuyu	Korkuteli Çayı	Dim Çayı
Amacı	Sulama + Taşkın + İçme ve Kullanma Suyu	Enerji + Sulama + Taşkın + İçme Suyu
İnşaat Yılı (Başlama – Bitiş)	1971 – 1976	1997 – 2009
Gövde Dolgu Tipi	Kaya Dolgu	Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu
Gövde Hacmi	2,019 M m ³	4,8 M m ³
Yükseklik	50,2 m	123,50 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi	40,2 M m ³	239,329 M m ³
Normal Su Kotunda Göl Alanı	2,414 km ²	5 km ²
Sulama Alanı	5986 ha	5312 ha
Güç	-	38,25 MW
Yıllık Üretim	-	122 GWh

İçme ve kullanma suyu temini için yukarıdaki tabloda görülmekte olan Korkuteli barajı tercih edilmiştir. Dim barajının aynı zamanda enerji üretiminde de kullanılması ve konumu açısından bunda karar kılınmıştır. Yaklaşık olarak 100 km uzunluğunda isale hattının kullanılacağı farz edilmektedir. Şekil 6.3'de bu baraja ait bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 6.3 : Korkuteli barajı [26].

Bununla birlikte seçilen barajın uydu görüntüsü de şekil 6.4’de görülebilmektedir.



Şekil 6.4 : Korkuteli Barajı’na ait uydu görüntüsü.

İçilebilecek suyun isale hattı ile taşınmasının maliyeti esas olarak mesafeye, kot farkına, toprak koşullarına, çalışma ücretlerine, elektrik fiyatlarına ve yedek parça ücretlerine bağlıdır. Bundan dolayı da bir noktadan başka bir noktaya su taşınmasının maliyetini karşılaştırmak zordur. Yapılacak proje için öncelikle kavramsal tasarım gerçekleştirildikten sonra en net maliyet tahmini sağlanmaktadır [27].

Bu çalışmada yer alan seçenek (F₁) için aşağıdaki çizelgelerde Mısır'da yapılmış olan bir çalışmanın sonuçlarından yararlanılarak diğer seçeneklerle karşılaştırma ve puanlandırma yapılmıştır. A. Lamei ve arkadaşları tarafından yapılmış olan çalışmada [27], Mısır'ın Güney Sina bölgesine Nil nehri boyunca çeşitli konumlardan isale hatlarıyla su taşınmasının maliyet analizleri çıkartılmıştır. Bununla birlikte arıtma seçeneği olarak Nil nehri suyu için sedimantasyon, filtrasyon ve ardından klorlama seçeneği uygulanmıştır. Korkuteli barajından alınacak suyunda bu şekilde arıtıldıktan sonra dağıtımının uygun olacağı kabul edilmektedir. Buradan hareketle çizelge 6.3'de elde edilen sonuçlar ile bu çalışma arasında bir karşılaştırma gerçekleştirilecektir.

Çizelge 6.3: Güney Sina bölgesine uzun mesafeli su taşıma projelerinin maliyeti [27].

Proje Nr.	Uzunluk (km)	Çap (mm)	Kapasite (m ³ /gün)	Yıl (İnşaatın Bitişi)	Yatırım Maliyeti (milyon \$)
1	100	430	15.000	1998	19,2
2	100	400	15.000	1997	20,5
3	168	350/605	35.000	1986	28,5
4	168	800	65.000	Yapım Aşamasında Üzerinde	73,5
5	360	1000	65.000	düşünülmekte (1999'dan itibaren)	235
6	450	600/1000	28.000	1997	214

Çizelge 6.3 (devamı): Güney Sina bölgesine uzun mesafeli su taşıma projelerinin maliyeti [27].

Proje Nr.	Birim Yatırım Maliyeti (\$/m ³ /gün)	Birim İşletme ve Bakım Maliyeti (\$/m ³)	Birim Üretim Maliyeti (\$/m ³)	Proje Detayları
1	1278	0,11	0,42	2 Tİ ^a
2	1363	0,11	0,44	2 Tİ ^a
3	815	0,18	0,38	AT ^b , 14 DH ^c , 2 Tİ ^a
4	1130	0,18	0,46	DH ^c 'ler ile 2 Tİ ^a
5	7646	0,50	1,38	AT ^b , 12 Tİ ^a , DH ^c 'ler
6	3608	0,49	2,35	Mevcut Değil

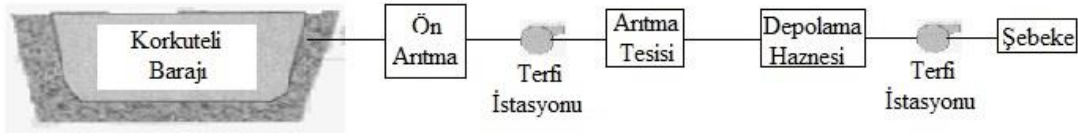
^aTİ: Terfi İstasyonu

^bAT: Arıtma Tesisi

^cDH: Depolama Haznesi

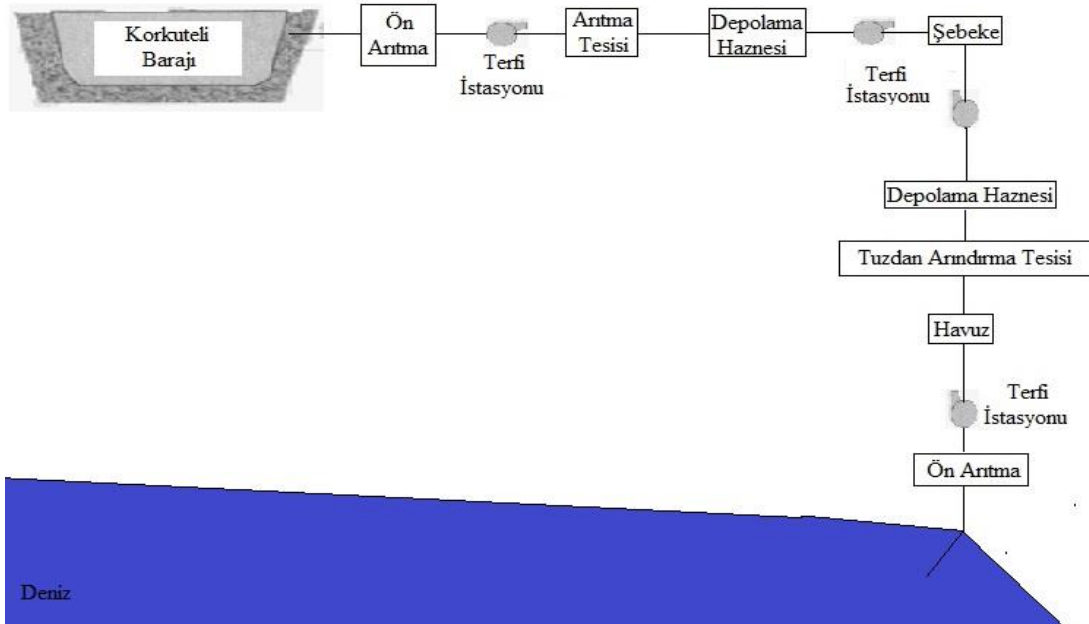
Korkuteli barajından Kaş ilçesine su temini için yukarıdaki tablodaki analiz göz önüne alınarak günümüz şartlarında böylesine bir tesisin aşağı yukarı ne kadara mal olacağı tahmin edilebilmektedir. Yaklaşık olarak 2 numaralı proje ile uyum göstermektedir.

Şekil 6.5’de görülebildiği gibi kapasiteye uygun olarak bu tesisin arıtma tesisi, terfi istasyonları ve depolama haznesine ihtiyacı bulunmaktadır.



Şekil 6.5 : Suyun başka bir kaynaktan taşınma seçeneği.

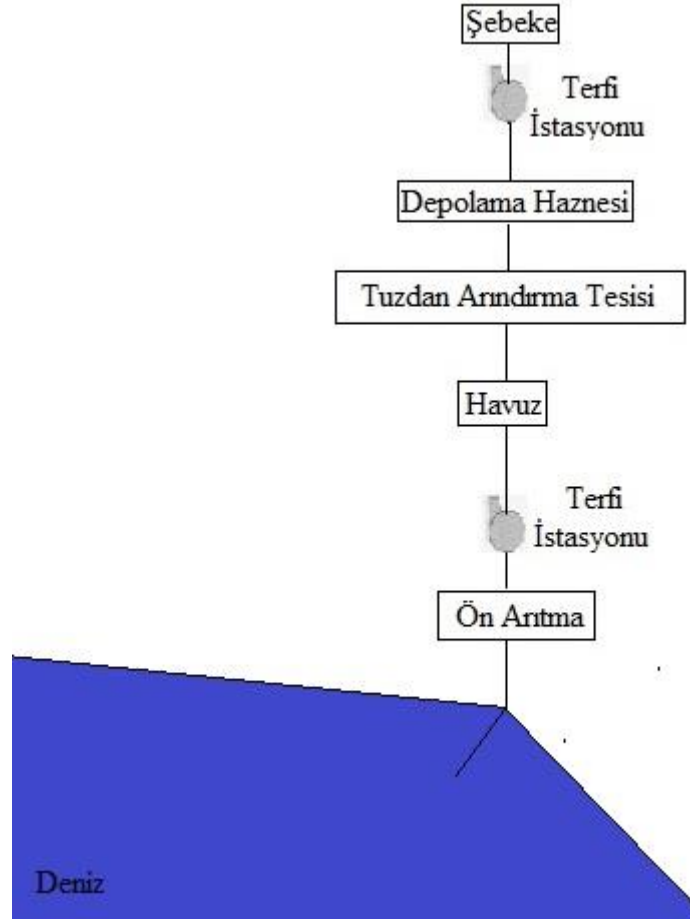
Seçenek – 2 (F₂): Şekil 6.6’da görülebildiği gibi bu seçenekte ise hem tuzdan arındırma hem de uzaktan taşıma yöntemiyle su temini üzerinde durulmaktadır. Kaş ilçesinin su ihtiyacının yarısının tuzdan arındırma kalanının ise Korkuteli barajından taşınmasıyla sağlanması planlanmaktadır. Yılın farklı dönemlerinde ihtiyacın sağlandığı kaynaklardaki oran değiştirilebilir. Yani yaz döneminde tuzdan arındırma ile kış döneminde ise uzaktan taşıma yöntemine ağırlık verilebilir. Bu da kaynakların etkili kullanılmasını sağlar. Ayrıca tuzdan arındırma seçeneği ile elde edilen saf su, şebekeye verilmeden dengeleme ihtiyacı bulunmaktadır. Bunun için de barajdan temin edilen su ya da kaynak suyu kullanılabilir.



Şekil 6.6 : Su ihtiyacının yarısının başka bir kaynaktan taşınarak diğer yarısının ise deniz suyunun arıtılması ile sağlandığı seçenek.

Seçenek – 3 (F₃): Tuzdan arındırma yöntemi olarak orta ve küçük kapasitede daha verimli olan RO yöntemi kullanılacaktır. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi böyle bir tesisin alınan deniz suyunun depolanmasını sağlayacak bir havuz ve de arındırma işleminden

sonra suyun iletileceği bir depolama haznesine ihtiyaçı vardır. Oradan da şebekeye verilecektir. şebekeye verilmeden önce dağıtım için uygun olup olmadığı da kontrol edilip yukarıda anlatıldığı gibi depolama haznesinde müdahale edilecektir. Aynı şekilde ihtiyaç duyulabilecek ön arıtma da şekil 6.7’de görülmekte olan havuz yapısından önce gerçekleştirilecektir.



Şekil 6.7 : Tuzdan arındırma seçeneği.

Kurulum için 2 sene geçtiği kabul edilip 2017 yılında işletmeye başladığını farz ettiğimizde 2042 yılında proje süresini doldurmuş olacaktır. 5 yıllık dönemler halinde ters osmoz seçeneğinin kapasitesi arttırılarak 2042 yılında 12.000 m³/gün’lük kapasiteye ulaşılması planlanmaktadır. Buna göre ilk etapta kapasitesi 9.000 m³/gün olacak şekilde ters osmoz arıtma tesisi seçilen bölgeye kurulacaktır. Bu veriler izelge 6.4’de özetlenmektedir.

Tesisin elektrik enerji ihtiyaını ilçede var olan enerji şebekesinden sağlanacak olup su kalitesi standartları için TSE tarafından yayınlanan TS 266 kodlu insani tüketim amaçlı sular hakkındaki yönetmelik ile EPA ve WHO’nun koyduğu standartlar dikkate

alınacaktır. Bununla birlikte yukarıda bahsedildiği gibi damıtma tesisinin depolama ve rezervuar ünitelerine de ihtiyacı bulunmaktadır. Bunlarda tesisin kapasitesine göre kurulacaktır.

Çizelge 6.4 : Uygulama verileri.

Toplam Tesis Üretimi (m³/gün)	1. Etap: 9.000 5. Etap: 12.000
Proje Süresi (Yıl)	25
2042 Yılı Nüfusu (Kişi)	75.000
Tesisin Yıllık Üretimi (m³)	1. Etap: 3,3 M 5. Etap: 4,4 M

Böyle bir tesisin maliyetinin karşılaştırılması için birinci seçenekte (F₁) bahsedilen çalışmadan [27] yararlanılarak puanlandırma yapılacaktır. Çizelge 6.5'deki maliyetler ile karşılaştırma gerçekleştirilecektir.

Çizelge 6.5: Mısır, Ortadoğu ve Suudi Arabistan'da yer alan ters osmoz desalinasyon tesislerinin maliyetleri [27].

Proje Nr.	Kapasite (m ³ /gün)	Konum	Yatırım (milyon \$)			Birim Yatırım Maliyeti (\$/m ³ /gün)
			RO	Altyapı	Toplam	
1	4.000	Mısır	-	-	7,03	1756
2	4.800	Mısır	4,23	0,78	5,01	1044
3	5.000	Mısır	5,35	1,45	6,80	1360
4	7.000	Libya	-	-	7,92	1131
5	10.000	Tunus	-	-	9,62	962
6	15.000	Suudi Arabistan	-	-	13,56	904
7	20.000	Suudi Arabistan	-	-	16,64	832
8	30.000	Suudi Arabistan	-	-	23,64	788
9	40.000	Kıbrıs	-	-	28,52	713
10	50.000	Kıbrıs	-	-	33,35	667

Çizelge 6.5'de görülebildiği gibi artan kapasite ile birlikte birim üretim maliyetleri ve birim işletme ve bakım maliyetleri düşmektedir. Bununla birlikte Kaş ilçesine düşünülen tesisin maliyeti de yaklaşık olarak 5 ve 6 numaralı projeler arasındadır.

Çizelge 6.5 (devamı): Mısır, Ortadoğu ve Suudi Arabistan’da yer alan ters osmoz desalinasyon tesislerinin maliyetleri [27].

Proje Nr.	Birim İşletme ve Bakım Maliyeti (\$/m ³)	Birim Üretim Maliyeti (\$/m ³)
1	1,23	2,02
2	1,10	1,55
3	0,97	1,54
4	0,70	1,21
5	0,74	1,18
6	0,74	1,15
7	0,66	1,04
8	0,57	0,93
9	0,57	0,89
10	0,56	0,86

Ters osmoz desalinasyon tesislerine ait birim işletme ve bakım maliyetleri çizelge 6.6’da daha detaylı bir şekilde görülebilmektedir.

Çizelge 6.6 : Mısır ve diğer ülkelerdeki ters osmoz tesislerine ait birim işletme ve bakım maliyetlerinin karşılaştırılması [27].

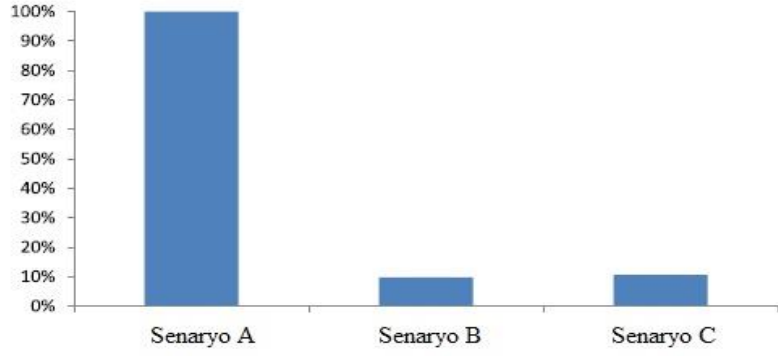
	Yunanistan	Mısır ^a	Asya’da yer alan gelişmekte olan kurak ülkeler ^b
Geri Kazanım Oranı (%)	38	30	-
Tesis Kapasite Aralıkları (m ³ /gün)	500 – 10.000	500 – 5.000	1.200 – 18.000
Spesifik Enerji Tüketimi (kWs/ m ³)	5.00	6.5 – 9.0	8.61
Elektrik Maliyeti (\$/kWs)	0.11	0.06	0.05
Elektrik Toplam Maliyeti (\$/m ³)	0.55	0.39 – 0.54	0.45
Kimyasal Tüketimi (kg/m ³)	0.28	0.43	-
Kimyasal Maliyeti (\$/kg)	0.18	0.52	-
Kimyasal Toplam Maliyeti (\$/m ³)	0.05	0.23	0.04
Membran Değişim Oranı (%)	12	10	20
Membran Değişim Maliyeti (\$/m ³)	0.06	0.21	0.19
İşçilik (\$/m ³)	0.18	0.16 – 0.17	0.04 – 0.08
Bakım & Tamir (\$/m ³)	-	0.08	0.08 – 0.16
Diğer (İşletme Maliyetinin %’si)	10	-	-
Toplam (\$/m ³)	0.94	1.08 – 1.12	0.81 – 0.93
Elektrik Maliyeti (Toplamın %’si)	59	36 – 49	48 – 55

^aEn yüksek kapasitede işçilik maliyeti en ucuzdur.

^bEn yüksek kapasitede işçilik ve bakım maliyeti de en ucuzdur.

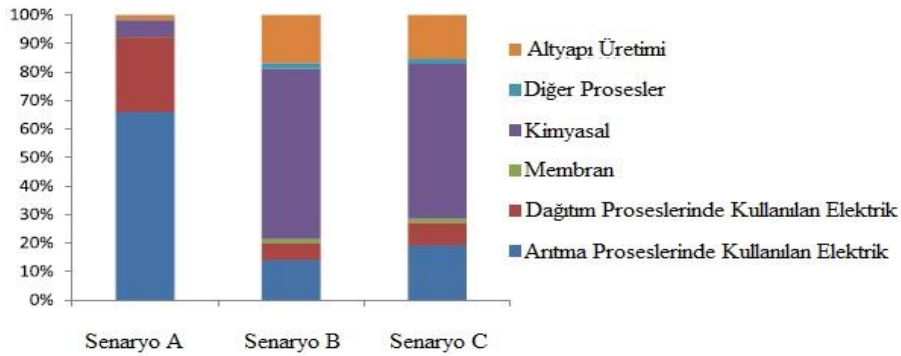
Çizelge 6.6’da görülebileceği gibi toplam işletme ve bakım maliyetinin yaklaşık olarak % 36 – 59’u elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır.

Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, vb.) kullanılması bu maliyeti azaltacak ve sürdürülebilir bir yaşamın önünü açacaktır. Deniz suyu arıtımı için kurulmuş bir ters osmoz tesisinin yaşam döngü değerlendirmesi sonuçları şekil 6.8 ve 6.9’da verilecektir.



Şekil 6.8 : Üç senaryonun birbirine göre kısmi etkisidir. A, B ve C durumları için üretilen suya göre açığa çıkan sera gazı emisyonu (kg CO₂/m³) [28].

Şekil 6.8’de A senaryosunda % 100 şebekeden elektrik çekilmektedir. B’de % 100 rüzgâr enerjisinden istifade edilmektedir. C durumunda ise % 92 rüzgâr enerjisi kalanı da güneş panellerinden sağlanmaktadır. A, B ve C durumları için gözlenen maksimum sera gazı emisyon değerleri sırasıyla 4.61, 0.446 ve 0.491 kg CO₂/m³’dür [28].



Şekil 6.9 : Üç durum için yaşam döngü değerlendirmesi neticesinde sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan alt sistemler [28].

Şekil 6.9’da görülebileceği gibi A senaryosunda elektrik tüketimine en büyük katkı arıtma ve dağıtım proseslerinden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber B ve C senaryolarında ise kimyasal tüketimi, sera gazı emisyonlarına en çok katkısı vermektedir. Önceki çalışmalar sadece elektrik tüketimi ile ilgilenirken bulunan sonuçlar yüksek kimyasal kullanımının da önemli olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle deniz suyu arıtımını sağlayan ters osmoz desalinasyon proseslerinde

kimyasal tüketiminin azaltılması ya da daha çevre dostu kimyasalların kullanılması şeklinde yapılacak iyileştirme neticesinde bu tesislerin çevresel performansları daha da gelişebilir [28].

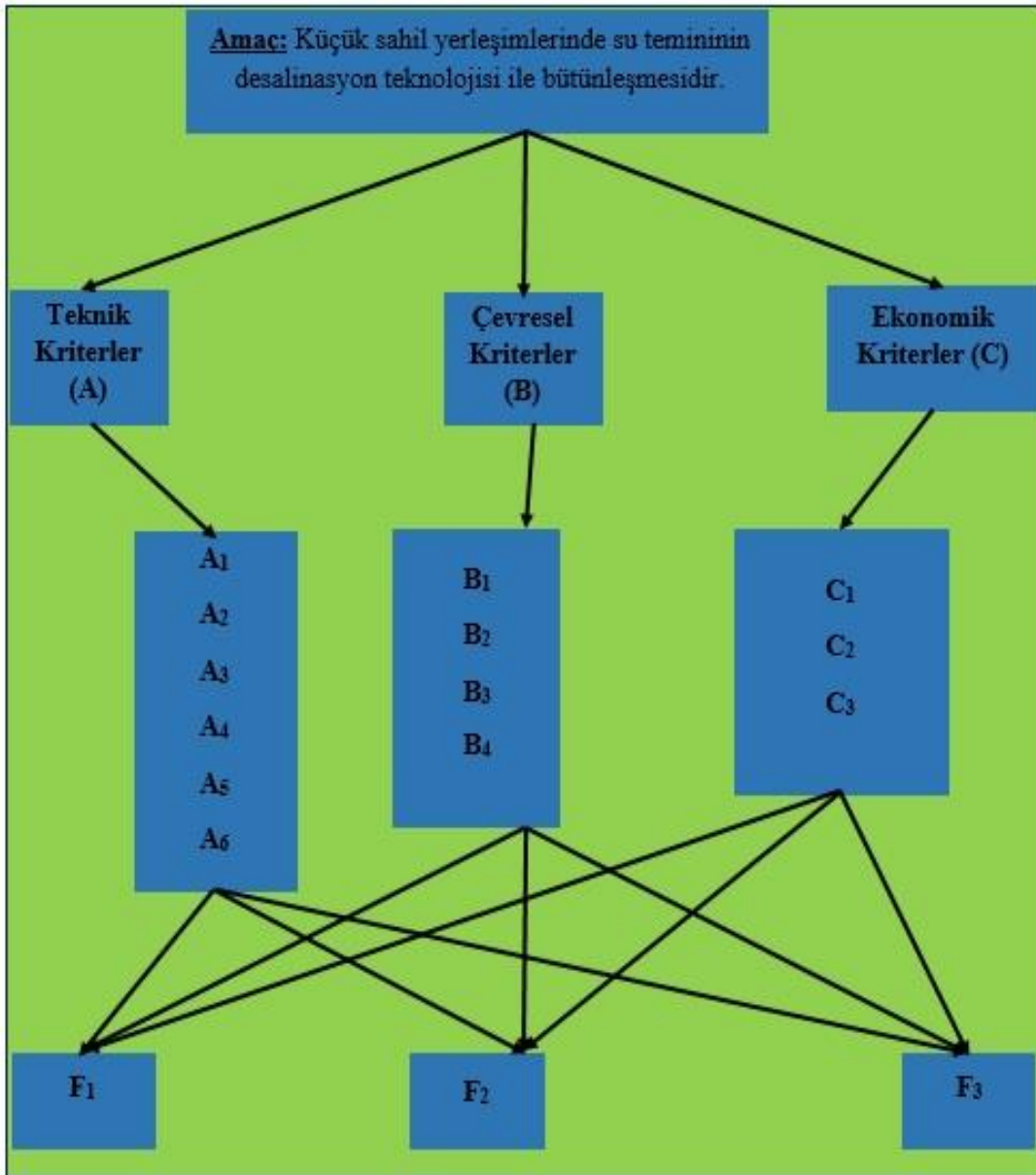
6.2. Hiyerarşik Yapı

Hiyerarşik yapı şekil 6.10’da görüldüğü gibi tanımlanmaktadır:

- **Amaç:** Küçük sahil yerleşimlerinde su temininin desalinasyon teknolojisi ile bütünleşmesidir.
- **Kriter (1. Seviye) ve Alt Kriter (2. Seviye):**
 - A. Teknik Kriterler**
 - A₁: Kapasite
 - A₂: Verimlilik
 - A₃: İşçilik
 - A₄: Altyapı Gereksinimleri
 - A₅: Arazi Durumu
 - A₆: Teknik İlerlemeler için Elverişlilik
 - B. Çevresel Kriterler**
 - B₁: Halkın Tepkisi
 - B₂: Kültürel Değerlerin Korunması
 - B₃: Kirlenme Problemleri
 - B₄: İşletme Şartları
 - C. Ekonomik Kriterler**
 - C₁: Yatırım Maliyeti
 - C₂: İşletme ve Bakım Maliyeti
 - C₃: Üretim Maliyeti

- **Seçenekler (3. Seviye):**

1. **Seçenek – 1 (F₁):** Su ihtiyaının tamamının başka bir yerden taşınarak sağlanmasıdır.
2. **Seçenek – 2 (F₂):** Su ihtiyaının yarısının başka bir yerden taşınarak yarısının ise deniz suyunun arıtılması ile karşılanmasıdır.
3. **Seçenek – 3 (F₃):** Su ihtiyaının tamamının deniz suyunun arıtılması ile sağlanmasıdır.



şekil 6.10 : Hiyerarşik yapı.

6.3. Değerlendirme, Sentez ve Sıralama

Kriter, alt kriter ve seçeneklere çizelge 5.1’den yararlanılarak üçgensel bulanık sayılar ile çeşitli uzmanların görüşlerinden yararlanılarak puan verildikten sonra Chang tarafından 1996 yılında ortaya konan yaklaşım ile görelî ağırlık değerleri çizelge 6.7 ve çizelge 6.60 arasında görüldüğü gibi Microsoft Excel programı kullanılarak bulunacaktır.

Çizelge 6.7: Ana kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	A	B	C
A	$\tilde{1}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
B	$\tilde{9}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$
C	$\tilde{7}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.8 : Ana kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	A	B	C
A	(1,1,2)	(0,11,0,11,0,13)	(0,13,0,14,0,17)
B	(8,9,9)	(1,1,2)	(8,9,9)
C	(6,7,8)	(0,11,0,11,0,13)	(1,1,2)

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_A = (1,24, 1,25, 2,29) \otimes (1/32.42, 1/28.37, 1/25.35) = (0.038, 0.044, 0.090)$$

$$S_B = (17, 19, 20) \otimes (1/32.42, 1/28.37, 1/25.35) = (0.524, 0.670, 0.789)$$

$$S_C = (7.11, 8.11, 10.13) \otimes (1/32.42, 1/28.37, 1/25.35) = (0.219, 0.286, 0.399)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.9’da görülebilmektedir.

Çizelge 6.9 : Ana kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

x (A)	0,038	0,044	0,090
y (B)	0,524	0,670	0,789
z (C)	0,219	0,286	0,399

Ana kriterler değerlendirildikten sonra çizelge 6.10 ve çizelge 6.18 arasında alt kriterlerin de kendi içlerinde birbirlerine göre uzmanlar tarafından üçgensel bulanık sayılar kullanılarak puanlandırılması gerçekleştirildikten sonra Chang’ın 1996 yılında bulduğu yaklaşım olan bulanık derece analizi ile görelî ağırlık değerleri hesaplanır.

Çizelge 6.10 : Teknik kriterler ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
A ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
A ₂	$\tilde{9}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$
A ₃	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
A ₄	$\tilde{3}$	$\tilde{2}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{4}^{-1}$	$\tilde{5}$
A ₅	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	$\tilde{5}$	$\tilde{4}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$
A ₆	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.11 : Teknik kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	A ₁				A ₂			A ₃	
A ₁	1	1	2	0,11	0,11	0,13	0,33	0,5	1
A ₂	8	9	9	1	1	2	1	1	2
A ₃	1	2	3	1	1	2	1	1	2
A ₄	2	3	4	1	2	3	2	3	4
A ₅	4	5	6	2	3	4	4	5	6
A ₆	6	7	8	4	5	6	6	7	8

Çizelge 6.11 (devamı) : Teknik kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	A ₄				A ₅			A ₆	
A ₁	0,25	0,33	0,5	0,17	0,2	0,25	0,125	0,14	0,17
A ₂	0,33	0,5	1	0,25	0,33	0,5	0,17	0,2	0,25
A ₃	0,25	0,33	0,5	0,17	0,2	0,25	0,13	0,14	0,17
A ₄	1	1	2	0,2	0,25	0,33	4	5	6
A ₅	3	4	5	1	1	2	6	7	8
A ₆	0,17	0,2	0,25	0,13	0,14	0,17	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{A_1} = (1.99, 2.29, 4.04) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.020, 0.029, 0.063)$$

$$S_{A_2} = (10.75, 12.03, 14.75) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.106, 0.153, 0.231)$$

$$S_{A_3} = (3.54, 4.68, 7.92) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.035, 0.060, 0.124)$$

$$S_{A_4} = (10.2, 14.25, 19.33) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.101, 0.181, 0.303)$$

$$S_{A_5} = (20, 25, 31) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.197, 0.318, 0.486)$$

$$S_{A_6} = (17.29, 20.34, 24.42) \otimes (1/101.46, 1/78.59, 1/63.77) = (0.170, 0.259, 0.383)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.12’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.12 : Teknik kriterlere ait alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri (W_A).

A₁	0,020	0,029	0,063
A₂	0,106	0,153	0,231
A₃	0,035	0,060	0,124
A₄	0,101	0,181	0,303
A₅	0,197	0,318	0,486
A₆	0,170	0,259	0,383

Çizelge 6.13 : Çevresel kriterler ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$
B ₂	$\tilde{9}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$
B ₃	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
B ₄	$\tilde{5}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.14 : Çevresel kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	B₁				B₂			B₃			B₄	
B₁	1	1	2	0,11	0,11	0,13	0,13	0,14	0,17	0,17	0,2	0,25
B₂	8	9	9	1	1	2	1	1	2	6	7	8
B₃	6	7	8	1	1	2	1	1	2	1	1	2
B₄	4	5	6	0,13	0,14	0,17	1	1	2	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{B_1} = (1.40, 1.45, 2.54) \otimes (1/47.71, 1/36.60, 1/32.53) = (0.029, 0.040, 0.078)$$

$$S_{B_2} = (16, 18, 21) \otimes (1/47.71, 1/36.60, 1/32.53) = (0.335, 0.492, 0.646)$$

$$S_{B_3} = (9, 10, 14) \otimes (1/47.71, 1/36.60, 1/32.53) = (0.189, 0.273, 0.430)$$

$$S_{B_4} = (6.13, 7.14, 10.17) \otimes (1/47.71, 1/36.60, 1/32.53) = (0.128, 0.195, 0.313)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.15’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.15 : Çevresel kriterler ile ilgili alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri (W_B).

B₁	0,029	0,040	0,078
B₂	0,335	0,492	0,646
B₃	0,189	0,273	0,430
B₄	0,128	0,195	0,313

Çizelge 6.16 : Ekonomi ile ilgili alt kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
C ₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{6}^{-1}$
C ₃	$\tilde{7}$	$\tilde{6}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.17 : Ekonomi ile ilgili alt kriterler için kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	C ₁			C ₂			C ₃		
C ₁	1	1	2	0,17	0,2	0,25	0,13	0,14	0,17
C ₂	4	5	6	1	1	2	0,14	0,17	0,2
C ₃	6	7	8	5	6	7	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{C_1} = (1.29, 1.34, 2.42) \otimes (1/27.62, 1/21.51, 1/18.43) = (0.047, 0.062, 0.131)$$

$$S_{C_2} = (5.14, 6.17, 8.2) \otimes (1/27.62, 1/21.51, 1/18.43) = (0.186, 0.287, 0.445)$$

$$S_{C_3} = (12, 14, 17) \otimes (1/27.62, 1/21.51, 1/18.43) = (0.435, 0.651, 0.922)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.18’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.18 : Ekonomi ile ilgili alt kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri (W_C).

C ₁	0,047	0,062	0,131
C ₂	0,186	0,287	0,445
C ₃	0,435	0,651	0,922

Ana kriterler ve onlara ait olan alt kriterlerin ağırlık vektörleri (görelî ağırlık değerleri) hesaplandıktan sonra senaryoda anlatıldığı gibi Antalya’nın Kaş ilçesine düşünülen su yönetimi modeli için belirlenen seçeneklerin alt kriterlerin her birisine göre çizelge 6.19 ve 6.57 arasında ikili olarak karşılaştırılması gerçekleştirilecektir.

Öncelikle çizelge 5.1’den yararlanılarak üçgensel bulanık sayılar ile puan verilip ardından Chang tarafında bulunan bulanık derece analizi kullanılacaktır.

Çizelge 6.19 : Kapasitelerine göre seçeneklerin ikili karşılaştırılması.

A ₁	F ₁	F ₂	F ₃
F ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$
F ₂	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{8}^{-1}$
F ₃	$\tilde{9}$	$\tilde{8}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.20 : Kapasitelerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F ₁				F ₂			F ₃	
F ₁	1	1	2	0,13	0,14	0,17	0,11	0,11	0,13
F ₂	6	7	8	1	1	2	0,11	0,13	0,14
F ₃	8	9	9	7	8	9	1	1	2

Görelilik değeri,

$$S_{F_1} = (1.24, 1.25, 2.29) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.038, 0.046, 0.094)$$

$$S_{F_2} = (7.11, 8.13, 10.14) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.219, 0.297, 0.417)$$

$$S_{F_3} = (16, 18, 20) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.493, 0.657, 0.821)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.21’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.21 : Kapasitelerine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelilik değeri.

F ₁	0,038	0,046	0,094
F ₂	0,219	0,297	0,417
F ₃	0,493	0,657	0,821

Çizelge 6.22 : Verimliliğe göre seçeneklerin karşılaştırılması.

A ₂	F ₁	F ₂	F ₃
F ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$
F ₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$
F ₃	$\tilde{7}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.23 : Verimliliğe göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F ₁				F ₂			F ₃	
F ₁	1	1	2	0,17	0,20	0,25	0,13	0,14	0,17
F ₂	4	5	6	1	1	2	0,25	0,33	0,50
F ₃	6	7	8	2	3	4	1	1	2

Görelilik değeri,

$$S_{F_1} = (1.29, 1.34, 2.42) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.052, 0.072, 0.155)$$

$$S_{F_2} = (5.25, 6.33, 8.50) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.211, 0.339, 0.547)$$

$$S_{F_3} = (9, 11, 14) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.361, 0.589, 0.901)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.24’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.24 : Verimliliğe göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,052	0,072	0,155
F₂	0,211	0,339	0,547
F₃	0,361	0,589	0,901

Çizelge 6.25 : İşçiliğe göre seçeneklerin karşılaştırılması.

A₃	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{8}^{-1}$
F₂	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$
F₃	$\tilde{8}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.26 : İşçiliğe göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁			F₂			F₃		
F₁	1	1	2	4	5	6	0,11	0,13	0,14
F₂	0,17	0,20	0,25	1	1	2	0,13	0,14	0,17
F₃	7	8	9	6	7	8	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{F_1} = (5.11, 6.13, 8.14) \otimes (1/29.56, 1/23.47, 1/20.40) = (0.173, 0.261, 0.399)$$

$$S_{F_2} = (1.29, 1.34, 2.42) \otimes (1/29.56, 1/23.47, 1/20.40) = (0.044, 0.057, 0.118)$$

$$S_{F_3} = (14, 16, 19) \otimes (1/29.56, 1/23.47, 1/20.40) = (0.474, 0.682, 0.931)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.27’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.27 : İşçiliğe göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,173	0,261	0,399
F₂	0,044	0,057	0,118
F₃	0,474	0,682	0,931

Çizelge 6.28 : Altyapı gereksinimlerine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

A₄	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{3}$
F₂	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$
F₃	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.29 : Altyapı gereksinimlerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁			F₂			F₃		
F₁	1	1	2	0,13	0,14	0,17	2	3	4
F₂	6	7	8	1	1	2	8	9	9
F₃	0,25	0,33	0,50	0,11	0,11	0,13	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (3.13, 4.14, 6.17) \otimes (1/27.79, 1/22.59, 1/19.49) = (0.112, 0.183, 0.316)$$

$$S_{F_2} = (15, 17, 19) \otimes (1/27.79, 1/22.59, 1/19.49) = (0.540, 0.753, 0.975)$$

$$S_{F_3} = (1.36, 1.44, 2.63) \otimes (1/27.79, 1/22.59, 1/19.49) = (0.049, 0.064, 0.135)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri çizelge 6.30’da görülebilmektedir.

Çizelge 6.30 : Altyapı gereksinimlerine göre seçeneklerin değeriendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değeri.

F₁	0,112	0,183	0,316
F₂	0,540	0,753	0,975
F₃	0,049	0,064	0,135

Çizelge 6.31 : Arazi durumuna göre seçeneklerin karşılaştırılması.

A₅	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{8}^{-1}$	$\tilde{7}$
F₂	$\tilde{8}$	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$
F₃	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.32 : Arazi durumuna göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁			F₂			F₃		
F₁	1	1	2	0,11	0,13	0,14	6	7	8
F₂	7	8	9	1	1	2	8	9	9
F₃	0,13	0,14	0,17	0,11	0,11	0,13	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (7.11, 8.13, 10.14) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.219, 0.297, 0.417)$$

$$S_{F_2} = (16, 18, 20) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.493, 0.657, 0.821)$$

$$S_{F_3} = (1.24, 1.25, 2.29) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.038, 0.046, 0.094)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri çizelge 6.33’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.33 : Arazi durumuna göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,219	0,297	0,417
F₂	0,493	0,657	0,821
F₃	0,038	0,046	0,094

Çizelge 6.34 : Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre seçeneklerin karşılaştırılması.

A₆	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{6}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$
F₂	$\tilde{6}$	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$
F₃	$\tilde{9}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.35 : Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁				F₂			F₃	
F₁	1	1	2	0,14	0,17	0,20	0,11	0,11	0,13
F₂	5	6	7	1	1	2	0,13	0,14	0,17
F₃	8	9	9	6	7	8	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{F_1} = (1.25, 1.28, 2.33) \otimes (1/30.49, 1/25.42, 1/22.38) = (0.041, 0.050, 0.104)$$

$$S_{F_2} = (6.13, 7.14, 9.17) \otimes (1/30.49, 1/25.42, 1/22.38) = (0.201, 0.281, 0.410)$$

$$S_{F_3} = (15, 17, 19) \otimes (1/30.49, 1/25.42, 1/22.38) = (0.492, 0.669, 0.849)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.36’da görülebilmektedir.

Çizelge 6.36 : Teknik ilerlemeler için elverişlilik durumuna göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,041	0,050	0,104
F₂	0,201	0,281	0,410
F₃	0,492	0,669	0,849

Çizelge 6.37 : Halkın tepkisine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

B₁	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$
F₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$
F₃	$\tilde{9}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.38 : Halkın tepkisine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁				F₂			F₃	
F₁	1	1	2	0,25	0,33	0,50	0,11	0,11	0,13
F₂	2	3	4	1	1	2	0,17	0,20	0,25
F₃	8	9	9	4	5	6	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (1.36, 1.44, 2.63) \otimes (1/25.88, 1/20.64, 1/17.53) = (0.053, 0.070, 0.150)$$

$$S_{F_2} = (3.17, 4.20, 6.25) \otimes (1/25.88, 1/20.64, 1/17.53) = (0.122, 0.203, 0.357)$$

$$S_{F_3} = (13, 15, 17) \otimes (1/25.88, 1/20.64, 1/17.53) = (0.502, 0.727, 0.970)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri Çizelge 6.39’da görülebilmektedir.

Çizelge 6.39 : Halkın tepkisine göre seçeneklerin değeriendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değeri.

F₁	0,053	0,070	0,150
F₂	0,122	0,203	0,357
F₃	0,502	0,727	0,970

Çizelge 6.40 : Kültürel değeriin korunmasına göre seçeneklerin karşılaştırılması.

B₂	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{6}^{-1}$
F₂	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$
F₃	$\tilde{6}$	5	$\tilde{1}$

Çizelge 6.41 : Kültürel değeriin korunmasına göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁				F₂			F₃	
F₁	1	1	2	0,25	0,33	0,50	0,14	0,17	0,20
F₂	2	3	4	1	1	2	0,17	0,20	0,25
F₃	5	6	7	4	5	6	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (1.39, 1.50, 2.70) \otimes (1/23.95, 1/17.70, 1/14.56) = (0.058, 0.085, 0.185)$$

$$S_{F_2} = (3.17, 4.20, 6.25) \otimes (1/23.95, 1/17.70, 1/14.56) = (0.132, 0.237, 0.429)$$

$$S_{F_3} = (10, 12, 15) \otimes (1/23.95, 1/17.70, 1/14.56) = (0.418, 0.678, 1.030)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri Çizelge 6.42’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.42 : Kültürel değerlerin korunmasına göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,058	0,085	0,185
F₂	0,132	0,237	0,429
F₃	0,418	0,678	1,030

Çizelge 6.43 : Kirlenme problemlerine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

B₃	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{1}$
F₂	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$	$\tilde{6}$
F₃	$\tilde{1}$	$\tilde{6}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.44 : Kirlenme problemlerine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁			F₂			F₃		
F₁	1	1	2	0,17	0,20	0,25	1	1	2
F₂	4	5	6	1	1	2	5	6	7
F₃	1	1	2	0,14	0,17	0,20	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{F_1} = (2.17, 2.20, 4.25) \otimes (1/23.45, 1/16.37, 1/14.31) = (0.092, 0.134, 0.297)$$

$$S_{F_2} = (10, 12, 15) \otimes (1/23.45, 1/16.37, 1/14.31) = (0.426, 0.733, 1.048)$$

$$S_{F_3} = (2.14, 2.17, 4.20) \otimes (1/23.45, 1/16.37, 1/14.31) = (0.091, 0.132, 0.294)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.45’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.45 : Kirlenme problemlerine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,092	0,134	0,297
F₂	0,426	0,733	1,048
F₃	0,091	0,132	0,294

Çizelge 6.46 : İşletme şartlarına göre seçeneklerin karşılaştırılması.

B₄	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{9}^{-1}$
F₂	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{8}^{-1}$
F₃	$\tilde{9}$	$\tilde{8}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.47 : İşletme şartlarına göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F ₁				F ₂			F ₃	
F ₁	1	1	2	0,13	0,14	0,17	0,11	0,11	0,13
F ₂	6	7	8	1	1	2	0,11	0,13	0,14
F ₃	8	9	9	7	8	9	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (1.24, 1.25, 2.29) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.038, 0.046, 0.094)$$

$$S_{F_2} = (7.11, 8.13, 10.14) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.219, 0.297, 0.417)$$

$$S_{F_3} = (16, 18, 20) \otimes (1/32.43, 1/27.38, 1/24.35) = (0.493, 0.657, 0.821)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri Çizelge 6.48’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.48 : İşletme şartlarına göre seçeneklerin değeriendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değeri.

F ₁	0,038	0,046	0,094
F ₂	0,219	0,297	0,417
F ₃	0,493	0,657	0,821

Çizelge 6.49 : Yatırım maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

C ₁	F ₁	F ₂	F ₃
F ₁	$\tilde{1}$	$\tilde{6}^{-1}$	$\tilde{8}^{-1}$
F ₂	$\tilde{6}$	$\tilde{1}$	$\tilde{4}^{-1}$
F ₃	$\tilde{8}$	$\tilde{4}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.50 : Yatırım maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F ₁				F ₂			F ₃	
F ₁	1	1	2	0,14	0,17	0,20	0,11	0,13	0,14
F ₂	5	6	7	1	1	2	0,2	0,25	0,33
F ₃	7	8	9	3	4	5	1	1	2

Görelî ağırlık değeri,

$$S_{F_1} = (1.25, 1.29, 2.34) \otimes (1/27.68, 1/21.54, 1/18.45) = (0.045, 0.060, 0.127)$$

$$S_{F_2} = (6.20, 7.25, 9.33) \otimes (1/27.68, 1/21.54, 1/18.45) = (0.224, 0.337, 0.506)$$

$$S_{F_3} = (11, 13, 16) \otimes (1/27.68, 1/21.54, 1/18.45) = (0.397, 0.603, 0.867)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değeri Çizelge 6.51’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.51 : Yatırım maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,045	0,060	0,127
F₂	0,224	0,337	0,506
F₃	0,397	0,603	0,867

Çizelge 6.52 : İşletme ve bakım maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

C₂	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$
F₂	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
F₃	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.53 : İşletme ve bakım maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F₁			F₂			F₃		
F₁	1	1	2	4	5	6	6	7	8
F₂	0,17	0,2	0,25	1	1	2	2	3	4
F₃	0,13	0,14	0,17	0,25	0,33	0,50	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{F_1} = (11, 13, 16) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.441, 0.696, 1.029)$$

$$S_{F_2} = (3.17, 4.20, 6.25) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.127, 0.225, 0.402)$$

$$S_{F_3} = (1.38, 1.48, 2.67) \otimes (1/24.92, 1/18.68, 1/15.54) = (0.055, 0.079, 0.172)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.54’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.54 : İşletme ve bakım maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F₁	0,441	0,696	1,029
F₂	0,127	0,225	0,402
F₃	0,055	0,079	0,172

Çizelge 6.55 : Üretim maliyetine göre seçeneklerin karşılaştırılması.

C₃	F₁	F₂	F₃
F₁	$\tilde{1}$	$\tilde{4}$	$\tilde{6}$
F₂	$\tilde{4}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$
F₃	$\tilde{6}^{-1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{1}$

Çizelge 6.56 : Üretim maliyetine göre kullanılan üçgensel bulanık sayılar.

	F ₁			F ₂			F ₃		
F ₁	1	1	2	3	4	5	5	6	7
F ₂	0,2	0,25	0,33	1	1	2	0,17	0,2	0,25
F ₃	0,14	0,17	0,2	4	5	6	1	1	2

Görelî ağırlık değerleri,

$$S_{F_1} = (9, 11, 14) \otimes (1/24.78, 1/18.62, 1/15.51) = (0.363, 0.591, 0.903)$$

$$S_{F_2} = (1.37, 1.45, 2.58) \otimes (1/24.78, 1/18.62, 1/15.51) = (0.055, 0.078, 0.167)$$

$$S_{F_3} = (5.14, 6.17, 8.20) \otimes (1/24.78, 1/18.62, 1/15.51) = (0.208, 0.331, 0.529)$$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen değerler çizelge 6.57’de görülebilmektedir.

Çizelge 6.57 : Üretim maliyetine göre seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde bulunan görelî ağırlık değerleri.

F ₁	0,363	0,591	0,903
F ₂	0,055	0,078	0,167
F ₃	0,208	0,331	0,529

Kriter, alt kriter ve seçeneklerin görelî ağırlık değerleri bulunduktan sonra ilk olarak alt kriter ağırlıkları ilgili kriter ağırlığı ile çarpılarak çözüm yaklaşımında anlatıldığı gibi 5.17 numaralı denklemde görülmekte olan ağırlık vektörü elde edilmektedir.

A, B ve C kriterleri için yani teknik, çevresel ve ekonomik faktörler için bulunan ağırlık değerleri ile onlara ait alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde çizelge 6.58, 6.59 ve çizelge 6.60’da görülebilmekte olan nihai ağırlıkları elde edilir. Ondan sonra W ağırlık vektörü yazıldıktan sonra performans matrisi elde edilmektedir.

Çizelge 6.58 : A kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar.

Nihai Ağırlıklar	x * W _A		
ω _{A₁}	0,0007	0,0013	0,0057
ω _{A₂}	0,0040	0,0068	0,0209
ω _{A₃}	0,0013	0,0026	0,0112
ω _{A₄}	0,0038	0,0080	0,0274
ω _{A₅}	0,0075	0,0141	0,0440
ω _{A₆}	0,0065	0,0114	0,0346

Çizelge 6.59 : B kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar.

Nihai Ağırlıklar		y * W _B	
ω_{B_1}	0,0154	0,0266	0,0617
ω_{B_2}	0,1759	0,3295	0,5094
ω_{B_3}	0,0989	0,1830	0,3396
ω_{B_4}	0,0673	0,1307	0,2466

Çizelge 6.60 : C kriterinin ağırlık değerleri ile ona ait olan alt kriterlerin ağırlık değerlerinin çarpılması neticesinde elde edilen nihai ağırlıklar.

Nihai Ağırlıklar		z * W _C	
ω_{C_1}	0,0103	0,0179	0,0524
ω_{C_2}	0,0409	0,0820	0,1777
ω_{C_3}	0,0953	0,1861	0,3684

Çizelge 6.58, 6.59 ve 6.60'daki bütün alt kriterlerin nihai ağırlıkları ile toplam ağırlık vektörü (W) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W = (\omega_{A_1}, \omega_{A_2}, \omega_{A_3}, \omega_{A_4}, \omega_{A_5}, \omega_{A_6}, \omega_{B_1}, \omega_{B_2}, \omega_{B_3}, \omega_{B_4}, \omega_{C_1}, \omega_{C_2}, \omega_{C_3})$$

Bu aşamadan sonra 5.21 numaralı denklemde görülen performans matrisi elde edilecektir. W ağırlık vektörü ve 6.21, 6.24, 6.27, 6.30, 6.33, 6.36, 6.39, 6.42, 6.45, 6.48, 6.51, 6.54 ve 6.57 çizelgelerinde görülen ilgili kolonlar çarpılarak performans matrisi elde edilir.

$$Z = \begin{bmatrix} x_{1A_1} \otimes \omega_{A_1} & x_{1A_2} \otimes \omega_{A_2} & \dots & x_{1C_3} \otimes \omega_{C_3} \\ x_{2A_1} \otimes \omega_{A_1} & x_{2A_2} \otimes \omega_{A_2} & \dots & x_{2C_3} \otimes \omega_{C_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{NA_1} \otimes \omega_{A_1} & x_{NA_2} \otimes \omega_{A_2} & \dots & x_{NC_3} \otimes \omega_{C_3} \end{bmatrix}$$

Performans matrisinde N, seçenek sayısını göstermektedir. x_{1A_1} ise birinci seçeneğin A_1 kriterine göre aldığı göreceli ağırlığı göstermektedir.

Bundan sonra ise 5.22 numaralı denklemde görülebildiği gibi performans matrisinin satırlarında yer alan elementlerin toplanmasıyla seçeneklerin final ağırlık değerleri elde edilir. Buna göre,

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0,07867 & 0,23593 & 0,78872) \\ (0,10299 & 0,31685 & 0,95085) \\ (0,15568 & 0,44722 & 1,22874) \end{bmatrix}$$

elde edilir.

F_1 , F_2 ve F_3 üçgensel bulanık sayı olduğu için çözüm yaklaşımında bahsedildiği gibi Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konan toplam bütüncül değer metodu ile bunların sıralanması gerçekleştirilecektir. 5.23 numaralı denklemin uygulanması neticesinde ve karar vericinin riske karşı takıldığı tutuma göre elde edilen sonuçlar çizelge 6.61’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.61 : Seçeneklerin tercih sıralaması.

Seçenek	İyimserlik İndeksi			Sıralama
	$\alpha = 0$ (kötümser)	$\alpha = 0,5$ (ılımlı)	$\alpha = 1$ (iyimser)	
F_1	0,157	0,335	0,512	3
F_2	0,210	0,422	0,634	2
F_3	0,301	0,570	0,838	1

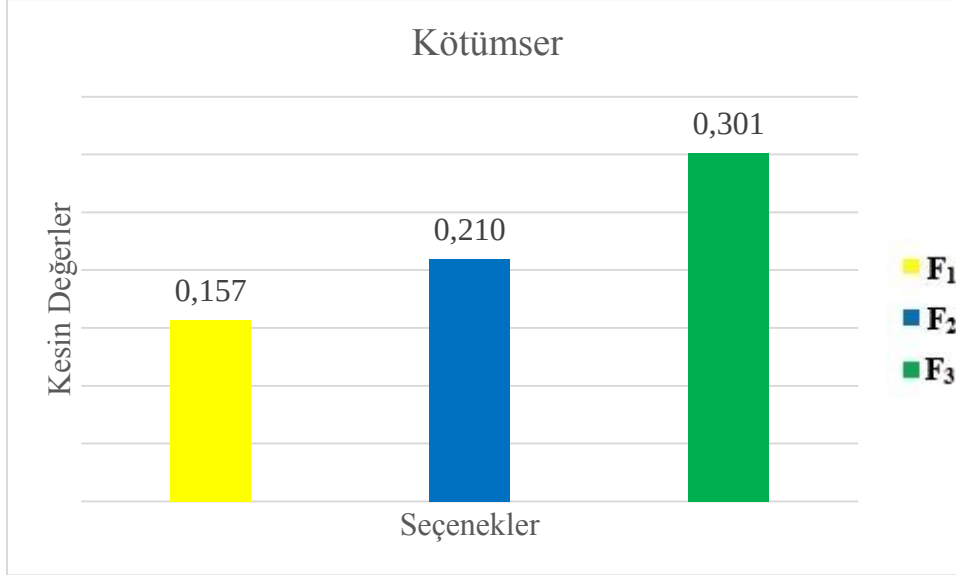
Çizelge 6.61’de görülebildiği gibi üçüncü seçeneğin diğer iki seçeneğe göre en iyi tercih olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

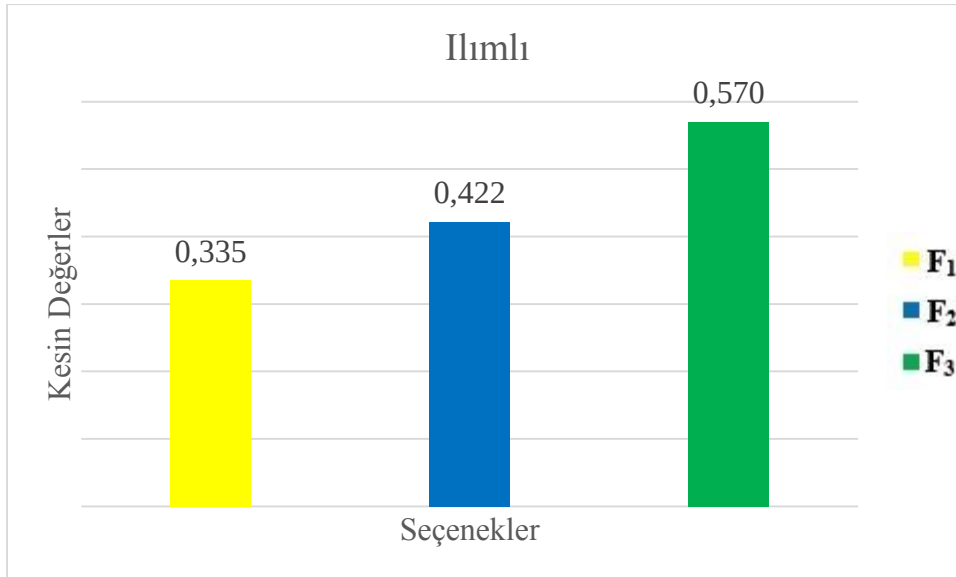
Günümüzde suyun yaşam açısından ne kadar önemli olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bununla birlikte dünyada son yıllarda kullanılabilir yüzeysel ve yeraltı su kaynakları da gitgide azalmaktadır. Bu da şüphesiz ki yeni kaynak arayışını ortaya çıkartmaktadır. Buradan hareketle tarihsel kökeni çok eskilere dayanan desalinasyon teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Miktar açısından bir sorun yaratmayan deniz suyundan tuzun giderilmesi ile tatlı su üretimi insanoğlunun her ne pahasına olursa olsun gerçekleştirmesi gereken bir adımdır. Susuz bir yaşam düşünülemez ve bundan kaçış imkânsızdır.

Bu çalışmada bu doğrultuda özellikle ülkemizde küçük sahil yerleşimlerinde yaz aylarında meydana gelen nüfus artışıyla var olan yüzeysel su kaynaklarının buradaki insanların su ihtiyacını karşılayamaması karşısında bu kaynakların deniz suyunun tatlılaştırılması ile desteklenmesi sağlanarak bir su yönetim modeli oluşturuldu. Bu modelde oluşturulan senaryoda Antalya'nın Kaş ilçesi için üç farklı su temini seçeneği üzerinde duyuldu. Bu yerleşim yerine başka bir noktadan su taşınması, tamamıyla deniz suyundan tatlı su üretilmesi ya da hem su taşınması hem de deniz suyunun tatlılaştırılması seçenekleri belirlendi. Bu seçenekler arasında çoklu kriter analizleriyle FAHP yönteminden yararlanılarak hangi seçeneğin karar verici için uygun olacağı tespit edildi. Deniz suyunun tatlılaştırılması prosesi olarak küçük yerleşim yerlerinde MSF ve MED'e göre daha verimli olan RO prosesinin uygulanmasına karar verildi. Seçeneklerin birbiri ile karşılaştırılmaları sırasında literatürdeki benzer projelerdeki sonuçlara göre değerlendirmelerde bulunuldu. Bu çalışmada A. Lamei ve arkadaşları tarafından yapılmış çalışmadan [27] yararlanıldı. Öncelikle çözüm yaklaşımında belirtildiği üzere ele alınan problem için hiyerarşik çerçeve oluşturuldu. Kriter ve alt kriterler belirlendi. Ardından ikili matrisler oluşturuldu. Chang'ın 1996 yılında ortaya koyduğu yaklaşım ile göreceli ağırlıklar tespit edildi. Ardından 13 tane alt kriterin her birine göre seçenekler değerlendirildi ve göreceli ağırlıkları tespit edildi. Bu aşamadan sonra ilgili kriter ve alt kriter ağırlıkları çarpılarak nihai alt kriter ağırlıkları elde edildi.

Nihai alt kriter ağırlıkları ve seçeneklerin değerlendirilmesi neticesinde performans matrisi oluşturuldu. Yapılan son değerlendirmeler neticesinde Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konan toplam bütüncül değer metodu ile bu üç seçenek için bir sıralama elde edildi. Bunun sonucunda üç iyimserlik indeksi için elde edilen sonuçlar şekil 7.1, şekil 7.2 ve şekil 7.3’de görülebilmektedir.

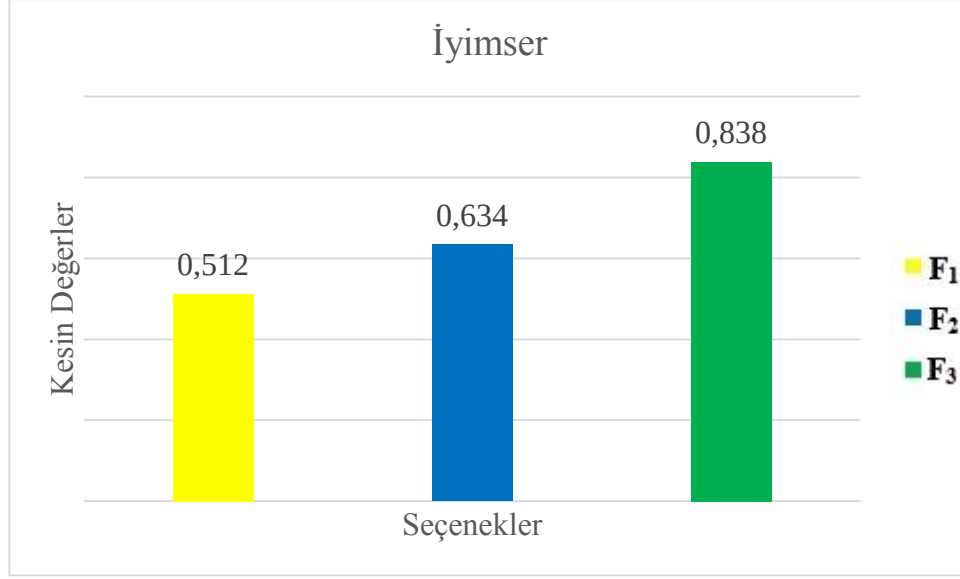


Şekil 7.1 : Kötümser durum için elde edilen sıralama.



Şekil 7.2 : İlımlı durum için elde edilen sıralama.

Elde edilen sonuçlar neticesinde üçüncü seçenek (sadece tuzlu suyun arıtılması ile su temini) her durum için birinci olmuştur.



Şekil 7.3 : İyimser durum için elde edilen sıralama.

Özellikle küçük ve orta kapasitelerde MSF ve MED'e göre ısı enerjisi gerektirmeyen, modüler olması ve de düşük yüklerde dahi aynı verimle çalışabilir olması nedeniyle RO, diğer iki prosese göre avantajlıdır. Burada belirtilmesi gereken bir husus vardır. Şekil 6.8 ve 6.9'da sunulan [28] numaralı çalışmanın sonuçlarında görülebileceği gibi sürdürülebilir bir yaşam elde etmek için ve de maliyetleri daha da düşürmek için RO prosesinin şebeke yerine rüzgar gibi yenilenebilir bir enerji kaynağı ile beslenmesi önemli bir artı değer sunacaktır. Burada da özellikle üzerinde durulması gereken bir nokta daha var. Şekil 6.9'da görülebildiği gibi yenilenebilir bir enerji kaynağı ile tesis beslendiği durumda bile sera gazı emisyonuna katkı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı da yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenen bu tesislerde daha az kimyasal madde tüketilmesi ya da daha çevre dostu kimyasal madde tüketilmesi şeklinde yapılacak iyileştirmelerle bu tesislerin çevresel performansları daha da geliştirilebilir.

Bu çalışmayla gerçek hayatta karşılaşılan su yönetimi durumlarında uygulanmak üzere AHP'nin bulanık bir versiyonu sunulmuştur. Kriter, alt kriter ve seçenekler ile orijinal AHP'nin mantığını izleyerek çok iyi dengelenmiş bir bulanık çerçevede karar verici için bir tercih belirlenmiştir.

Uygulama kısmında Antalya'nın Kaş ilçesi gibi küçük bir sahil yerleşimi için su yönetiminde uygulanmak üzere üç farklı seçenek değerlendirilmiştir. Bu üç farklı seçeneği değerlendirirken 3 kriter ve 13 alt kriterden oluşan bir hiyerarşik çerçeve kullanılmıştır. Çözüm yaklaşımında teklif edilmiş olan BKV yaklaşımının hesaplar açısından güvenilirliği doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bir başka durulaştırma

metodu olan ağırlık merkezi metodu ile kontrol edilmiş olup çizelge 6.61’de görülmekte olan sıralamanın aynısı elde edilmiştir. Ayrıca tüm karar verme prosesinin tutarlılığını kontrol etmek için yukarıda yapılan değerlendirmeler kesin sayılar kullanılarak orijinal AHP ile de aynı sıralama elde edilmiştir.

Yapılan testler neticesinde elde edilen memnun edici sonuçlar ile BKV yaklaşımının esnek ve sağlam olduğu söylenebilir. Özellikle hem problem hem de karar vericinin uzmanlık alanı ve kavrama kabiliyeti açısından belirsiz ve kesin olmayacak şekilde karakterize edilen gerçek durumlarda karar vericiler tarafından güvenle kullanılabilen bir araçtır. Paydaşlar ile toplantıda teklif edilen metodun yürütülmesindeki kolaylık bu yaklaşımın beklenen avantajlarından birisidir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://water.usgs.gov/edu/watercycleturkish.html>, alındığı tarih: 03.02.2015.
- [2] **Bayazıt, M.** (1987). *Hidroloji* (4. Basım). İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- [3] **Qasim, S. R., Motley, E. M. ve Zhu, G.** (2006). *Water Works Engineering: Planning, Design, and Operation*. Prentice Hall.
- [4] http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/om/linkingchap3.pdf, alındığı tarih: 03.02.2015.
- [5] **Muslu, Y.** (2002). *Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı* (2. Basım). Su Vakfı Yayınları.
- [6] **Voutchkov, N., Sommariva, C, Pankratz, T. ve Tonner, J.** (2010). Desalination Process Technology. *Desalination Technology Health and Environmental Impacts*. IWA Yayınları.
- [7] **Weiner, R. ve Matthews, R.** (2003). Water Transmission. *Environmental Engineering* (4. Sürüm) (Sf. 119 ve 120). Butterworth – Heinemann Yayınları.
- [8] **Gray, S. Semiat, R., Duke, M., Cohen, Y. ve Rahardianto, A.** (2011). Seawater Use and Desalination Technology. *Journal of Elsevier*.
- [9] **Valentine, M.** (Ed.) (2011). Desalination of Seawater "Manual of Water Supply Practices" "M61". *Journal of American Water Works Association*.
- [10] <http://www.escwa.un.org/information/publications/edit/upload/sdpd-09-4.pdf>, alındığı tarih: 03.02.2015.
- [11] **Cotruvo, J. ve Abouzaid, H.** (2010). Overview of the Health and Environmental Impacts of Desalination Technology. *Desalination Technology Health and Environmental Impacts*. IWA Yayınları.
- [12] **Xairo, H. B.** (2012). Fuzzy Logic AHP Comparative Approach for Desalination Processess: Water Supply From Seawater in Canarian Island. Proje Çalışması.
- [13] **Akdemir, E.** (2009). Deniz Suyundan Tatlı Su Üretiminin Teknik Ve Ekonomik Etüdü. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] **Vishwanathappa, M. D.** (2005). Desalination of Seawater Using A High Efficiency Jet Ejector. Thesis. Texas A & M University.
- [15] **Göksu, A.** (2008). Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- [16] **Muşdal, H.** (2007). Tıbbi Atıkları İşleme ve Bertaraf Etme Teknolojisi Seçme Problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Ağ Prosesi Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17] **Önal, S. A.** (2006). Fuzzy Analytic Hierarchy Based Approach For Supplier Selection In A Washing Machine Company. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] **Orak, E.** (2006). Porsuk Çayı'nın Su Kalitesinin Bulanık Mantık Metodu İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] **Şen, Z.** (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri* (2. Basım). Su Vakfı Yayınları.
- [20] **Topuz, E.** (2009). Endüstriyel Tehlikeli Maddeler İçin Çevresel Risk Değerlendirme Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] **Çitli, N.** (2006). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] **Topel, A.** (2006). Analitik Hiyerarşi Prosesinin Bulanık Mantık Ortamındaki Uygulamaları – Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [23] **Srdjevic, B. ve Medeiros, Y. D. P.** (2007). Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resources Management*, 22 (7), 877 – 894.
- [24] **Kaş Belediye Başkanlığı,** (2014). Stratejik Plan (2015 – 2019).
- [25] **Akgul, D., Çakmakçı, M., Kayaalp, N. ve Koyuncu, İ.** (2007). Cost Analysis of Seawater Desalination with Reverse Osmosis in Turkey. *Desalination*, 220 (1-3), 123 – 131.
- [26] <http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi13/antalya.htm>, alındığı tarih: 02.04.2015.
- [27] **Lamei, A., van der Zaag, P., ve von Münch, E.** (2007). 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 (1-3), 1 – 12.
- [28] **Shahabi, M. P., McHugh, A., Anda, M. ve Ho, G.** (2013). Environmental Life Cycle Assessment of Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant Powered by Renewable Energy. *Renewable Energy*, 67, 53 – 58.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Murat Sönmez

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul - 16/06/1984

E-Posta : snmezmur@gmail.com, sonmezm@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği