

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ MAKİNE SİSTEMLERİNDE TERMODİNAMİK
ANALİZ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YÖNTEMLERİ UYGULAMALARI

Ahmet KAYA

DOKTORA TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Yasin ÜST

Mart, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ MAKİNE SİSTEMLERİNDE TERMODİNAMİK
ANALİZ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YÖNTEMLERİ UYGULAMALARI**

Ahmet KAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 10.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yasin ÜST
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Yasin ÜST, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güven GONCA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ÇAKIR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim ÖZSARI, Üye
Bursa Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Yasin ÜST sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Gemi Makine Sistemlerinde Termodinamik Analiz ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Uygulamaları” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ahmet KAYA

İmza



Aileme

TEŐEKKÜR

Doktora öğrenimim sırasında örnek bilim insanı olarak yaptığı yönlendirmeler ile yaşadığım sıkıntıları aşmama yardımcı olan muhterem hocam Prof. Dr. Yasin ÜST, tez izleme komitemde tezime katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Güven GONCA ve Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ'ye şükranlarımı sunuyorum

Doktora tezimin tamamlanması aşamasında katkılarını esirgemeyen değerli dostlarım ve meslektaşlarım Doç. Dr. Asım Sinan KARAKURT, Doç. Dr. Veysi BAŞHAN ve ismini zikredemediğim diğer meslektaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Son olarak insanın en uzun ve meşakkatli çalışmalarından birisi olan doktora tez çalışması boyunca genellikle zamanlarından çaldığım aileme manevi destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet KAYA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Enerji ve Ekserji Analizi Bibliyometrik Analizi.....	6
1.3 Gemi ve Ekserji Analizi Bibliyometrik Analizi.....	15
1.4 Çok Kriterli Karar Verme Bibliyometrik Analizi	24
2 MATERYAL VE YÖNTEM	32
2.1 Bulanık VİKOR Yöntemi	33
2.2 ELECTRE Yöntemi	38
2.2.1 Aralık Tipi-2 Bulanık Kümeler	38
2.2.2 Aralık Tipi-2 Bulanık Kümelere Dayalı ELECTRE	40
3 GEMİ SİSTEMLERİNİN ÇKKV VE TERMODİNAMİK ANALİZİ	46
3.1 Basıncılı Hava Sistemi	46
3.1.1 Basıncılı Hava Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi	48
3.1.2 Basıncılı Hava Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması	50
3.1.3 Basıncılı Hava Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması	57
3.2 Soğutma Suyu Sistemi	61
3.2.1 Soğutma Suyu Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi	66
3.2.2 Soğutma Suyu Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması	69
3.2.3 Soğutma Suyu Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması	75

3.3 Yağlama Yağı Sistemi	79
3.3.1 Yağlama Yağı Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması	66
3.3.2 Yağlama Yağı Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması	85
3.4 Kazan Sistemi	89
3.4.1 Kazan Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması	89
3.4.2 Kazan Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması	95
4 SONUÇ	99
KAYNAKÇA	102
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	108



SİMGE LİSTESİ

P	Basınç
\dot{E}_{XD}	Ekserji Yıkım Hızı
\dot{E}_X^{PH}	Fiziksel Ekserji
GJ	GigaJoule
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
kW	Kilowatt
m	Kütle
h	Özgül entalpi
s	Özgül entropi
T	Sıcaklık

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
AT2BK	Aralık Tipi-2 Bulanık Küme
COP	Performans Katsayısı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DS	Deniz Suyu
ELECTRE	Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
ORC	Organik Rankine Çevrimi
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği
TS	Tatlı Su
VIKOR	Çoklu Kriter Optimizasyonu ve Uzlaşma Çözümü
WoS	Web of Science
YY	Yağlama Yağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı.....	7
Şekil 1.2 Ekserji kullanılan yayınların en çok yayın çıkarmış ilk 10 ülkeye göre dağılımı	7
Şekil 1.3 Yayınların en çok dahil olduğu on WoS kategorisi	12
Şekil 1.4 Ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi.....	13
Şekil 1.5 Ülkelerin bağlantıları.....	14
Şekil 1.6 Anahtar kelimelerin bağlantıları.....	15
Şekil 1.7 Gemi ve ekserji alanında yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı	15
Şekil 1.8 En çok yayını olan ilk 10 ülke.....	16
Şekil 1.9 Yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi	18
Şekil 1.10 Gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi.....	19
Şekil 1.11 Yıllara göre yayınların ve atıfların dağılımı.....	20
Şekil 1.12 Gemi ve ekserji alanında yayını bulunan tüm ülkelerin bağlantısı	21
Şekil 1.13 Bağlantılı Ülkeler	22
Şekil 1.14 Tüm anahtar kelimeler.....	22
Şekil 1.15 En az 2 kez kullanılmış anahtar kelimeler.....	23
Şekil 1.16 ÇKKV kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı.....	24
Şekil 1.17 ÇKKV alanında en çok yayın çıkarmış ilk 10 ülkeye göre dağılımı.....	25
Şekil 1.18 ÇKKV kullanılan yayınların en çok dahil olduğu WOS kategorileri ..	25
Şekil 1.19 ÇKKV alanında en çok yayın yapmış 10 dergi.....	26
Şekil 1.20 ÇKKV alanında en çok yayın yapmış 10 kurum.....	26
Şekil 1.21 ÇKKV alanında yayın çıkarmış ülkelerin bağlantıları	27
Şekil 1.22 ÇKKV alanında en az 5 yayın çıkarmış tüm kurumların bağlantıları ..	27
Şekil 1.23 ÇKKV alanında en az 5 ortak yayın çıkarmış kurumların bağlantıları	28
Şekil 1.24 ÇKKV alanında en az 5 yayın çıkarmış yazarların bağlantıları	28
Şekil 1.25 Anahtar kelimelerin bağlantıları.....	29
Şekil 1.26 Yayınların özet bölümlerinde kullanılan kelimelerin bağlantıları	29
Şekil 2.1 Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonu.....	33
Şekil 2.2 Aralık Tipi-2 Bulanık Küme	39

Şekil 3.1 Makine dairesi basınçlı hava sisteminin şematik diyagramı	47
Şekil 3.2 Deniz suyu devresi	62
Şekil 3.3 Tatlı su devresi (Düşük Sıcaklık)	63
Şekil 3.4 Tatlı su devresi (Yüksek Sıcaklık)	65
Şekil 3.5 Sistem Elemanlarının Ekserji Yıkımı Dağılımları	68



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı	8
Tablo 1.2 Ekserji kullanılan yayınların en çok yayın çıkarmış ilk 25 ülkeye göre dağılımı	10
Tablo 1.3 Yayınların en çok dahil olduğu on WoS kategorisi	12
Tablo 1.4 Ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi	13
Tablo 1.5 En çok atıf almış 5 ülke	14
Tablo 1.6 Yıllara göre yayın sayısları ve yüzdeleri	16
Tablo 1.7 En çok yayını olan ilk 10 ülke	17
Tablo 1.8 Yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi	18
Tablo 1.9 Gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 derginin yayın sayıları ve yüzdeleri	19
Tablo 1.10 En çok yayını bulunan 5 ülke	20
Tablo 1.11 En çok kullanılmış 5 anahtar kelime.....	23
Tablo 1.12 En çok atıf almış 10 yayın	30
Tablo 2.1 Ağırlıklar için bulanık değerlendirme puanları	35
Tablo 2.2 Alternatifler için bulanık değerlendirme puanları	35
Tablo 2.3 Alternatif değerlendirmek için bulanık değerlendirme puanları.....	44
Tablo 2.4 Kriter değerlendirmek için bulanık değerlendirme puanları.....	45
Tablo 3.1 Belirlenmiş noktalardaki değerler.....	49
Tablo 3.2 Kompresör alternatifleri.....	51
Tablo 3.3 Kompresör seçimi uzman özellikleri	52
Tablo 3.4 Kompresör seçimi belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları	52
Tablo 3.5 Kompresör seçimi kriterlerinin entegre bulanık ağırlıkları	53
Tablo 3.6 Kompresör seçimi bulanık Karar Matrisi	54
Tablo 3.7 Kompresör seçimi bulanık en iyi değer (fj^*) ve bulanık en kötü değer (fj^-)	55
Tablo 3.8 Kompresör seçimi S_i ve R_i değerleri.....	55
Tablo 3.9 Kompresör seçimi S^* , S^- , R^* ve R^- değerleri.....	56
Tablo 3.10 Kompresör seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i endeksleri ve alternatif sıraları... 56	56

Tablo 3.11 Kompresör seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar	57
Tablo 3.12 Kompresör seçimi karar matrisi ve ağırlıklar	57
Tablo 3.13 Kompresör seçimi normalize karar matrisi.....	58
Tablo 3.14 Kompresör seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi	59
Tablo 3.15 Kompresör seçimi F matrisi.....	59
Tablo 3.16 Kompresör seçimi NI uyumsuzluk matrisi	60
Tablo 3.17 Kompresör seçimi G matrisi	60
Tablo 3.18 Kompresör seçimi H matrisi	61
Tablo 3.19 DS Pompası Özellikleri	62
Tablo 3.20 Merkezi TS Kuleri Özellikleri	64
Tablo 3.21 Merkezi TS Pompası Özellikleri.....	64
Tablo 3.22 Ana YY Kuleri Özellikler.....	65
Tablo 3.23 Ana TS Pompası Özellikleri	66
Tablo 3.24 Akışkan Özellikleri	66
Tablo 3.25 Sistem Elemanlarının Ekserji Değerleri	68
Tablo 3.26 Pompa Alternatifleri	69
Tablo 3.27 Pompa seçimi uzmanların özellikleri.....	70
Tablo 3.28 Pompa seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları	70
Tablo 3.29 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları	71
Tablo 3.30 Pompa seçimi bulanık karar matrisi.....	71
Tablo 3.31 Pompa seçimi bulanık en iyi değer (f_j^*) ve bulanık en kötü değer (f_j^-)	72
Tablo 3.32 Pompa seçimi S_i ve R_i değerleri	73
Tablo 3.33 Pompa seçimi S^* , S^- , R^* ve R^- değerleri.....	73
Tablo 3.34 Pompa seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları	73
Tablo 3.35 Pompa seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar	74
Tablo 3.36 Pompa seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları	75
Tablo 3.37 Pompa seçimi normalize karar matrisi.....	76
Tablo 3.38 Pompa seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi	77
Tablo 3.39 Pompa seçimi F Matrisi	77
Tablo 3.40 Pompa seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi.....	78
Tablo 3.41 Pompa seçimi G Matrisi	78
Tablo 3.42 Pompa seçimi H Matrisi	79
Tablo 3.43 Yağlama yağı kuleri alternatifleri	80
Tablo 3.44 Yağlama yağı kuleri seçimi uzmanların özellikleri	80

Tablo 3.45 Kuler seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları	81
Tablo 3.46 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları	81
Tablo 3.47 Kuler seçimi bulanık karar matrisi.....	82
Tablo 3.48 Kuler seçimi bulanık en iyi değer ($fj *$) ve bulanık en kötü değer ($fj -$)	82
Tablo 3.49 Kuler seçimi Si ve Ri değerleri	83
Tablo 3.50 Kuler seçimi $S *$, $S -$, $R *$ ve $R -$ değerleri.....	83
Tablo 3.51 Kuler seçimi $\tilde{Q}i$, Qi , Si ve Ri indeksleri ve alternatif sıraları	84
Tablo 3.52 Kuler seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar	85
Tablo 3.53 Kuler seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları	85
Tablo 3.54 Kuler seçimi normalize karar matrisi.....	86
Tablo 3.55 Kuler seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi.....	87
Tablo 3.56 Kuler seçimi F Matrisi	87
Tablo 3.57 Kuler seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi.....	88
Tablo 3.58 Kuler seçimi G Matrisi	88
Tablo 3.59 Kuler seçimi H Matrisi	89
Tablo 3.60 Kazan alternatifleri	90
Tablo 3.61 Yağlama yağı kuleri seçimi uzmanların özellikleri	90
Tablo 3.62 Kuler seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları	91
Tablo 3.63 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları	91
Tablo 3.64 Kazan seçimi bulanık karar matrisi	92
Tablo 3.65 Kazan seçimi bulanık en iyi değer ($fj *$) ve bulanık en kötü değer ($fj -$)	92
Tablo 3.66 Kazan seçimi Si ve Ri değerleri	93
Tablo 3.67 Kazan seçimi $S *$, $S -$, $R *$ ve $R -$ değerleri.....	93
Tablo 3.68 Kazan seçimi $\tilde{Q}i$, Qi , Si ve Ri indeksleri ve alternatif sıraları	94
Tablo 3.69 Kuler seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar	94
Tablo 3.70 Kazan seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları.....	95
Tablo 3.71 Kazan seçimi normalize karar matrisi	96
Tablo 3.72 Kazan seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi.....	96
Tablo 3.73 Kazan seçimi F Matrisi	97
Tablo 3.74 Kuler seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi.....	97
Tablo 3.75 Kuler seçimi G Matrisi	98
Tablo 3.76 Kuler seçimi H Matrisi	98

Gemi Makine Sistemlerinde Termodinamik Analiz ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Uygulamaları

Ahmet KAYA

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yasin ÜST

Gemilerde ana makineler dışında yüksek güç tüketimine sahip ve uzun süreler boyunca çalışan pek çok yardımcı makine vardır. Bu yardımcı makine ve sistem elemanlarının bir araya gelmesiyle farklı amaçlara hizmet eden gemi sistemleri, geminin performansı, verimliliği ve güvenliği açısından ayrı ayrı öneme sahiptir. Gemi sistemlerinde enerji yönetimi ve verimlilik artırma çalışmaları, yakıt tüketiminin azaltılması ve emisyon kontrolü gibi hususlarda büyük önem arz etmektedir. Özellikle günümüzde enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları, denizcilik sektöründe giderek daha fazla dikkate alınmakta ve çeşitli mühendislik analizleriyle desteklenmektedir. Bu bağlamda, tezde gemi makinelerinin enerji kullanım etkinliğini ölçmek ve iyileştirme önerileri sunmak amacıyla termodinamik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Termodinamik analiz yöntemleri arasında enerji ve ekserji analizleri önemli bir yer tutmaktadır. Enerji analizi, sistemdeki toplam enerji giriş ve çıkışlarını belirleyerek verimlilik hesaplamaları yapılmasını sağlar. Ekserji analizi ise enerjinin kalite düzeyini ve sistem içinde ne ölçüde faydalı bir şekilde kullanıldığını değerlendirmek için

kullanılan bir yöntemdir. Ekserji kayıplarının belirlenmesi, enerji verimliliği artırıcı önlemlerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu analizler sonucunda, gemi makinelerinin hangi bileşenlerinde enerji kayıplarının yüksek olduğu ve verimliliğin nasıl artırılabilceği konusunda önemli veriler elde edilmiştir.

Bu sistemler içinde yer alan yüksek öneme sahip makine ve elemanların seçimi teknik gereksinim, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği gibi sebeplerden kritik bir görevdir. Bu nedenlerle, enerji ve ekserji analizlerinin yanı sıra, gemi makine sistemlerinde kritik bileşenlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla iki farklı bulanık mantık çok kriterli karar verme yöntemi uygulanmıştır. Bunlar VİKOR ve ELECTRE yöntemleridir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden fazla teknik ve operasyonel kriterin dikkate alınarak en uygun seçeneğin belirlenmesine olanak sağlar. Gemi sistemleri için kritik öneme sahip makine ve elemanların seçiminde teknik gereksinimler, enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve operasyonel güvenilirlik gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmada, karar verme sürecinin sağlıklı yürütülmesi için uzman görüşlerinden faydalanılmış ve belirlenen kriterler doğrultusunda alternatifler karşılaştırılmıştır. VİKOR yöntemi, çözüme en yakın alternatifin belirlenmesini sağlayan bir sıralama metodu olarak kullanılmıştır. ELECTRE yöntemi ise alternatifler arasında güçlü ve zayıf yönleri karşılaştırarak en uygun seçeneğin belirlenmesine yardımcı olmuştur. Bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, gemi makinelerinin enerji ve ekserji analizlerine dayalı olarak hangi bileşenlerin daha kritik olduğu konusunda güvenilir veriler sağlanmıştır. Sonuç olarak, bu tez çalışması, gemi ana ve yardımcı makine sistemleri üzerinde enerji ve ekserji analizlerini kullanarak sistemlerin verimliliğini artırmaya yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Aynı zamanda, çok kriterli karar verme yöntemleri ile kritik öneme sahip bileşenlerin seçimi konusunda bilimsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, gemi makinelerinin daha verimli çalışmasını sağlamak, yakıt tüketimini azaltmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla denizcilik sektörü için önemli bir kaynak oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gemi, enerji, ekserji, VİKOR, ELECTRE

Applications of Thermodynamic Analysis and Multi-Criteria Decision Making Methods in Ship Machinery Systems

Ahmet KAYA

Department of Naval Architecture and Maritime Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Yasin ÜST

In ships, there are many auxiliary machines that have high power consumption and operate for long periods of time, in addition to the main engines. Ship systems, which serve different purposes by combining these auxiliary machines and system elements, have separate importance in terms of the ship's performance, efficiency and safety. Energy management and efficiency increase studies in ship systems are of great importance in terms of reducing fuel consumption and emission control. Especially today, the concepts of energy efficiency and environmental sustainability are increasingly taken into consideration in the maritime sector and supported by various engineering analyzes. In this context, thermodynamic analysis methods were used in the thesis to measure the energy use efficiency of ship engines and to present improvement suggestions. Energy and exergy analyzes have an important place among thermodynamic analysis methods. Energy analysis enables efficiency calculations by determining the total energy inputs and outputs in the system. Exergy analysis is a method used to evaluate the quality level of energy and to what extent it is used beneficially in the system. Determination of exergy losses helps to develop measures to increase energy efficiency. As a result of these

analyzes, important data were obtained on which components of ship engines have high energy losses and how efficiency can be increased.

The selection of high-importance machines and elements within these systems is a critical task due to reasons such as technical requirements, energy efficiency and cost effectiveness. For these reasons, in addition to energy and exergy analyses, two different fuzzy logic multi-criteria decision-making methods were applied to determine and evaluate critical components in ship machinery systems. These are VIKOR and ELECTRE methods. Multi-criteria decision-making methods allow the determination of the most appropriate option by considering multiple technical and operational criteria. In the selection of critical machines and elements for ship systems, parameters such as technical requirements, energy efficiency, cost effectiveness and operational reliability were evaluated. In the study, expert opinions were used to ensure a healthy decision-making process and alternatives were compared in line with the determined criteria. VIKOR method was used as a ranking method that allows the determination of the alternative closest to the solution. ELECTRE method helped determine the most appropriate option by comparing the strengths and weaknesses among the alternatives. By comparing the results obtained from these two methods, reliable data was provided on which components were more critical based on the energy and exergy analyses of ship machinery. As a result, this thesis study provides a comprehensive assessment of ship main and auxiliary machinery systems to increase the efficiency of the systems using energy and exergy analysis. At the same time, a scientific approach has been developed for the selection of critical components with multi-criteria decision-making methods. The findings obtained will constitute an important resource for the maritime sector in order to ensure more efficient operation of ship machinery, reduce fuel consumption and minimize environmental impacts.

Keywords: Ship, energy, exergy, VIKOR, ELECTRE

1.1 Literatür Özeti

Gemi makineleri, geminin hareketini sağlamak ve gemi içindeki çeşitli sistemlerin çalışmasını desteklemek amacıyla kullanılan kritik bileşenlerdir. Ana makineler, geminin itici gücünü sağlayarak en büyük enerji tüketimini gerçekleştirirken, yardımcı makineler de gemi içinde önemli işlevler üstlenmektedir. Bu yardımcı makineler, enerji üretim sistemlerinden soğutma sistemlerine, hidrolik ve pnömatik sistemlerden havalandırma ve iklimlendirme sistemlerine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Yüksek güç tüketimi ve uzun süreli çalışma gereksinimleri nedeniyle bu sistemlerin enerji ve ekserji analizi büyük bir önem taşımaktadır.

Denizcilik sektörü, enerji tüketiminin yoğun olduğu sektörlerden biri olup, özellikle gemi makinelerinin enerji verimliliğini artırmak ve emisyonları azaltmak amacıyla çeşitli mühendislik analizleri yapılmaktadır. Bu kapsamda, gemi makinelerinin çalışma performanslarını artırmak için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Alternatif yakıt kullanımı, atık ısı geri kazanım sistemleri ve enerji yönetim sistemleri gibi çözümler, gemilerin daha sürdürülebilir hale getirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Literatürde, gemi makinelerinin enerji verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, bazı araştırmalarda atık ısı geri kazanım sistemlerinin etkinliği incelenirken, diğer çalışmalarda farklı yakıt türlerinin gemi makinelerindeki performansa etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, gemi makinelerinin enerji kayıplarını azaltmak amacıyla termodinamik analiz yöntemlerinin kullanımına dair çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler, mevcut araştırmanın yönetsel çerçevesini oluşturmak adına önemli bir referans noktası olmuştur. Tüm bunların yanında bir gemi yardımcı makinesinin seçilmesinde önemli olan kriterler de belirlenmeli ve doğru ürün seçilmelidir. Bu bağlamda literatür incelendiğinde, Baldi ve Gabrielli [1] gemi endüstrisinin, enerji

verimliliği ve yakıt ekonomisi üzerine yoğunlaşmayı gerektiren zorluklarla karşı karşıya olduğunu belirterek, gemide atık ısı geri kazanım sistemi için uygulanabilirlik analizi gerçekleştirmişlerdir. Ekserjinin maksimum elde edilebilecek shaft gücü olduğunu belirtip önerdikleri metodolojide kullanılabilecek enerji ve ekserji miktarlarını hesaplayarak bunları geminin operasyonel profili ile karşılaştırmışlardır. Atık ısı geri kazanım sisteminin beklenen ekserji verimliliğini bağımsız bir değişken olarak kabul ederek beklenen yakıt tasarrufunu hesaplamışlardır. Sonuç olarak %5-15 arası yakıt tasarrufunun gerçekçi olarak beklenebildiğini belirtmişlerdir.

Köroğlu ve Söğüt [2] enerji verimliliğinin yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını azaltmada büyük önemi olduğunu ve denizcilik sektöründe yoğun ilgiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ekserji analizinin enerji verimliliğini artırmada önemli rol oynadığını belirterek, deniz güç santrallerinde Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile atık ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak her elemanın ekserji analizini gerçekleştirmişler ve R113 akışkanının en yüksek net gücü ve en düşük ekserji yıkımını sağladığını belirtmişlerdir.

Zarifi vd. [3] İran'daki ulaşım sektörünün 1998-2009 yılları arasındaki enerji tüketiminin ve enerji ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Belli senaryolarla bu ulaşımın alt birimlerinin enerji ve ekserji verimliliklerini tahmin etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda 2000 yılı için İran'daki ulaşım sektörünün enerji ve ekserji verimliliğinin Çin ve Norveç'ten daha iyi fakat Suudi Arabistan, Ürdün, Malezya ve Türkiye'den daha kötü olduğunu tespit etmişlerdir. Karayolunun en verimli ulaşım olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam enerji verimliliğinin 1998 yılında %22,02 civarında, 2009 yılında ise %21,19 olduğunu belirtmişlerdir.

Choi [4] çalışmasında, kargo dağıtım sisteminin bir LNG gemisinde ikinci en yüksek güç tüketen sistem olduğunu ve gemi sevki için kullanılan yakıtın beslemesinden arda kalan fazla gazın kargo tankı basıncını dengelemek için ya tekrar sıvılaştırılması ya da yakılması gerektiğini söylemiştir. Fazla gazı kargo tankına geri göndermek üzere kısmi sıvılaştırma yapılabileceğini belirterek, güç harcamasını azaltmak üzere ekserji analizi gerçekleştirmiştir. Yapılan ekserji analizi sonucu mevcut sistemde %8'lik iyileştirme yapılabileceğini söylemiştir.

Mrzljak vd. [5] günümüz gemi tahrik sistemlerinde genellikle dizel motorların kullanıldığını ancak bazı LNG gemilerinde buhar tahrik sistemlerinin bulunduğunu belirtmişlerdir ayrıca bu gemilerde elektrik gücünün ve ana besleme suyu pompasının da bu sistemlerden beslendiğini söylemişlerdir. Tüm ölçüm ve hesaplamaları geminin hızlanma durumu için yaparak, LNG gemisinin buhar tahrik sisteminin ana besleme suyu pompası sürücünün enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak ortam sıcaklığının ekserji verimini pek etkilemediğini ve mevcut buhar türbininin yerine elektrik motor kullanılması ile enerji ve ekserji verimlerinin en az %1-3 arası artacağını söylemişlerdir.

Yuan ve Mei [6] çalışmalarında sub-kritik/transkritik Rankine çevrimi ile çalışan deniz altı güç sisteminin, farklı akışkanlar için enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak çalışma derinliğinin artması ile elde edilen ısı verimlerin arttığını, aynı derinliklerde su çevriminin daha yüksek ısı verim, ekserji verimi ve türbin gücü sağladığını ancak daha yüksek enerji girişi gerektirdiğini söylemişlerdir. CO₂ çevriminin de yüksek ısı ve ekserji verimleri sağladı ve daha az enerji girişi gerektirdiğini ancak daha düşük türbin gücü sağladığını söylemişlerdir. Ek olarak, ekserji yıkımının temel olarak kazan ve kondenserde gerçekleştiğini ve toplamın %90'nın fazlasını oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Yuan vd. [7] çalışmalarında deniz altı güç beslemesi için Rankine çevrimi enerji analizi gerçekleştirmişlerdir. Matematiksel olarak yaptıkları çalışmanın sonucunda, kullanılacak güç çevriminin 5000 metre derinlikte %35 ısı verimle çalışabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca kullanılan buhar Rankine çevriminde en önemli performans parametrelerinin sıcaklık ve kondenser basıncı olduğunu söylemişlerdir.

Nemati vd. [8] elektrik ve tatlı su üretimi için gemi dizel motorunun atık ısı geri kazanım sistemi olarak ters ozmos tuzsuzlaştırma entegreli Organik Rankine Çevrimi kullanımının enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon sonucu ekserji veriminin %37.04'e ve toplam ürün maliyetinin 59.106 \$/GJ'e artırılabilirdiğini söylemişlerdir.

Dimopoulos vd. [9] çalışmalarında gemi uygulamaları için erimiş karbonat yakıt hücresi kullanımının, atık ısı geri kazanımını ekstra güç üretimi için kullanarak, ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Yüksek sıcaklıklı yakıt hücrelerinin gemi enerji sistemlerinin emisyonlarını azaltacağını ve verimlerini artıracığını

söylemişlerdir. Sonuç olarak basit erimiş karbonat yakıt hücresi kullanımı ile ekserji veriminin %7 artırılabilceğini ve kombine erimiş karbonat yakıt hücresi kullanımı ile ekserji veriminin %60'a çıkarılabileceğini ve %40 daha fazla güç üretimi sağlayabileceğini söylemişlerdir.

Gökalp [10] çalışmasında, aspire metil ester karışımı ile kerosen yakıtı kullanan sekiz silindirli dört-stroklu gemi dizel jeneratörünün enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Jeneratörün enerji ve ekserji oranlarını belirlemiş ve farklı yakıtlar için hesaplayarak karşılaştırmıştır. Sonuç olarak biyo-dizel kullanımının dizel yakıt kullanımına benzer sonuçlar verdiğini, aspire metil ester karışımları kullanımı ile CO emisyonlarının azaltıldığını ve en yüksek egzoz sıcaklıklarını oluşturduklarını söylemiştir.

Leo vd. [11] yakıt hücrelerinin sabit ve hareketli güç üretim tesislerinde umut vadettiğini ve denizcilik uygulamalarında daha çok denizaltılarda kullanıldığını belirterek, gemi ve denizaltılarda hidrojen/oksijen polimer elektrolit membran yakıt hücrelerinin kullanımının enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak direk metanol yakıt hücresi sisteminde ekserji veriminin daha yüksek olduğunu ve her iki yakıt hücresi sisteminin ekserji verimlerinin benzer olduğunu söylemişlerdir.

Shu vd. [12] çalışmalarında, artan yakıt fiyatlarının ve çevre problemlerinin gemicilik endüstrisinde ısı verimi artırma ve emisyonları azaltmaya yönelik çalışmaları artırdığını belirterek, atık ısı geri kazanımında kullanılan Organik Rankine Çevriminin operasyonel profil bazlı termo-ekonomik ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bir yolcu kruvaziyer gemisinin dört haftalık rotasından oluşturulan farklı çalışma koşulları ve yedi farklı aracı akışkan için analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak RC318 hariç bütün akışkanların beş yıl içinde amorti edebildiğini, maksimum ekserji veriminin R123 akışkanı kullanımı ile elde edildiğini söylemişlerdir.

Choi [13] çalışmasında, bir konteyner gemisinin ana makinesinin soğutma suyunu kullanan atık ısı geri kazanım sisteminde transkritik CO₂ Rankine çevrimi kullanımının termodinamik analizini gerçekleştirmiştir. Teorik çalışmanın sonuçları, atık ısı geri kazanımı ile maksimum 383 kW elektrik gücü üretilebileceğini

göstermiştir. Ekserji analizi sonuçlarına göre, maksimum ekserji verimlerinin çevrim ve sistem için sırasıyla %6,6 ve %5,94 olduğunu belirtmiştir.

Mito vd. [14] çalışmalarında, gemi dizel motorunun skavenç havası soğutmasından ve egzoz gazından faydalanan atık ısı geri kazanım sisteminin analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, önerilen sistem ile genel verimin %5,1 artırıldığını, ilave güç çıkışının 1210 kW, makinenin %9,7'si, olduğunu ve ekserji veriminin %6,6 artırıldığını belirtmişlerdir.

Larsen vd. [15] çalışmalarında daha önce onaylanmış bir sayısal motor modeli, bir turboşarj modeliyle ve Matlab'da yazılmış dip döngüsü modelleriyle birleştirmişlerdir. Genetik algoritma optimizasyon sonuçlarının, Kalina döngüsünün ORC veya buhar döngüsüyle karşılaştırıldığında önemli bir avantaja sahip olmadığını göstermediğini belirtmişlerdir. Çok yüksek verimlere katkıda bulunmalarına karşın, organik iş akışkanlarının yüksek küresel ısınma potansiyeline ve tehlike seviyelerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. ORC'nin yakıt verimliliğini artırma konusunda en büyük potansiyele sahip olduğu ve kombine çevrimin çok yüksek termal verimlilik sağladığını ayrıca daha az verimli olmakla birlikte, buhar çevriminin, kanıtlanmış olma, çevreye zararsız ve aynı zamanda daha az tehlikeli olma avantajlarına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Singh ve Pedersen [16] çalışmalarında, gemiye dizel güç sistemine verilen toplam yakıt enerjisinin yaklaşık yüzde 50'si çevreye kaybedildiğini belirterek, toplam boşa harcanan enerji miktarının kayda değer olduğunu ancak bu enerjinin düşük sıcaklığı kalitesinin nedeniyle oldukça düşük olduğunu ve enerji üretimi için sınırlı potansiyele sahip olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında, denizcilik uygulamalarına yönelik potansiyel geri kazanım verimleri ve uygunluğunu ortaya koymak için farklı atık ısı geri kazanım sistemlerinin bir incelemesi yapmışlardır.

Akkaş, [17] tez çalışmasında modern gemilerde enerji optimizasyonu sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığını belirterek, atık ısı sistemleri ile egzoz gazının yaklaşık %35 ve silindir soğutma suyunun %35-50 kadarının geri kazanılabildiğini söylemiştir. Yaygın kullanılan ve atık ısı geri kazanımında büyük paya sahip olan sistemleri turboşarj aşırı doldurma, evaporatör, inert gaz ve kazan sistemleri olarak göstermiştir.

Hüsmen [18] tez çalışmasında örnek bir gemiden alınan raporları veri toplama yöntemi olarak kullanarak, seçilen performans değerleri için analiz etmiş ve gemi dizayn parametrelerine göre hesaplamış ve yorumlamıştır. Elde edilen sonuçların enerji verimliliği çalışmaları için referans oluşturabileceğini söylemiştir.

Gümüştekin [19] tez çalışmasında gemilerin tahrik sistemlerinin özelliklerini ve maliyetlerini araştırmıştır. Sonuç olarak tahrik sistemi seçiminde maliyetin çok büyük bir etkisi olduğunu fakat geminin özellikleri ve gereksinimleri doğrultusunda farklı etkenlerin maliyetin önüne geçebileceğini belirtmiştir.

Palamut [20] tez çalışmasında bir denizcilik firmasının çevresel, sağlık ve emniyet yönetim, seyir emniyeti, operasyonel, güvenlik ve teknik performanslarını incelemiştir.

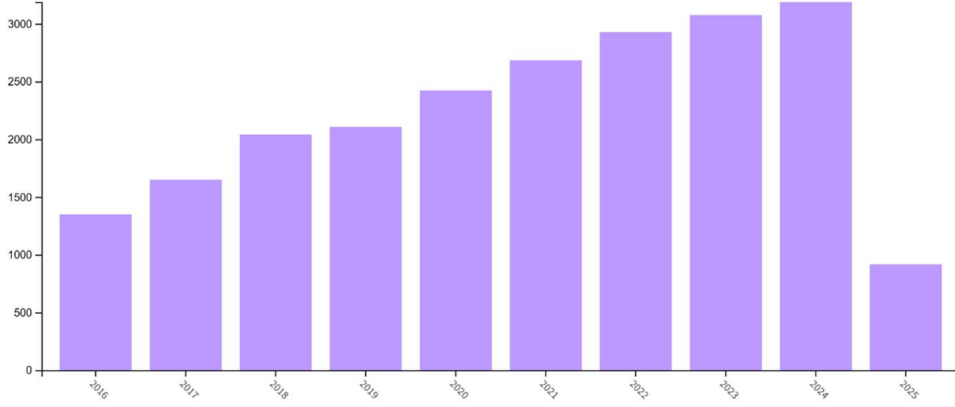
Pamık [31] tez çalışmasında dizel elektrik sevk sisteminin bir yolcu gemisinde yakıt tüketimine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak konvansiyonel sistem yerine dizel elektrik sisteminin kullanılmasının hem yakıt tüketimine hem de emisyonlar üzerine pozitif etkisi olduğunu belirtmiştir.

Dere [21] tez çalışmasında Sulzer RTA 84C model bir ana makinenin simülasyonunu oluşturmuştur. Oluşturduğu simülasyon modeli ile ana makine çalışma karakteristiğinin değişken yük durumlarında P-V diyagramlarını verebildiğini söylemiştir.

Bayraktar,[22] tez çalışmasında gemide yakıt olarak LNG kullanılmasının emisyonları azaltmak ile birlikte ekonomik olarak da faydalı olacağını belirterek, çalışmakta olan bir geminin ana makinesinin LNG ile çalışabilen bir makineyle değiştirilmesini ekonomik açıdan incelemiştir. Sonuç olarak proje gemisinde yeni sistemle işletilmenin 10 yıl içerisinde yatırım maliyetlerini telafi edeceğini söylemiştir.

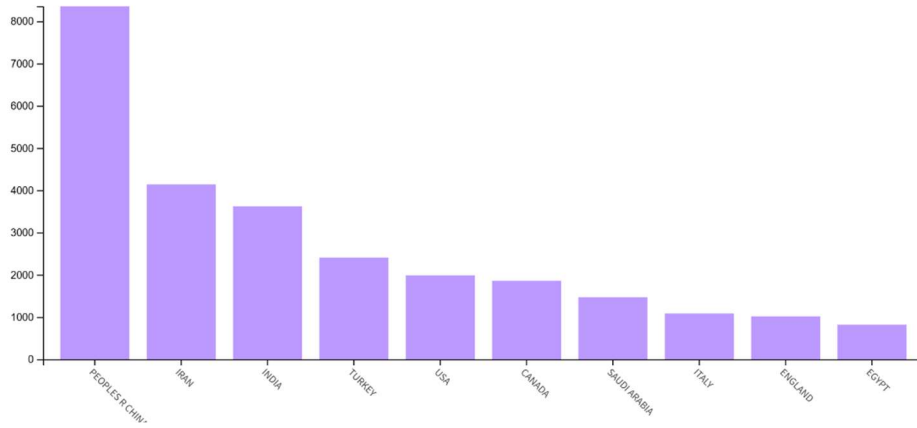
1.2 Enerji ve Ekserji Analizi Bibliyometrik Analizi

Bu bölümde ekserji ve gemi üzerine bibliyometri çalışması yapılmıştır. Yapılan analizlerde kullanılan veriler ‘Web of Science’ (WoS) üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı

Ekserji başlığında yapılan aramada toplam 30383 yayın bulunmuştur. Şekil 1.1’de son 10 yılda yapılan çalışmaların adet olarak yıllara göre dağılımı görülmektedir. Tablo 1.1’de 1980’den 2025 yılına kadar yapılmış yayınların sayıları toplam yayın sayısına göre yüzdeleri görülmektedir. Tarama 2025 Mart ayında yapıldığı için 2025 yılının ilk 3 ayında yapılmış olan çalışmaların sayısı görülmektedir. Yayın sayılarındaki artış bariz olarak görülmektedir, 2025 yılı için, son beş yıldaki yayın sayısı artış oranlarının ortalamasında bir artış görülmesi durumunda toplam 3200 civarında yayın görülebilir.



Şekil 1.2 Ekserji kullanılan yayınların en çok yayın çıkarmış ilk 10 ülkeye göre dağılımı

Web of Science veri tabanında ekserji alanında çalışması bulunan toplam 148 ülke görülmektedir. Şekil 1.2’de ekserji alanında en çok yayın çıkaran ilk on ülke görülmektedir. İlk beş sırada sırasıyla Çin Halk Cumhuriyeti, İran, Hindistan, Türkiye ve ABD yer almaktadır. İlk sırada yer alan Çin Halk Cumhuriyeti’nin ikinci sıranın neredeyse iki katı yayını olduğu görülmektedir.

Tablo 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı

Yayın Yılı	Yayın Sayısı	Yüzdesi
2025	748	2.423
2024	3048	9.873
2023	3148	10.197
2022	2976	9.639
2021	2935	9.507
2020	2580	8.357
2019	2174	7.042
2018	1775	5.749
2017	1616	5.234
2016	1328	4.301
2015	1099	3.560
2014	1054	3.414
2013	833	2.698
2012	879	2.847
2011	638	2.067
2010	660	2.138
2009	566	1.833
2008	379	1.228
2007	393	1.273

Tablo 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı (devamı)

2006	323	1.046
2005	235	0.761
2004	212	0.687
2003	151	0.489
2002	113	0.366
2001	96	0.311
2000	143	0.463
1999	86	0.279
1998	108	0.350
1997	95	0.308
1996	72	0.233
1995	88	0.285
1994	45	0.146
1993	29	0.094
1992	54	0.175
1991	39	0.126
1990	43	0.139
1989	9	0.029
1988	22	0.071
1987	12	0.039

Tablo 1.1 Ekserji kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı (devamı)

1986	13	0.042
1985	10	0.032
1984	9	0.029
1983	15	0.049
1982	10	0.032
1981	5	0.016
1980	7	0.023

Tablo 1.2’de ekserji alanında en çok yayın çıkaran ilk 25 ülke ve bu ülkelerin yayınlarının toplam yayınlara göre yüzdeleri görülmektedir. Ekserji alanında en çok çalışması bulunan ülke olarak toplam 8356 yayın ile Çin Halk Cumhuriyeti görülmektedir. Türkiye toplam 2409 yayın ile dördüncü sırada yer almaktadır.

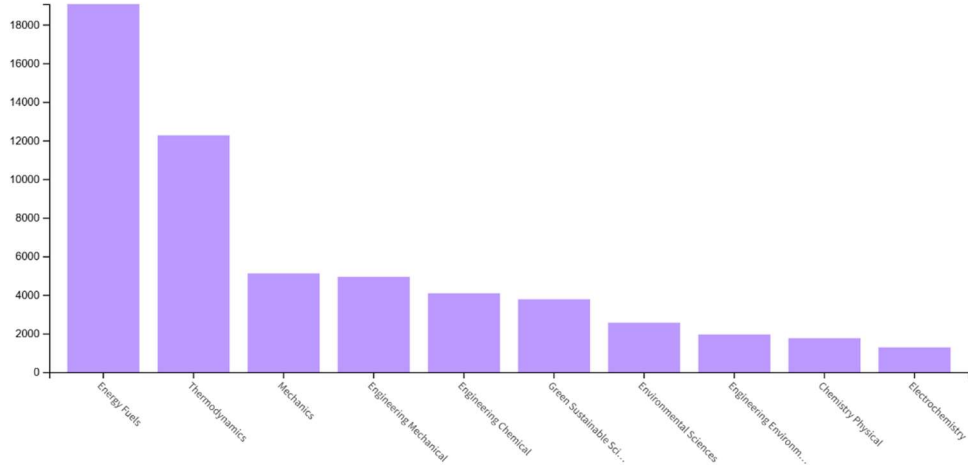
Tablo 1.2 Ekserji kullanılan yayınların en çok yayın çıkarmış ilk 25 ülkeye göre dağılımı

Ülke	Yayın Sayısı	Yüzdesi
Çin Halk Cumhuriyeti	8356	26.675
İran	4140	13.216
Hindistan	3619	11.553
Türkiye	2409	7.690
ABD	1985	6.337
Kanada	1858	5.931
Suudi Arabistan	1465	4.677
İtalya	1083	3.457

Tablo 1.2 Ekserji kullanılan yayınların en çok yayın çıkarmış ilk 25 ülkeye göre dağılımı(devamı)

İngiltere	1014	3.237
Mısır	818	2.611
Almanya	797	2.544
Güney Kore	752	2.401
İspanya	735	2.346
Malezya	672	2.145
Japonya	660	2.107
Türkiye	636	2.030
Brezilya	601	1.919
Fransa	595	1.899
Avustralya	585	1.868
Irak	511	1.631
Danimarka	448	1.430
Pakistan	412	1.315
Polonya	401	1.280
Hollanda	369	1.178
Birleşik Arap Emirlikleri	351	1.121

Şekil 1.3'te yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi ve bu kategorilere girmiş olan toplam yayın sayıları görülmektedir. Tablo 1.3'te aynı şekilde yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi ve bu kategorilere girmiş olan toplam yayın sayıları görülmektedir.



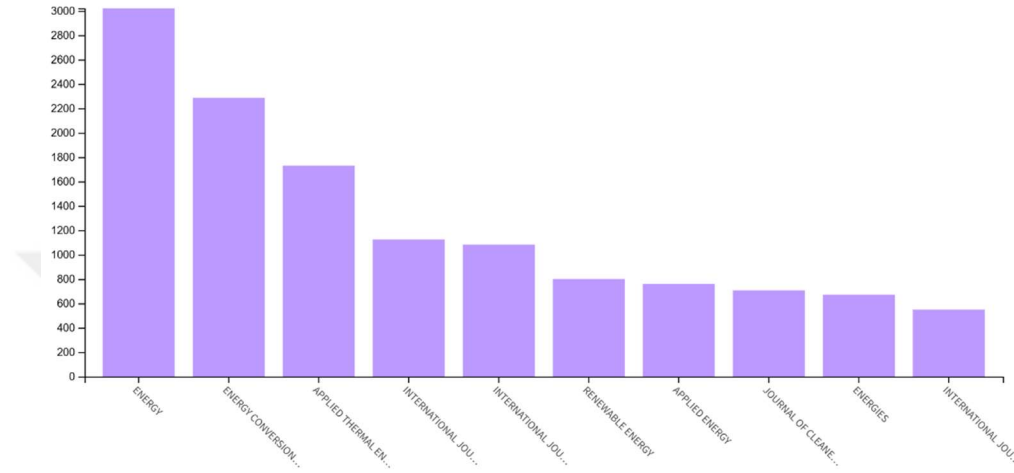
Şekil 1.3 Yayınların en çok dahil olduğu on WoS kategorisi

Toplamda 140 WoS kategorisi arasında en çok ekserji çalışması bulunan enerji yakıtları WoS kategorisine dahil olan 19071 yayın görülmekte ikinci sırada yer alan termodinamik kotegorisinde 12267 yayın görülmektedir.

Tablo 1.3 Yayınların en çok dahil olduğu on WoS kategorisi

WoS Kategorisi	Yayın Sayısı	Yüzdesi
Enerji Yakıtlar	19071	60.881
Termodinamik	12267	39.160
Mekanik	5109	16.310
Mühendislik Mekanik	4933	15.748
Mühendislik Kimyasal	4080	13.025
Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknoloji	3772	12.042
Çevre Bilimleri	2560	8.172
Mühendislik Çevre	1946	6.212
Kimya Fiziksel	1757	5.609
Elektrokimya	1279	4.083

Şekil 1.4'te ve Tablo 1.4'te ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi görülmektedir. WoS veri tabanında ekserji çalışması bulunan toplam 2468 dergi yer almaktadır. Toplam 2029 adet yayın ile ekserji alanında en çok çıkarmış dergi olarak Energy dergisi görülmektedir. Ekserji alanında bulunan toplam 21397 yayının neredeyse tamamı İngilizcedir ve bu çalışmaların yaklaşık %88'i makale ve derlemedir.



Şekil 1.4 Ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi

Tablo 1.4 incelendiğinde ekserji alanında çıkmış yayınların yaklaşık %40'ının en çok yayın yapmış olan ilk 10 dergide olduğu görülmektedir.

Tablo 1.4 Ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi

Dergi İsmi	Yayın Sayısı	Yüzdesi
Energy	2029	9.483
Energy Conversion and Management	1769	8.268
Applied Thermal Engineering	1139	5.323
International Journal of Exergy	781	3.650
International Journal of Hydrogen Energy	647	3.024
Renewable Energy	577	2.697
Applied Energy	476	2.225

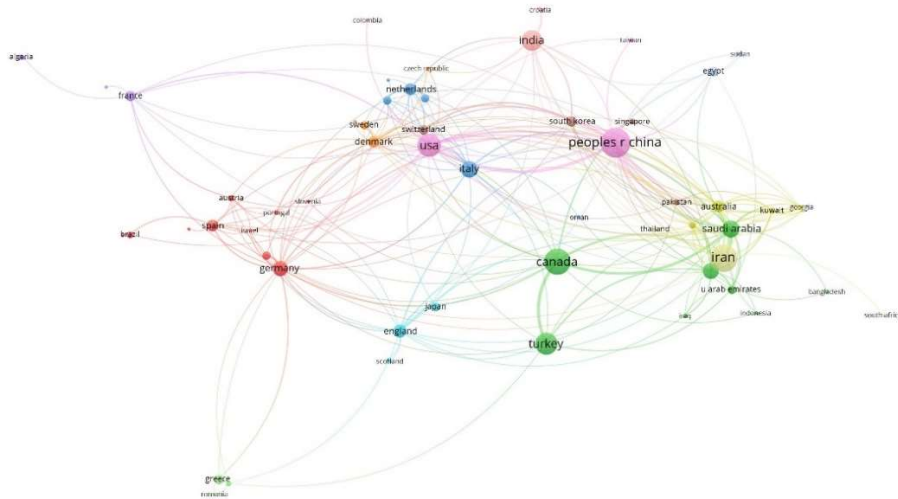
Tablo 1.4 Ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi (devamı)

Journal of Cleaner Production	467	2.183
Energies	459	2.145
International Journal of Energy Research	394	1.841

Web of Science veri tabanında ekserji alanında en çok atıf almış 1000 çalışma incelendiğinde toplam 73 ülke görülmektedir. Tablo 1.5'te en çok atıf almış 1000 çalışmanın ait olduğu ülkeler içinde en çok atıfa sahip ilk beş ülke görülmektedir.

Tablo 1.5 En çok atıf almış 5 ülke

Ülke	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı
Çin Halk Cumhuriyeti	161	20771
Kanada	127	19793
ABD	104	16995
İran	136	16515
Türkiye	91	12288



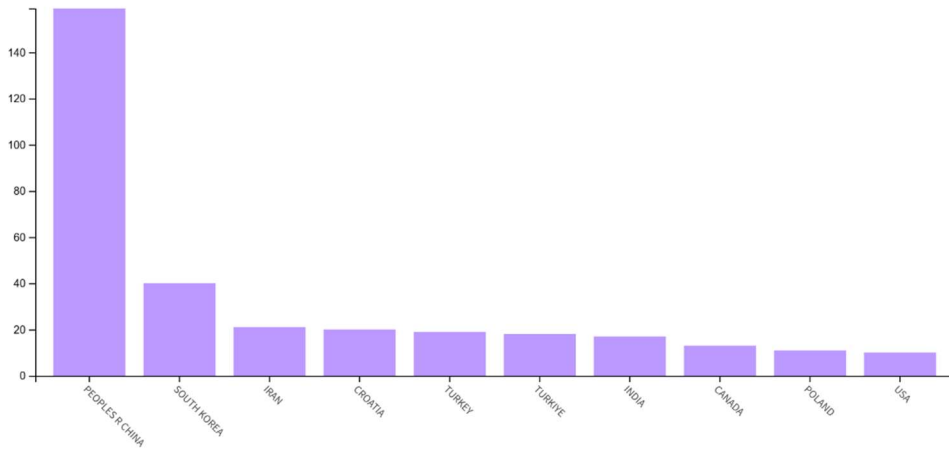
Şekil 1.5 Ülkelerin bağlantıları

Web of Science veri tabanında ekserji alanında en çok atıf almış 1000 çalışmanın birbirleriyle olan bağlantıları, VOSviewer programı kullanılarak

Tablo 1.6’da gemi ve ekserji kelimeleri kullanılarak yapılan arama sonucunda ulaşılan yayınların yıllara göre dağılımları ve yüzdeleri görülmektedir.

Tablo 1.6 Som 10 yıla göre yayın sayıları ve yüzdeleri

Yayın Yılı	Yayın Sayısı	Yüzdesi
2025	26	7.163
2024	42	11.570
2023	41	11.295
2022	46	12.672
2021	41	11.295
2020	37	10.193
2019	26	7.163
2018	27	7.438
2017	18	4.959
2016	14	3.857
2015	9	2.479



Şekil 1.8 En çok yayını olan ilk 10 ülke

Web of Science veri tabanında gemi ve ekserji alanında çalışması bulunan toplam 53 ülke görülmektedir. Şekil 1.8’de ekserji alanında en çok yayın çıkaran ilk on ülke görülmektedir. Tablo 1.7’de ekserji alanında en çok yayın çıkaran ilk 10 ülke ve bu ülkelerin yayınlarının toplam yayınlara göre yüzdeleri görülmektedir. Gemi

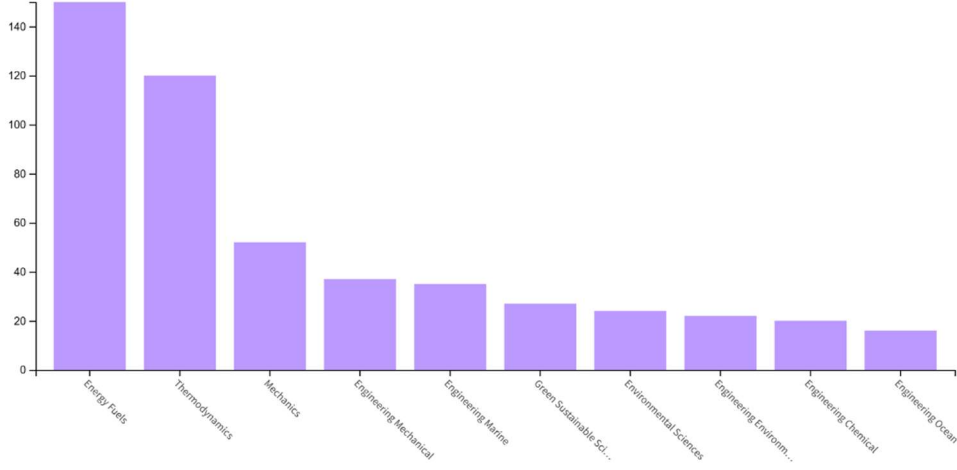
ve ekserji alanın en çok yayını bulunan ülke, ekserji alanında olduğu gibi, toplam 46 adet çalışma ile Çin Halk Cumhuriyetidir. İkinci sırada 17 yayını ile Türkiye yer almaktadır.

Tablo 1.7 En çok yayını olan ilk 10 ülke

Ülke	Yayın sayısı	Yüzdesi
Çin Halk Cumhuriyeti	99	35.740
Türkiye	37	12.635
Güney Kore	35	6.859
Hindistan	17	6.498
İran	17	6.137
Hırvatistan	11	6.137
İngiltere	9	3.971
İtalya	8	3.249
Suudi Arabistan	8	2.888
Singapur	8	2.888

Şekil 1.9’da yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi ve bu kategorilere girmiş olan toplam yayın sayıları görülmektedir. Tablo 1.8’de aynı şekilde yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi ve bu kategorilere girmiş olan toplam yayın sayıları görülmektedir.

Toplamda 37 WoS kategorisi arasında en çok ekserji çalışması bulunan enerji yakıtları alanı olduğu görülmektedir. Enerji yakıtları kategorisine dahil olan yayın sayısı 150 olarak görülmekte ve toplam yayınların yarısından fazlası bu kategoriye dahil olmuştur.



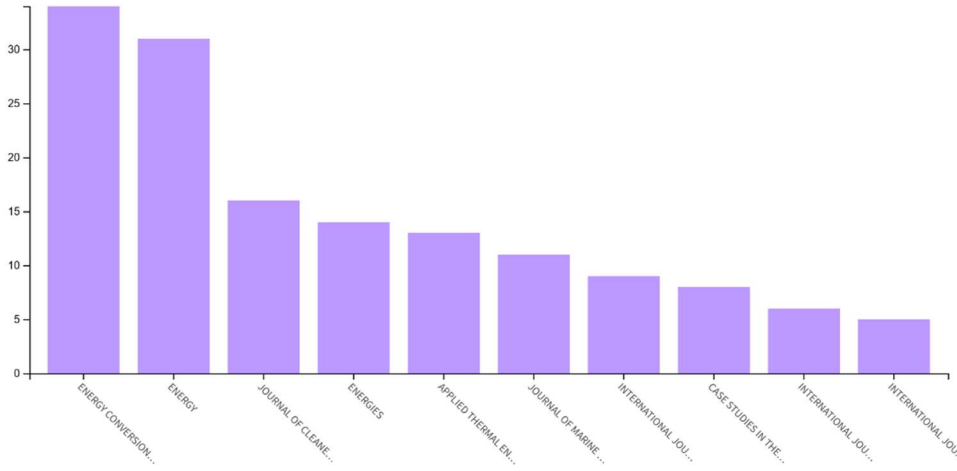
Şekil 1.9 Yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi

Tablo 1.8 Yayınların en çok dahil olduğu 10 WoS kategorisi

WoS Kategorisi	Yayın sayısı	Yüzdesi
Enerji Yakıtları	150	54.152
Termodinamik	120	43.321
Mekanik	52	18.773
Mühendislik Mekanik	37	13.357
Mühendislik Denizcilik	35	12.635
Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknoloji	27	9.747
Çevre Bilimleri	24	8.664
Mühendislik Çevre	22	7.942
Mühendislik Kimyasal	20	7.220
Mühendislik Deniz	16	5.776

Şekil 1.10’da ve Tablo 1.9’da gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi görülmektedir. WoS veri tabanında gemi ve ekserji çalışması bulunan toplam 73 dergi yer almaktadır. Toplam 34 adet yayın ile ekserji alanında en çok çıkarmış dergi olarak Energy Conversion and Management dergisi görülmektedir. Gemi ve

ekserji alanında yayınların neredeyse tamamı İngilizcedir ve bu çalışmaların %90'ından fazlası makale ve derlemedir.



Şekil 1.10 Gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 dergi

Tablo 1.9 incelendiğinde gemi ve ekserji alanında yapılmış çalışmaların yarısından fazlasının ilgili alanda en çok yayını bulunan 10 dergide bulunduğu görülmektedir. İlk iki sırada yer alan dergilerin toplam yayın ve yüzdesel olarak diğer dergilere göre çok daha fazla yayın çıkardığı görülmektedir.

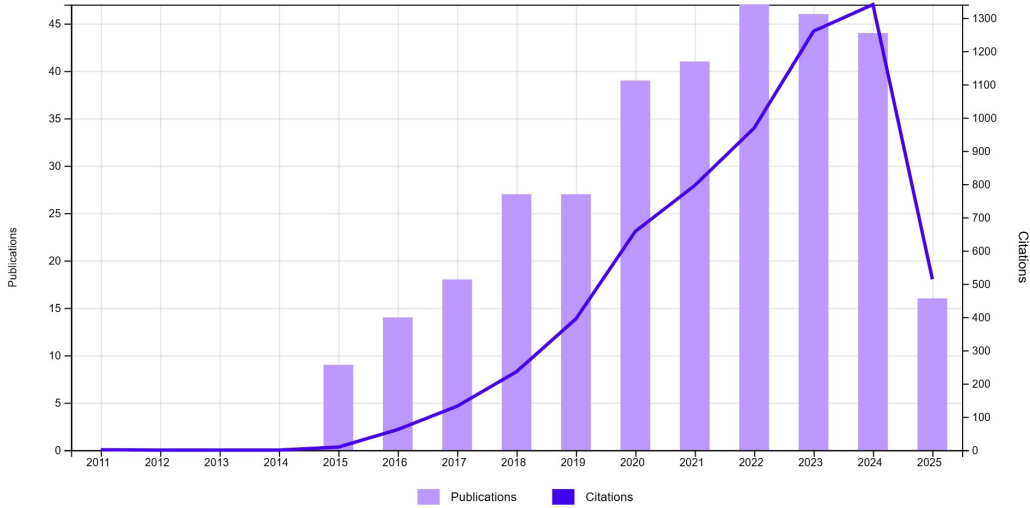
Tablo 1.9 Gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 derginin yayın sayıları ve yüzdeleri

Dergi İsmi	Yayın sayısı	Yüzdesi
Energy Conversion and Management	34	12.274
Energy	31	11.191
Journal of Cleaner Production	16	5.776
Energies	14	5.054
Applied Thermal Engineering	13	4.693
Journal of Marine Science And Engineering	11	3.971
International Journal of Hydrogen Energy	9	3.249

Tablo 1.9 Gemi ve ekserji alanında en çok yayın yapmış ilk 10 derginin yayın sayıları ve yüzdeleri (devamı)

Case Studies in Thermal Engineering	8	2.888
International Journal of Exergy	6	2.166
International Journal of Energy Research	5	1.805

Şekil 1.11’de gemi ve ekserji alanında 2011 yılından itibaren yapılan çalışmaların sayıları ve çalışmaların aldığı atıfların sayıları görülmektedir. Yayın sayılarını 2022 yılında en yüksek olduğu ve aynı yıl 969 atıf gerçekleştiği görülmektedir. 2024 yılında ise 42 yayın olduğu ve toplam atıf sayısının 1340’a ulaştığı görülmektedir.



Şekil 1.11 Yıllara göre yayınların ve atıfların dağılımı

Tablo 1.10’da gemi ve ekserji alanında en çok yayını bulunan ilk 5 ülkenin yayın sayıları ve aldıkları atıf sayıları görülmektedir. 45 yayın ile ilk sırada Çin Halk Cumhuriyeti yer almaktadır. Türkiye 16 yayın ile Güney Kore ile ikinciliği paylaşmaktadır. Ancak atıf sayılarına göre sıralama yapılırsa ise Türkiye 12. Sırada yer almaktadır.

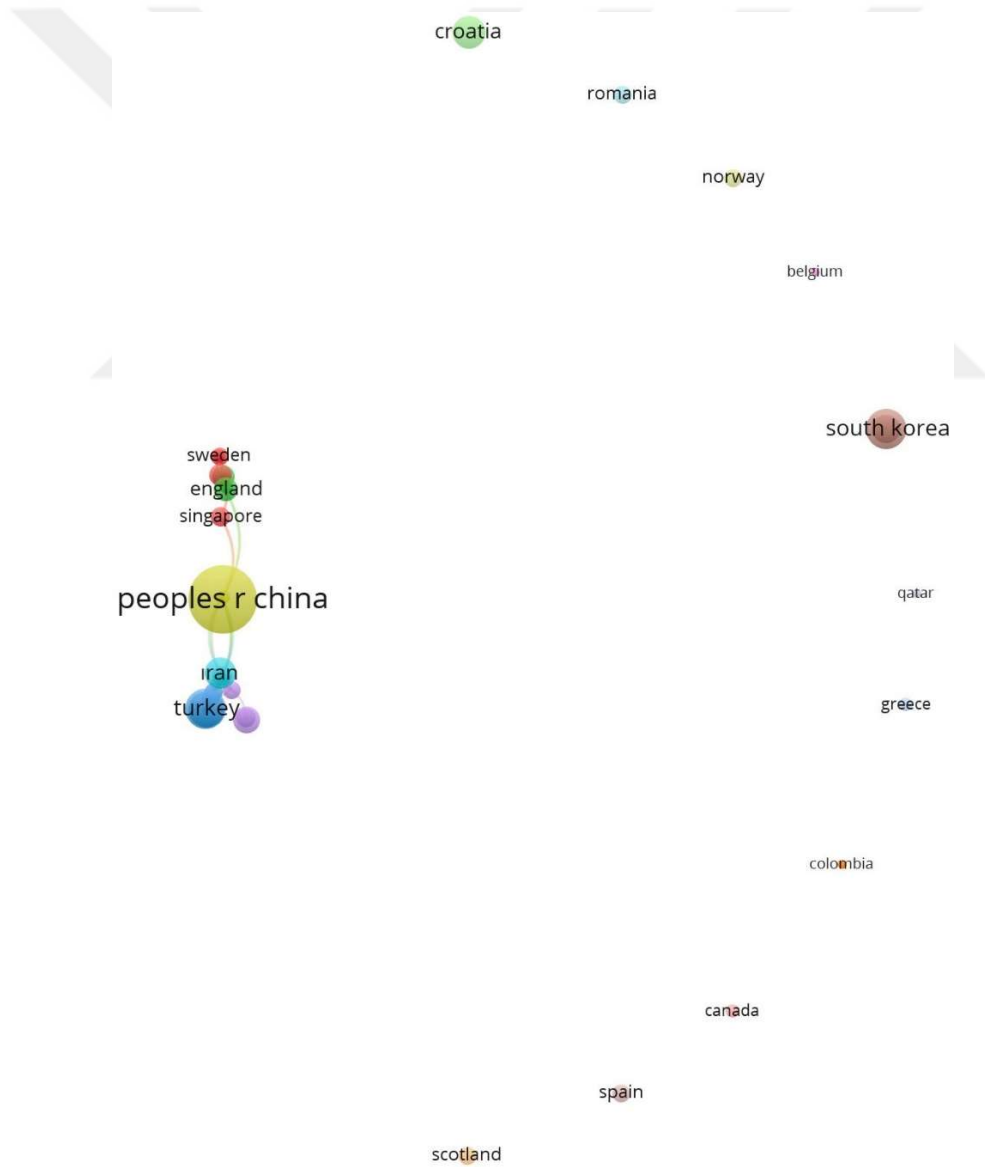
Tablo 1.10 En çok yayını bulunan 5 ülke

Ülke	Yayın Sayısı	Atıf Sayısı
Çin Halk Cumhuriyeti	45	575

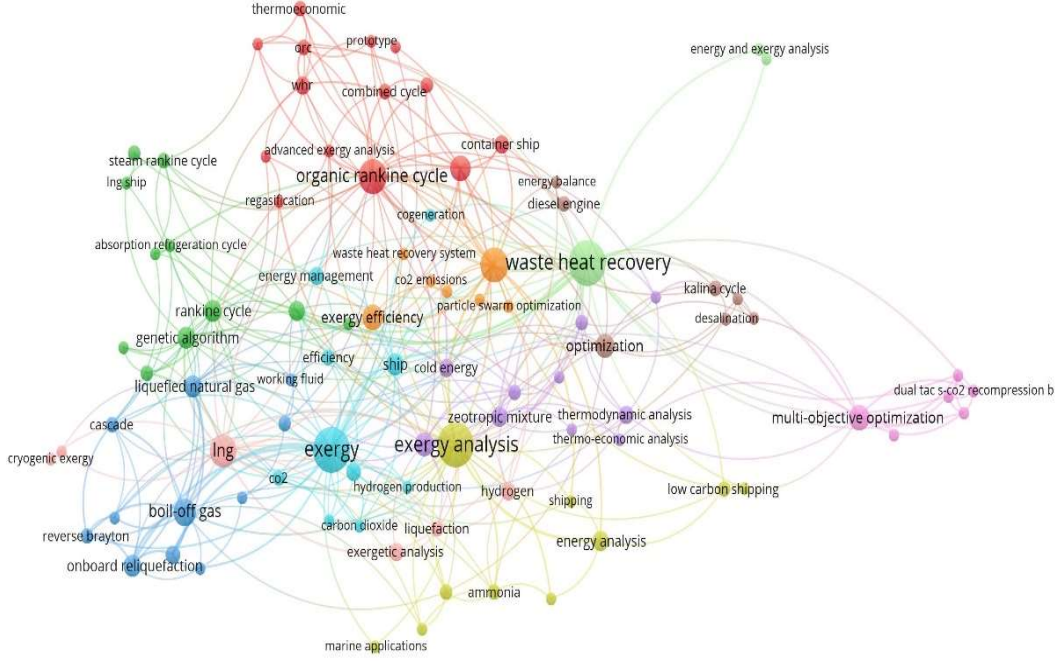
Tablo 1.10 En çok yayını bulunan 5 ülke (devamı)

Güney Kore	16	205
Türkiye	16	87
Hindistan	12	123
Hırvatistan	11	143

Şekil 1.12’de gemi ve ekserji alanında yayını bulunan tüm ülkelerin birbirleriyle olan bağlantısı görülmektedir. Toplam 39 ülkeden 24’ü birbiriyle bağlantı içindeyken Şekil 1.12’de görüldüğü gibi bazı ülkelerin bağlantısı yoktur.



Şekil 1.12 Gemi ve ekserji alanında yayını bulunan tüm ülkelerin bağlantısı



Şekil 1.15 En az 2 kez kullanılmış anahtar kelimeler

Şekil 1.15'te en az iki kez kullanılmış anahtar kelimeler ve bağlantıları görülmektedir. Tablo 1.11'de gemi ve ekserji alanında en çok kullanılmış 5 anahtar kelime görülmektedir.

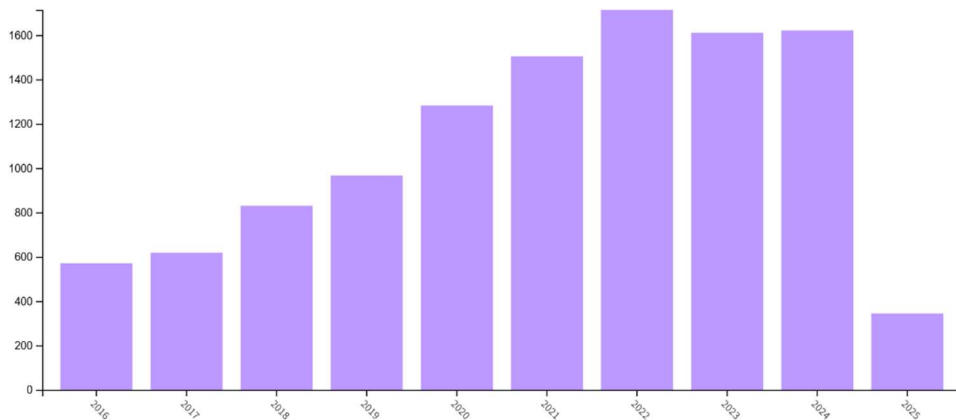
Tablo 1.11 En çok kullanılmış 5 anahtar kelime

Anahtar Kelime	Sayısı
Ekserji	25
Atık Isı Geri Kazanımı	25
Ekserji Analizi	24
Enerji Verimliliği	14
Organik Rankine Çevrimi	14

En çok kullanılmış 5 anahtar kelime incelendiğinde ekserji ve ekserji analizi anahtar kelimelerin sık görülmesi beklenen bir durum olarak görülmektedir. Atık ısı geri kazanımı anahtar kelimesinin aynı seviyede kullanılmış olması konuya olan ilgili ortaya çıkarmaktadır.

1.4 Çok Kriterli Karar Verme Bibliyometrik Analizi

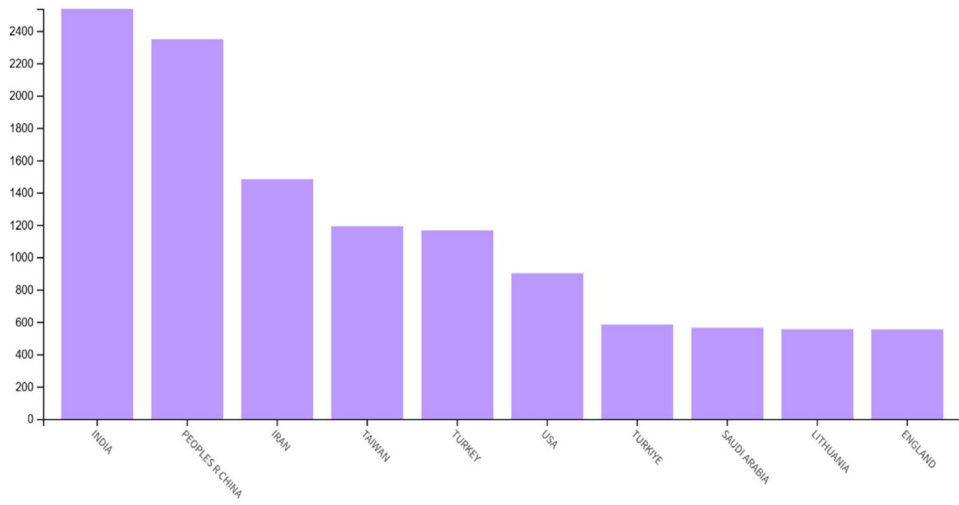
Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, farklı kriterleri dikkate alarak en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlayan analitik araçlar olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu yöntemlerin gelişimi, bilimsel literatürde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bibliyometrik analiz, ÇKKV yöntemlerinin tarihsel gelişimi, trendleri ve kullanım alanlarını inceleyerek araştırmacılar için kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır. Bu tür analizler, ÇKKV yöntemlerinin hangi disiplinlerde daha yaygın kullanıldığını, hangi konulara odaklandığını ve bilimsel üretkenliğin zaman içindeki değişimini ortaya koyarak, araştırmacılara yön gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır. Bibliyometrik analizlerin bir diğer önemli faydası, literatürdeki boşlukları ve gelecekteki araştırma fırsatlarını belirleme konusundaki katkılarıdır. ÇKKV ile ilgili yapılan bibliyometrik çalışmalar sayesinde, en çok kullanılan yöntemler, en fazla atıf alan çalışmalar ve uluslararası araştırma eğilimleri daha iyi anlaşılabilir. Bu sayede, ÇKKV yöntemlerinin uygulama alanları genişletilebilir ve yeni yaklaşımlar geliştirilebilir. Dolayısıyla, bibliyometrik analizlerin ÇKKV alanındaki çalışmalara sağladığı içgörüler, daha kapsamlı ve etkin karar destek sistemlerinin oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Bu sebeple, bu bölümde ÇKKV yöntemleri üzerine bibliyometrik analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde kullanılan veriler ‘Web of Science’ üzerinden Mart 2025’te elde edilmiştir.



Şekil 1.16 ÇKKV kullanılan yayınların yıllara göre dağılımı

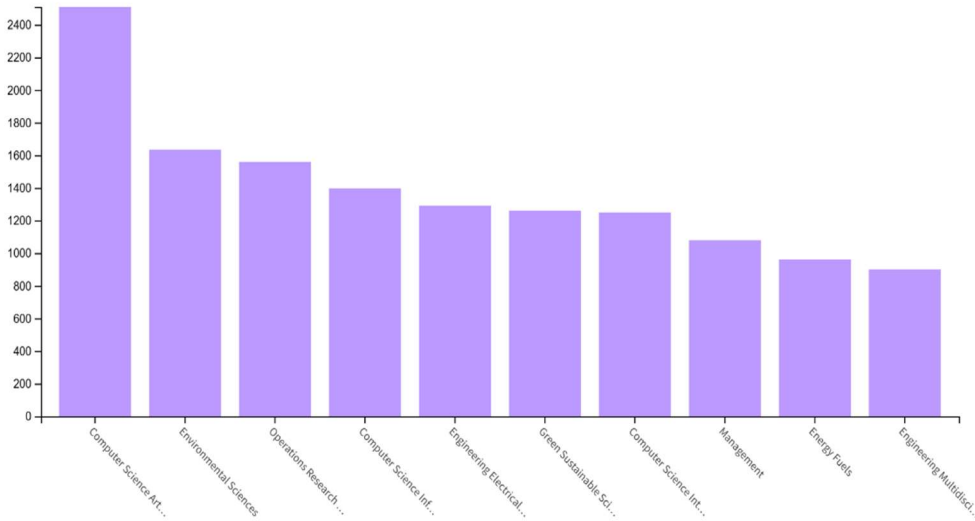
ÇKKV başlığında yapılan aramada toplam 14016 yayın bulunmuştur. Web of Science üzerinde yapılan arama ÇKKV'nin İngilizcesi MCDM ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.16'da son 10 yılda yapılan çalışmaların adet olarak

yıllara göre dağılımı görülmektedir. Yayın sayılarındaki artış bariz olarak görülmektedir.



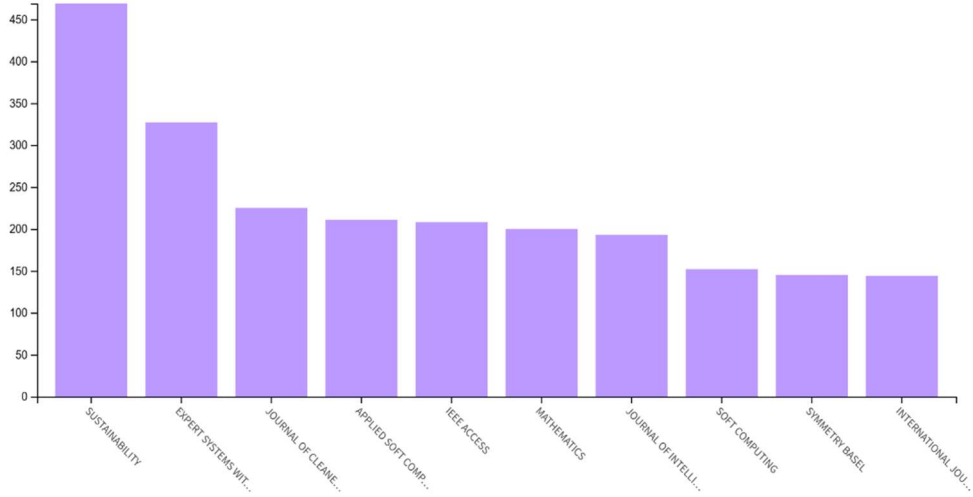
Şekil 1.17 ÇKKV alanında en çok yayın çıkarmış ilk 10 ülkeye göre dağılımı

Şekil 1.17’de en çok ÇKKV kullanılan yayın çıkarmış 10 ülke görülmektedir. İlk sırada 2537 yayın ile Hindistan, ikinci sırada 2348 yayın ile Çin, üçüncü sırada 1483 yayın ile İran ve 1166 yayın ile Türkiye 4. Sırada yer almaktadır.



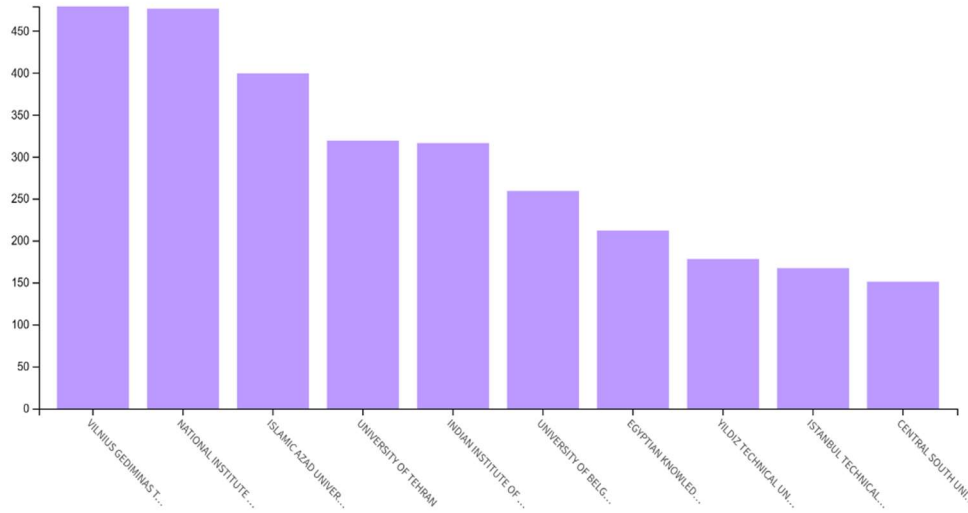
Şekil 1.18 ÇKKV kullanılan yayınların en çok dahil olduğu WOS kategorileri

Şekil 1.18 incelendiğinde, ilk sırada öne çıkan WoS kategorisi 2510 yayınlı Bilgisayar Bilimi Yapay Zeka olarak görülmektedir. Devamında sırasıyla 1634 ve 1559 yayın ile Çevre Bilimleri ve Operasyon Araştırması Yönetim Bilimi kategorileri yer almaktadır.



Şekil 1.19 ÇKKV alanında en çok yayın yapmış 10 dergi

Şekil 1.19’da ÇKKV alanında en çok yayın yapmış 10 dergi görülmektedir. İlk sırada 469 yayın ile ‘Sustainability’ dergisi yer almaktadır.



Şekil 1.20 ÇKKV alanında en çok yayın yapmış 10 kurum

Şekil 1.20’te ÇKKV alanında en çok makale yayınlamış 10 kurum görülmektedir. İlk sırada 479 yayın ile ‘Vilnius Gediminas Technical University’, Litvanya yer almaktadır. 178 yayın ile Yıldız Teknik Üniversitesi 8. Sırada, 167 yayın ile İstanbul Teknik Üniversitesi 9. sırada yer almaktadır.

Bu bölümde ÇKKV alanında en çok atıf almış 1000 yayın ve bağlantıları incelenmiştir. Bağlantı görselleştirmeleri VOSviewer programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Belirtilen yayınların özet bölümleri kelime odaklı incelendiğinde toplam 16546 kelime görülmektedir, en az 10 kez kullanılmış kelime sayısı ise 615'tir. Kullanılan görselleştirme programı bu kelimeleri alaka düzeyine göre sıralamış ve en alakalı 369 kelime seçilmiştir. Şekil 1.26'de yayınların özet bölümlerinde geçen bu 369 kelime ve bağlantıları görülmektedir. Şekil 1.26 incelendiğinde araştırma ve bilgi kelimelerinin öne çıktığı görülmektedir.

Tablo 1.12 En çok atıf almış 10 yayın

Yayın	Toplam Atıf
Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS [23]	2558
Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment [24]	2244
Best-worst multi-criteria decision-making method [25]	1689
Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making [26]	1300
A state-of-the-art survey of TOPSIS applications [27]	1162
Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review [28]	1137
A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management [29]	990
Extended VIKOR method in comparison with outranking methods [30]	940
Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems - The Critic Method [31]	924
Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model [32]	771

Tablo 1.12'de ÇKKV alanında yapılan tarama sonucunda en çok atıf almış 10 yayın ve atıf sayıları görülmektedir. Bu 10 yayın, çok kriterli karar verme alanında

yapılan çalışmalarda önemli bir yer tutmakta olup, özellikle enerji planlaması, tedarik zinciri yönetimi ve belirsizlik altındaki grup karar verme konularında önemli metodolojik katkılar sağlamaktadır. Yüksek atıf sayıları, bu çalışmaların akademik ve uygulamaya dayalı çalışmalarda ne kadar etkili ve referans alınan kaynaklar olduğunu göstermektedir. Karar vericiler ve araştırmacılar için bu yayınlar ÇKKV yöntemlerinin farklı alanlara nasıl uyarlandığını, avantajlarını ve sınırlılıklarını kavramada yol gösterici olabilmektedir.



2 MATERYAL VE YÖNTEM

ÇKKV yöntemleri, günümüzün karmaşık ve çok boyutlu problemlerin çözümünde, farklı kriterlerin aynı anda değerlendirilmesini sağlayan önemli analiz araçları arasında yer almaktadır. Bu yöntemler, yalnızca niceliksel verilerin değil, bulanık mantık dahil edilmesiyle birlikte niteliksel ve belirsizlik içeren bilgilerin de seçim sürecine dahil edilmesine olanak tanıyarak, karar vericilere kapsamlı ve dengeli çözümler sunar.

VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini ele alan çalışmalar, bu yöntemlerin farklı problem yapılarında uzlaşıya dayalı çözümler elde etme potansiyellerini ortaya koymaktadır [23]. Benzer şekilde, TOPSIS yönteminin belirsiz ortamlar ve grup karar verme süreçlerine uyarlanması, belirsizliklerin yönetilmesinde etkin bir yaklaşım sunmaktadır [24].

Ayrıca, alternatifler arasında çiftler arası karşılaştırmalar kullanılan yöntemler, daha az karmaşık veri setleriyle bile yüksek doğrulukta sonuçlar verebilmesiyle dikkat çekmektedir [25]. Enerji sektöründen tedarik zinciri yönetimine kadar pek çok alanda uygulamaları bulunan ÇKKV yöntemleri, sürdürülebilirlik, maliyet optimizasyonu ve kaynak yönetimi gibi kritik problemlerin çözümünde etkin bir rol oynamaktadır [26]

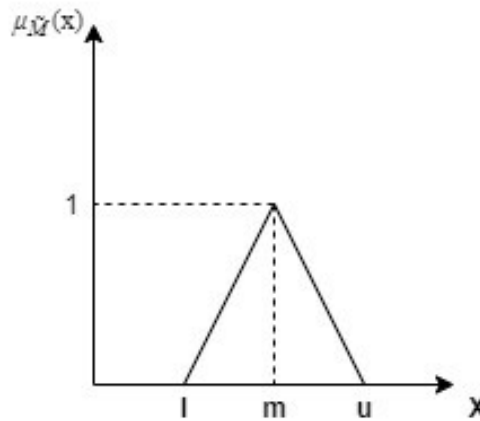
Bu bağlamda, mevcut literatür, çok sayıda ÇKKV yönteminin geliştirilmesi ve uygulanmasıyla, farklı sektörlerde karşılaşılan çok kriterli problemleri daha sistematik ve şeffaf bir şekilde ele alma imkânı sunduğunu göstermektedir. Böylece, karar vericiler hem teknik hem de ekonomik kriterleri göz önünde bulundurarak, en uygun alternatifleri belirleyebilmekte ve stratejik karar süreçlerinde daha bilinçli tercihler yapabilmektedirler.

2.1 Bulanık VİKOR Yöntemi

Konvansiyonel küme yaklaşımında kümedeki nesnelere, belirlenen özellikleri karşılayan ve karşılamayan nesnelere olarak sınıflandırılır. Yani kümenin üyeleri mantıktaki bölme kuralına göre belirlenir [33]. Fakat karar vericilerin görüş, tercih ve yaklaşımlarını soran gerçek hayat problemlerinin çözümlenmesinde ikiye ayırma yetersiz kalmaktadır. Çünkü karar vericilerin bakış açılarını ve önceliklerini ifade etmekte kararsız kalmaları yaygın bir durumdur. Zadeh [34] 1965 yılında bu tip belirsizlikleri çözüm sürecine katmak amacıyla bulanık küme teorisini önermiştir. Bulanık bir kümede nesnenin kümenin üyesi olup olmadığına dair kesin bir tanım yoktur. Bu tanımın temel dayanağı, herhangi bir varlığın bir dereceye kadar bir kümenin parçası olabileceğidir. Böyle bir kümede 0 ve 1 sırasıyla minimum ve maksimum üyelik derecelerini, aradaki değerler ise kısmi üyelik derecelerini ifade etmektedir [35]. Bulanık küme teorisinde kesin sayısal değerler yerine doğal dildeki ifadeleri içeren dilsel değişkenler kullanılır [36]. Analizler bu değişkenlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi ile yapılır. Literatürde farklı türde bulanık üyelik fonksiyonları mevcuttur. Bu tez çalışmasında kullanılan VİKOR yönteminde üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır.

Şekil 2.1'de, $\tilde{M} = (l, m, u)$ olarak ifade edilen ve aşağıdaki gibi tanımlanan üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonunu göstermektedir:

$$\mu_{\tilde{M}}(x): R \rightarrow [0,1]$$
$$\mu_{\tilde{M}}(x) = f(x) = \begin{cases} 0, & x < l \text{ or } x > u \\ (x - l)/(m - l), & l \leq x \leq m \\ (x - u)/(m - u), & m \leq x \leq u \end{cases} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonu

Şekil 2.'de l , m ve u , \tilde{M} bulanık sayısının sırasıyla alt, orta ve üst değerlerini ifade etmektedir. M_1 ve M_2 gibi iki pozitif üçgen bulanık sayı için temel aritmetik işlemler Denklem 2.2'de belirtildiği gibi gerçekleştirilir [37].

$$\begin{aligned}
M_1 \oplus M_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2), \\
M_1 \otimes M_2 &\approx (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2), \\
\lambda \otimes M_1 &= (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \quad \lambda > 0, \lambda \in R \\
M_1^{-1} &\approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)
\end{aligned} \tag{2.2}$$

ÇKKV yöntemleri arasında yer alan VIKOR (VIseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu Opricovic tarafından sunulmuştur. Metodun odak noktası, alternatifleri birbiriyle çelişen kriterlere göre listelemek ve en kabul edilebilir alternatifin seçilmesini sağlamaktır [38]. Bu yaklaşımın amacı karar vermede uzlaşık bir çözüm ortaya koymaktır. İlk olarak Yu [39] tarafından sunulan uzlaşık çözüm görüşü, optimal çözüme yakınlık seviyesinin ölçülmesine dayanmaktadır. VIKOR yaklaşımı da benzer bir temel üzerine dayalı çok kriterli sıralama endeksi kullanır [40]. Standart ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi VIKOR metodunda da kriterlerin ağırlıklarının tam olarak bilindiği kabul edilmektedir. Fakat gerçek hayattaki çoğu meselede kesin değerlere ulaşmak zordur. İnsanların tercihlerine bağlı kararları genellikle belirsizdir ve bu da net sayısal değerlerle ifade edilmesini zorlaştırır. Bu çeşit çözüm süreçlerine karar vericinin yanlış veya kesin olmayan bilgileri de göz önünde bulundurması gerekir. Belirsiz bilgileri çözüm sürecine dahil etme yollarından biri de dilsel değerlendirmelerden yararlanmaktır [41]. Bu süreçte izlenen adımlar aşağıda belirtildiği gibidir [41], [42]:

Adım 1: Karar vericiler belirlenir; değerlendirme aşamasında kullanılacak kriterler ve arasından seçim yapılabilecek alternatifler belirlenir. n adet karar vericinin, m adet alternatifin ve k adet değerlendirme kriterinin olduğu kabul edilmektedir.

Adım 2: Dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen bulanık sayılar belirlenir. Grup, kriterlerin ağırlıklarını ve alternatiflerin derecelerini değerlendirmek için belirlenen bu dilsel değişkenleri kullanır.

Tablo 2.1 Ağırlıklar için bulanık değerlendirme puanları [42]

Dilsel değişkenler	Bulanık sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.25)
Düşük (D)	(0.00, 0.25, 0.50)
Orta (O)	(0.25, 0.50, 0.75)
Yüksek (Y)	(0.50, 0.75, 1.00)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.75, 1.00, 1.00)

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de sırasıyla kriterlerin ağırlıklarını ve alternatiflerin derecelerini belirlemek için karar vericilerin kullandıkları dilsel değişkenleri ve bu değişkenlere karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar verilmiştir.

Tablo 2.2 Alternatifler için bulanık değerlendirme puanları [42]

Dilsel değişkenler	Bulanık sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0.00, 0.00, 2.50)
Kötü (K)	(0.00, 2.50, 5.00)
Orta (O)	(2.50, 5.00, 7.50)
İyi (İ)	(5.00, 7.50, 10.00)
Çok İyi (Çİ)	(7.50, 10.00, 10.00)

Adım 3: Her bir karar vericinin yaptığı seçimler birleştirilir. Her bir kriterin entegre bulanık ağırlığı aşağıda verilen Denklem 2.3 ile belirlenir. Burada n karar vericilerin sayısını göstermektedir.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} \left[\sum_{e=1}^n \tilde{w}_j^e \right] \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2.3)$$

Her alternatifin j 'inci kritere göre entegre bulanık derecelendirmeleri aşağıdaki şekilde hesaplanır. Burada m alternatiflerin sayısıdır.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{n} \left[\sum_{e=1}^n \tilde{x}_{ij}^e \right] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.4)$$

Adım 4: Bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_k \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.5)$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_k], \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2.6)$$

Burada \tilde{x}_{ij} , C_i kriterine göre A_i alternatifinin derecesidir; \tilde{w}_j j 'inci kriterin önem ağırlığıdır.

Adım 5: Denklem 2.7 ile her bir kriter için bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-) elde edilir.

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (2.7)$$

Adım 6: Denklemler yardımıyla \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri belirlenir. Denklem 2.8-9

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^k \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad (2.8)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (2.9)$$

\tilde{S}_i , kriter değerlerinin A_i alternatifinin bulanık en iyi değerine olan uzaklıklarının toplamıdır. \tilde{R}_i , herhangi bir kriter için A_i alternatifinin bulanık en iyi değerden maksimum uzaklığı ifade eder. Farklı bir tabir ile \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri sırasıyla A_i alternatifinin toplam ve en kötü derecelendirmelerini belirtmektedir.

Adım 7: \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* , \tilde{R}^- ve \tilde{Q}_i değerleri Denklem 2.10-12'ye göre hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (2.10)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (2.11)$$

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1 - v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (2.12)$$

Denklem 2.12’de \tilde{S}^* maksimum grup faydası, \tilde{R}^* ise alternatiflerin minimum en kötü derecesidir. \tilde{Q}_i , grup faydası ve minimum en kötü derecesi birlikte değerlendirilerek hesaplanır. Buradaki v değeri maksimum grup fayda stratejisinin ağırlığıdır.

Adım 8: \tilde{Q}_i üçgensel bulanık sayısı bulanıksızlaştırılır ve Q_i endeksi belirlenir. Çalışmanın bulanıksızlaştırma işlemi Hsieh vd. [43] tarafından sunulan En İyi Bulanık Olmayan Performans Değeri metodu kullanılarak Denklem 2.13’te verildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$BNP_i = [(u_i - l_i) + (m_i - l_i)/3] + l_i \quad \forall_i] \quad (2.13)$$

Alternatiflerin sıralanmasında Q_i indeksi kullanılır ve en düşük değer en iyi alternatifi gösterir.

Adım 9: Uzlaşık çözümün belirlenmesi. Tek bir optimal çözüme ulaşmak için aşağıdaki iki koşulun karşılanması gerekir. (a')

1. Koşul: Kabul edilebilir avantaj:

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (2.14)$$

Denklem 2.14’te a' ve a'' değerleri Q değeri sıralamasında birinci ve ikinci sırada yer alan alternatiflerdir.

$$DQ = \frac{1}{m-1} \quad (\text{if } m \leq 4, \text{ then } DQ = 0.25) \quad (2.15)$$

2. Koşul: Karar vermede tatmin edici istikrar: Alternatif a' , S ve/veya R değerlerine göre sıralama için en iyi seçenek olmalıdır.

Eğer $Q(a^{(m)}) - Q(a') < DQ$ ve ilk koşul karşılanmazsa, o zaman $a^{(m)}$ ve benzer uzlaşmacı çözümlerdir. Uzlaşmacı çözümler ($a', a'', \dots, a^{(m)}$) benzer olduğundan, a' 'nin karşılaştırmalı üstünlüğü yoktur. İkinci koşul sağlanamıyorsa, a' kabul edilebilir bir üstünlüğe sahip olsa bile karar vermede istikrar sağlanamaz. Bu sebeple a' ve a'' uzlaşmacı çözümleri benzerdir.

Adım 10: En iyi seçeneğin seçilmesi: En düşük Q_i değerine sahip seçenek en iyi karar olarak belirlenir.

2.2 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) yöntemi, ÇKKV problemlerinde kullanılan etkili bir sıralama ve eleme tekniğidir. Karar vericilere, alternatifler arasında güçlü ve zayıf yönleri belirleme imkânı sunarak, daha rasyonel ve güvenilir kararlar almalarına yardımcı olur. ELECTRE yöntemi, özellikle karmaşık karar problemlerinde tercih edilen bir yaklaşım olup, üstünlük ve eşik değerleri kullanarak alternatifleri karşılaştırır ve sıralama yapar. Böylece, sadece tek bir kritere dayalı seçim yapmak yerine, çok sayıda faktörün dikkate alındığı kapsamlı bir değerlendirme süreci sunar. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri, çelişkili kriterlerin birlikte değerlendirilebilmesine olanak tanımasıdır. Özellikle enerji sistemleri, mühendislik uygulamaları, sürdürülebilirlik analizleri ve tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gemi makineleri sistemleri gibi teknik ve operasyonel açıdan çok sayıda değişkenin değerlendirildiği durumlarda, ELECTRE yöntemi, alternatifleri objektif bir şekilde sıralayarak karar sürecini daha sistematik hale getirmektedir. Bu tezde, gemi yardımcı sistemlerinde kritik öneme sahip makine ve bileşenlerin belirlenmesi amacıyla ELECTRE yöntemi uygulanmış ve teknik kriterler ışığında alternatifler değerlendirilmiştir.

2.2.1 Aralık Tipi-2 Bulanık Kümeler

Bu bölüm, Mendel vd. [44], Chen ve Lee [45], Celik vd. [46] ve Celik vd. [47] tarafından sunulan tip-2 bulanık kümelerin temel tanımlarına bir giriş niteliğindedir.

Tanım 1: Tanım 1'e göre, tip-2 bulanık küme \tilde{A} 'nın söylem evrenini temsil ettiği, X 'in bir tip-2 üyelik fonksiyonu ile ortaya çıkarılabileceği $\mu_{\tilde{A}}$, şu şekilde sunulmuştur:

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) | \forall x \in X, \forall u \in J_X \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1\} \quad (2.16)$$

Burada J_X bir aralığı temsil eder $[0, 1]$. Tip-2 bulanık küme \tilde{A} Denklem 2.17'deki gibi ifade edilebilir:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_X} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (2.17)$$

Burada $J_X \subseteq [0,1]$ ve \int kabul edilebilir bütün x ve u üzerindeki birliği ifade eder.

Tanım 2: $\tilde{\tilde{A}}$ tip-2 üyelik fonksiyonunun $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$ ile gösterilen X evreninde bir tip-2 bulanık küme ise ve bütün $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) = 1$, ise o zaman $\tilde{\tilde{A}}$ Aralık Tipi-2 Bulanık Küme (AT2BK) olarak adlandırılır. Bir AT2BK $\tilde{\tilde{A}}$ aşağıda gösterilen tip-2 bulanık kümenin özel bir durumu olarak kabul edilebilir:

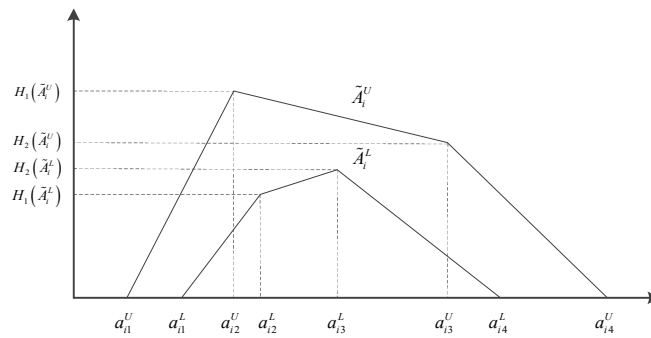
$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_X} 1/(x, u) \quad (2.18)$$

Denklem 2.18'de $J_X \subseteq [0,1]$

Tanım 3: Bir AT2BK'nin üst ve alt üyelik fonksiyonları, birer tip-1 üyelik fonksiyonlarıdır. Bu durumda Şekil 2. yamuk üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{\tilde{A}}_i^U, \tilde{\tilde{A}}_i^L) = \left(\left(a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^U), H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^U) \right), \left(a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^L), H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^L) \right) \right) \quad (2.19)$$

Denklem 2.19'da $\tilde{\tilde{A}}_i^U$ ve $\tilde{\tilde{A}}_i^L$ tip-1 bulanık kümelerdir. $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L$ ve a_{i4}^L tip-2 bulanık $\tilde{\tilde{A}}_i$ aralığının referans noktalarıdır; $H_j(\tilde{\tilde{A}}_i^U)$ üst yamuk üyelik fonksiyonu $\tilde{\tilde{A}}_i^U$ 'da $a_{i(j+1)}^U$ öğesinin üyelik değerini sunar; $1 \leq j \leq 2$, $H_j(\tilde{\tilde{A}}_i^L)$ alt yamuk üyelik fonksiyonu $\tilde{\tilde{A}}_i^L$ 'deki $a_{i(j+1)}^L$ öğesinin üyelik değerini belirtir; $1 \leq j \leq 2$, $H_j(\tilde{\tilde{A}}_i^L), H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^U) \in [0,1], H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^U) \in [0,1], H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^L) \in [0,1], H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^L) \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq n$ 'dir.



Şekil 2.2 Aralık Tipi-2 Bulanık Küme

Tanım 4: AT2BK \tilde{A}_i 'nin sıralama değeri $Rank(\tilde{A}_i)$ aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned}
Rank(\tilde{A}_i) = & M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) \\
& + M_2(\tilde{A}_i^L) + M_3(\tilde{A}_i^U) + M_3(\tilde{A}_i^L) \\
& - \frac{1}{4} \left(S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + \right. \\
& \left. S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L) + S_4(\tilde{A}_i^U) + S_4(\tilde{A}_i^L) \right) \\
& + H_1(\tilde{A}_i^U) + H_1(\tilde{A}_i^L) + H_2(\tilde{A}_i^U) + H_2(\tilde{A}_i^L)
\end{aligned} \quad (2.20)$$

Burada $M_p(\tilde{A}_i^j)$, a_{ip}^j ve $a_{i(p+1)}^j$ elemanların ortalamasını ifade eder, $M_p(\tilde{A}_i^j) = (a_{ip}^j + a_{i(p+1)}^j) / 2, 1 \leq p \leq 3$, ; $S_q(\tilde{A}_i^j)$, a_{iq}^j ve $a_{i(q+1)}^j$ elemanların standart sapmasını belirtir, $S_q(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} (a_{ik}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j)^2}$, $1 \leq q \leq 3$; $S_4(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i1}^j, a_{i2}^j, a_{i3}^j, a_{i4}^j$ elemanlarının standart sapmasını belirtir, $S_4(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 (a_{ik}^j - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 a_{ik}^j)^2}$; $H_p(\tilde{A}_i^j)$, $a_{i(p+1)}^j$ elemanının yamuk üyelik fonksiyonu $\tilde{A}_i^j, 1 \leq p \leq 3, j \in \{U, L\}$ ve $1 \leq i \leq n$ 'daki üyelik değerini tanımlar.

2.2.2 Aralık Tipi-2 Bulanık Kümelere Dayalı ELECTRE

ELECTRE (ÉLimation Et Choix Traduisant la REalité), Benayoun vd. tarafından geliştirilen üstün karar verme yöntemlerinden biridir [48]. Ancak yapılan çalışmalar, klasik ELECTRE yönteminin karmaşık karar verme durumlarını çözmeye başarılı olamayacağını göstermiştir. Bu nedenle, Sevklı [49] ve Hatami-Marbini ve Tavana [50] bu yöntemi bulanık mantık ve ELECTRE'nin önerilen bulanık uzantısı ile birleştirmişlerdir. Ayrıca, Chen [51] belirli mesafeyi kullanarak AT2BK'lere dayalı olarak ELECTRE'yi geliştirmiştir. Bu yöntem yamuk bulanık sayılara dayalı ELECTRE ile karşılaştırıldı. Çelik vd. [52] lojistik hizmet sağlayıcılarının çevresel uyumlarını değerlendirmek için sıralama yaklaşımını kullanarak AT2BK'lere dayalı ELECTRE'yi uygulamıştır. MCDM yaklaşımı olarak farklı bölümlere uygulanmıştır [53]. AT2BK'lere dayalı ELECTRE'nin temel adımları aşağıda sunulmuştur:

Bir X set alternatif olduğu varsayılmıştır $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, bir dizi C kriteri $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ ve k sayıda karar verici D_1, D_2, \dots, D_k .

Adım 1: k sayıda karar verici olduğu ve her bir kritere göre alternatiflerin derecesinin aşağıdaki formülle hesaplanabileceği varsayılmıştır:

$$E_k = (\tilde{c}_{ij}^k)_{n \times m} = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \cdots & c_m \\ x_1 & \tilde{c}_{11}^k & \tilde{c}_{12}^k & \cdots & \tilde{c}_{1m}^k \\ x_2 & \tilde{c}_{21}^k & \tilde{c}_{22}^k & \cdots & \tilde{c}_{2m}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & \tilde{c}_{n1}^k & \tilde{c}_{n2}^k & \cdots & \tilde{c}_{nm}^k \end{matrix} \quad (2.21)$$

$$\bar{E} = (\tilde{c}_{ij})_{n \times m} \quad (2.22)$$

Burada $\tilde{c}_{ij} = \left(\frac{\tilde{c}_{ij}^1 + \tilde{c}_{ij}^2 + \dots + \tilde{c}_{ij}^k}{k} \right)$, \tilde{c}_{ij} bir AT2BK $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, 1 \leq p \leq k$ ve k karar vericileri temsil eder.

Adım 2: k. karar vericinin kriterlerinin ağırlık matrisi W_k , Denklem 2.23 kullanılarak elde edilir.

$$W_k = (\tilde{w}_i^k)_{1 \times m} = \begin{matrix} c_1 & c_2 & \cdots & c_m \\ [\tilde{w}_1^k & \tilde{w}_2^k & \cdots & \tilde{w}_m^k] \end{matrix} \quad (2.23)$$

$$\bar{W} = (\tilde{w}_i)_{1 \times m} \quad (2.24)$$

Adım 3: $\tilde{c}_{ij} = \left(\left(c_{11}^U, c_{12}^U, c_{13}^U, c_{14}^U; H_1(\tilde{C}_1^U), H_2(\tilde{C}_1^U) \right), \left(c_{11}^L, c_{12}^L, c_{13}^L, c_{14}^L; H_1(\tilde{C}_1^L), H_2(\tilde{C}_1^L) \right) \right)$; normalleştirilmiş faydalı

kriter aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\left(\frac{c_{11}^U}{c^{U*}}, \frac{c_{12}^U}{c^{U*}}, \frac{c_{13}^U}{c^{U*}}, \frac{c_{14}^U}{c^{U*}}; H_1(\tilde{C}_1^U), H_2(\tilde{C}_1^U) \right), \left(\frac{c_{11}^L}{c^{L*}}, \frac{c_{12}^L}{c^{L*}}, \frac{c_{13}^L}{c^{L*}}, \frac{c_{14}^L}{c^{L*}}; H_1(\tilde{C}_1^L), H_2(\tilde{C}_1^L) \right) \right) \quad (2.25)$$

Burada $c^{U*} = \text{Max } c_{ij}^U$ ve $c^{L*} = \text{Max } c_{ij}^L$

Adım 4: Ağırlıklı karar matrisi Denklem 2.26 ile hesaplanabilir.

$$\bar{G}_w = (\tilde{v}_{ij})_{n \times m} = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \cdots & c_m \\ x_1 & \tilde{v}_{11}^k & \tilde{v}_{12}^k & \cdots & \tilde{v}_{1m}^k \\ x_2 & \tilde{v}_{21}^k & \tilde{v}_{22}^k & \cdots & \tilde{v}_{2m}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & \tilde{v}_{n1}^k & \tilde{v}_{n2}^k & \cdots & \tilde{v}_{nm}^k \end{matrix} \quad (2.26)$$

Denklem 2.26'da $\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_i \otimes \tilde{n}_{ij}$, $1 \leq i \leq m$ ve $1 \leq j \leq n$ 'dir.

Adım 5: Uyum ve uyumsuzluk AT2BK'leri, k ve l alternatiflerin her bir AT2BK çifti için belirlenir $k, l = 1, 2, \dots, n; l \neq k$. Mevcut AT2BK seti ($J = \{j | j = 1, 2, \dots, n\}$) uyum AT2BK \tilde{S}_{kl} ve uyumsuzluk AT2BK \tilde{D}_{kl} olmak üzere iki farklı gruba ayrılır.

$$\tilde{S}_{kl} = \left\{ \begin{matrix} j \left[\left[\left(v_{1kj}^U, v_{2kj}^U, v_{3kj}^U, v_{4kj}^U; H_1(\tilde{V}_1^U), H_2(\tilde{V}_1^U) \right), \right. \right. \\ \left. \left. \left(v_{1kj}^L, v_{2kj}^L, v_{3kj}^L, v_{4kj}^L; H_1(\tilde{V}_1^L), H_2(\tilde{V}_1^L) \right) \right] \right] \\ \geq \left[\left[\left(v_{1lj}^U, v_{2lj}^U, v_{3lj}^U, v_{4lj}^U; H_1(\tilde{V}_1^U), H_2(\tilde{V}_1^U) \right), \right. \right. \\ \left. \left. \left(v_{1lj}^L, v_{2lj}^L, v_{3lj}^L, v_{4lj}^L; H_1(\tilde{V}_1^L), H_2(\tilde{V}_1^L) \right) \right] \right] \end{matrix} \right\} \quad (2.27)$$

$$\tilde{D}_{kl} = \left\{ \begin{matrix} j \left[\left[\left(v_{1kj}^U, v_{2kj}^U, v_{3kj}^U, v_{4kj}^U; H_1(\tilde{V}_1^U), H_2(\tilde{V}_1^U) \right), \right. \right. \\ \left. \left. \left(v_{1kj}^L, v_{2kj}^L, v_{3kj}^L, v_{4kj}^L; H_1(\tilde{V}_1^L), H_2(\tilde{V}_1^L) \right) \right] \right] \\ < \left[\left[\left(v_{1lj}^U, v_{2lj}^U, v_{3lj}^U, v_{4lj}^U; H_1(\tilde{V}_1^U), H_2(\tilde{V}_1^U) \right), \right. \right. \\ \left. \left. \left(v_{1lj}^L, v_{2lj}^L, v_{3lj}^L, v_{4lj}^L; H_1(\tilde{V}_1^L), H_2(\tilde{V}_1^L) \right) \right] \right] \end{matrix} \right\} \quad (2.28)$$

Adım 6: AT2BK indeksinin uyumluluğu, seti oluşturan AT2BK'lerin toplam ağırlığı $\bar{W} = (\tilde{w}_i)_{1 \times m}$ şeklinde hesaplanır. AT2BK indeksi $\tilde{I}_{k,l}$ 'nin x_k ve x_l arasındaki uygunluğu aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{I}_{k,l} = \sum_{j \in S_{k,l}} \bar{W} \quad (2.29)$$

$\tilde{I}_{k,l}$ x_k 'nin x_l 'ye göre üstünlüğünü ve uygunluğunu gösterir. Uyum matrisi ($\tilde{I}_{k,l}$) aşağıdaki şekildedir.

$$\tilde{I} = \begin{vmatrix} - & \tilde{I}_{1,2} & \cdots & \tilde{I}_{1,n} \\ \tilde{I}_{2,1} & - & \cdots & \tilde{I}_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{I}_{n,1} & \cdots & \tilde{I}_{n,(n-1)} & - \end{vmatrix} \quad (2.30)$$

Adım 7: Bu adımda uyumsuzluk matrisi hesaplanır. $N\tilde{I}_{k,l}$, x_l 'nin x_k 'ye göre çok daha iyi olduğunu temsil eder. $N\tilde{I}_{k,l}$ indeksi, aşağıda verilen Denklem 2.31 ile, \tilde{Y}_w matrisinin üyeleri kullanılarak Tanım 4'e göre hesaplanır.

$$N\tilde{I}_{k,l} = \frac{\text{Rank}(\sum_{j^* \in \tilde{D}} |\tilde{v}_k - \tilde{v}_l|)}{\text{Rank}(\sum_{j \in J} |\tilde{v}_k - \tilde{v}_l|)} \quad (2.31)$$

Son olarak, alternatiflerin tüm ikili karşılaştırmaları net bir sayıya dönüştürülür.

$$N\tilde{I} = \begin{vmatrix} - & N\tilde{I}_{1,2} & N\tilde{I}_{1,3} & \cdots & N\tilde{I}_{1,n} \\ N\tilde{I}_{2,1} & - & \cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N\tilde{I}_{n,1} & N\tilde{I}_{n,2} & \cdots & N\tilde{I}_{n,(n-1)} & - \end{vmatrix} \quad (2.32)$$

Adım 8: Etkin uyum matrisi F oluşturulur. $\tilde{I}_{k,l}$ değerleri bir eşik değer ile karşılaştırılır. Uyum endekslerinden her IT2FS indeksi \bar{I} 'nin ortalaması Denklem 2.33 ile hesaplanabilir:

$$\bar{I} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n [\tilde{I}_{k,l}] / n(n-1) \quad (2.33)$$

Minimum \bar{I} eşğine dayalı olarak, bileşenleri 0 ve 1 olan bir F matrisi belirlenir.

$$\begin{cases} f_{kl} = 1 & \text{if } \tilde{I}_{k,l} \geq \bar{I} \\ f_{kl} = 0 & \text{if } \tilde{I}_{k,l} < \bar{I} \end{cases} \quad (2.34)$$

F matrisindeki her bir eleman, diğer alternatiflere karşı etkili ve baskın bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Adım 9: En etkili uyumsuzluk (G) belirlenir. G, $\tilde{N}I_{k,l}$ 'değerine göre hesaplanır. $\bar{N}I$ değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\bar{N}I = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n [\tilde{\bar{N}}I_{k,l}] / n(n-1) \quad (2.35)$$

Sonrasında, Boole Matrisi G aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\begin{cases} g_{kl} = 1 & \text{if } \tilde{\bar{N}}I_{k,l} \leq \bar{N}I \\ g_{kl} = 0 & \text{if } \tilde{\bar{N}}I_{k,l} > \bar{N}I \end{cases} \quad (2.36)$$

G matrisindeki birim bileşenler, alternatifler arasındaki baskınlık ilişkilerini gösterir.

Adım 10: Bu adımda, F ve G matrisi yardımıyla etkili ve sıralama matrisi H elde edilir.

$$h_{k,l} = f_{k,l} \otimes g_{k,l} \quad (2.37)$$

H matrisine göre daha az çekici alternatifler elenir ve en iyi alternatif seçilir. H, alternatiflerin öncelik sıralamasını gösterir. Eğer $h_{k,l} = 1$ ise, x_k 'nin hem uyum hem de uyumsuzluk indeksleri açısından x_l 'den üstün olduğu anlamına gelir. Ancak, yine de diğer alternatifler tarafından domine edilebilir. Dolayısıyla, aşağıdaki Denklem 2.38'de x_k 'yi etkili bir alternatif yapan koşul:

$$\begin{cases} h_{k,l} = 1 & \text{en az bir } l \text{ için } l = 1, 2, \dots, n; k \neq l \\ h_{k,l} = 0 & \text{her } k \text{ için } k = 1, 2, \dots, n; i \neq k; i \neq l \end{cases} \quad (2.38)$$

Bundan sonra, tercih düzeyi, kayıtsızlık ve karşılaştırılmaz olarak sonuçlar elde edilir. İki seçenek ($h_{k,l} = 1$) arasında bir adet direkt ok varsa tercih edilebilir. Öte yandan, iki seçenek arasında iki doğrudan ok varsa ($h_{k,l} = 1$ ve $h_{l,k} = 1$), iki seçenek arasında kayıtsızlık vardır. Son olarak, seçenekler arasında ok yoksa ($h_{k,l} = 0$ ve $h_{l,k} = 0$), karşılaştırma şansına sahip olamazlar.

Tablo 2.3 Alternatif değerlendirmek için bulanık değerlendirme puanları

Dilsel Değişken	AT2BK
Çok Zayıf(ÇZ)	((0;0;0;1;1;1),(0;0;0;0,5;0,9;0,9))

Tablo 2.3 Alternatif değerlendirmek için bulanık değerlendirme puanları
(devamı)

Zayıf (Z)	((0;1;1;3;1;1),(0,5;1;1;2;0,9;0,9))
Orta Zayıf (OZ)	((1;3;3;5;1;1),(1;3;3;5;0,9;0,9))
Orta (O)	((3;5;5;7;1;1),(5;5;5;6;0,9;0,9))
Orta İyi (Oİ)	((5;7;7;9;1;1),(5;7;7;9;0,9;0,9))
İyi (İ)	((7;9;9;10;1;1),(8;9;9;9,5;0,9;0,9))
Çok İyi (Çİ)	((9;10;10;10;1;1),(9,5;10;10;10;0,9;0,9))

Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te sırasıyla alternatiflerin derecelerini ve kriterlerin ağırlığını belirlemek için karar vericilerin kullandıkları dilsel değişkenler ve karşılık gelen Aralık Tipi-2 Bulanık sayılar verilmiştir.

Tablo 2.4 Kriter değerlendirmek için bulanık değerlendirme puanları

Dilsel Değişken	AT2BK
Çok Düşük (ÇD)	((0;0;0;0,1;1;1),(0;0;0;0,05;0,9;0,9))
Düşük (D)	((0;0,1;0,1;0,3;1;1),(0,05;0,1;0,1;0,2;0,9;0,9))
Orta Düşük (OD)	((0,1;0,3;0,3;0,5;1;1),(0,1;0,3;0,3;0,5;0,9;0,9))
Orta (O)	((0,3;0,5;0,5;0,7;1;1),(0,5;0,5;0,5;0,6;0,9;0,9))
Orta Yüksek (OY)	((0,5;0,7;0,7;0,9;1;1),(0,5;0,7;0,7;0,9;0,9;0,9))
Yüksek (Y)	((0,7;0,9;0,9;1;1;1),(0,8;0,9;0,9;0,95;0,9;0,9))
Çok Yüksek (ÇY)	((0,9;1;1;1;1;1),(0,95;1;1;1;0,9;0,9))

3

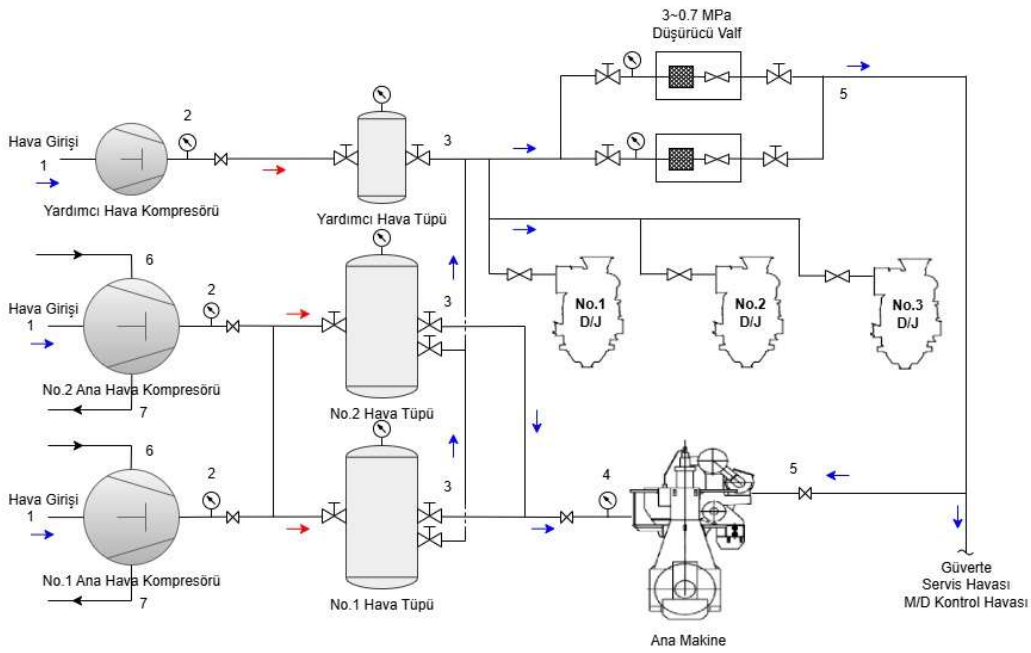
GEMİ SİSTEMLERİNİN ÇKKV VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

3.1 Basınçlı Hava Sistemi

Basınçlı hava sistemleri, gemilerde geniş bir kullanım alanına sahip olup, güvenilir ve verimli bir enerji kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, ana makinelerin çalıştırılması, kontrol sistemlerinin çalıştırılması, vanaların açılıp kapanması, hava tahrikli motorların çalıştırılması ve yangın önleme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Elektrik veya hidrolik sistemlere kıyasla daha temiz ve güvenli bir enerji kaynağı sunmaları nedeniyle, basınçlı hava sistemleri gemilerde vazgeçilmez bir bileşen haline gelmiştir. Basınçlı hava sistemlerinde kullanılan temel ekipmanlar arasında hava kompresörleri, hava tankları, filtreler, kurutucular ve dağıtım hatları bulunmaktadır. Kompresörler, atmosferden aldığı havayı sıkıştırarak belirli bir basınç seviyesine ulaştırır ve bu hava daha sonra tanklarda depolanarak ihtiyaç duyulan sistemlere yönlendirilir. Filtreler ve kurutucular ise havanın nem ve partiküllerden arındırılmasını sağlayarak, sistemin uzun ömürlü ve verimli çalışmasına katkıda bulunur. Bu sistemlerde kullanılan ekipmanların seçiminde dikkate alınması gereken teknik kriterler arasında çalışma basıncı, hava debisi, enerji verimliliği, bakım gereksinimleri ve çevresel faktörlere uyumluluk yer almaktadır. Özellikle gemi operasyonlarının güvenilirliğini artırmak için yüksek verimli ve dayanıklı ekipmanların tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, hava sistemlerinin düzenli bakımı ve kontrolü, olası arızaların önüne geçmek ve operasyonel verimliliği sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır [54].

Gemilerde ilk hareket havası sistemlerinin incelenmesine öncelikle farklı ana makine markalarının uygulamaları ve önerileri incelenerek başlanmıştır. İncelenen bu ana makine üreticileri markaları Man, Wartsila ve WIN GD'dir.

Şekil 3.1'de örnek bir gemiye ait basınçlı hava devresi şeması görülmektedir. İki adet ana hava kompresörü ve bir adet acil durumlarda kullanılmak üzere yardımcı hava kompresörü bulunmaktadır. Aynı durum hava tüpleri için de geçerlidir. Ana makine olarak en çok tercih edilen Man markasının örnek ilk hareket havası şeması yer almaktadır. Man markası ilk hareket havası için üç adet su soğutmalı iki kademeli ara soğutmalı kompresör kullanılması önermektedir. İlk hareket havasının 30 bar basınçta iki adet hava tüpünde tutulmasını ve kontrol ve emniyet havası için 7 bar basınca redüksiyon istasyonu ile düşürülmesini önermektedir.



Şekil 3.1 Makine dairesi basınçlı hava sisteminin şematik diyagramı

İlk hareket havası sağlamak için iki adet ana hava kompresörü ve acil durum için bir adet acil durum hava kompresörü bulunmaktadır. Ana kompresörlerin çıkış basıncı 29.4 bar olarak verilmiş ve hacimsel debi kapasiteleri 280 m³/h olarak verilmiştir. İki adet 9.0 m³'lük 30 bar basınca dayanıklı hava tüpü kullanılmaktadır. İki adet redüksiyon istasyonunda tüplerdeki basınçlı hava kontrol havasında kullanılmak üzere 7.0 bar basınca düşürülmektedir.

3.1.1 Basınçlı Hava Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi

Üst ve Karakurt [55], kaskad soğutma sistemindeki farklı soğutucu akışkanlar için teorik performans analizi yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, R23-R717 akışkan çiftinin ekserjetik performans katsayısı ve COP açısından en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Üst vd. [56], balıkçı teknelerinde kullanılan çok amaçlı bir soğutma sisteminin ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Sekiz farklı soğutucu akışkanı karşılaştırdıkları çalışmalarının sonucunda, EPC, COP ve ekserji verimliliği açısından en iyi performans gösteren soğutucu akışkanın R32 olduğunu belirtmişlerdir. Karakurt vd. [54], gemilerde kullanılan basınçlı hava sistemleri üzerinde teorik bir enerji ve ekserji analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, yazarlar üç farklı basınçlı hava sistemi modelini sunmuş ve karşılaştırmışlardır.

Varsayımlar:

- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir düzeydedir.
- Ölü (çevresel) durumun sıcaklık ve basınç değerleri gerçek ortam koşulları olarak alınır.

Genel enerji ve kütle dengeleri şu şekilde yazılabilir:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (3.1)$$

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (3.2)$$

Ve kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiğinden:

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in}h_i = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out}h_i \quad (3.3)$$

Fiziksel ekserji dönüşümü termal ve mekanik işlemlerle elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{E}_X^{PH} = \dot{m}_i[(h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0)] \quad (3.4)$$

Burada h özgül entalpi, s özgül entropi, T sıcaklık, i alt simgesi ilgili bileşenlerin durum noktaları ve 0 alt simgesi ölü durum koşullarıdır. Ve kapalı bir sistem için özgül ekserji şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{E}_{X,in} = \dot{E}_{X,out} + \dot{E}_{XD} \quad (3.5)$$

Ekserji dengesinden türetilen ekserji yıkım oranı için genel denklem şudur:

$$\dot{E}_{XD,i} = \left\{ \sum \left[\dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \right]_{in} - \sum \left[\dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \right]_{out} \right\} + \sum (W_{in} - W_{out}) + \sum (\dot{E}_{X,in} - \dot{E}_{X,out}) \quad (3.6)$$

Burada, $\dot{E}_{XD,i}$ proses bileşenlerinde var olan ekserji yıkım hızını temsil etmektedir.

Tablo 3.1 Belirlenmiş noktalardaki değerler

Nokta	T(K)	P(kPa)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	E_X^{PH} (kJ/kg)	$\dot{E}_{X,in}^{PH}$ (kW)
1	299	101	299,2	6,862		
2	309	3000	303,3	5,904	290,5	21,19
3	299	3000	292,8	5,87	290,4	21,17
4	299	2900	293	5,88	287,5	9,118
5	300,3	700	299,2	6,336	286,5	11,8
6	296	300	96,11	0,3369	0,263	0,437
7	301	300	117	0,4069	0,2275	0,378

Tablo 3.1’te Şekil 3.1’ de belirtilen noktalardaki akışkanların sıcaklık, basınç, özgül entalpi, özgül entropi fiziksel ekserji değerleri görülmektedir. Fiziksel ekserji değerleri incelendiğinde en yüksek ekserji yıkımının 3 ve 5 noktaları arasında yer alan basınç düşürücü valfte gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için basınç düşürücü valf kullanmak yerine ilk hareket havasında göre daha düşük basınç gerektiren kontrol havası ve servis havası için daha düşük basınç ve kapasiteli ayrı bir kompresör kullanılabilir.

3.1.2 Basınçlı Hava Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması

Literatürde çok kriterli karar verme veya seçim durumlarında bulanık mantık sıklıkla kullanılmaktadır. Bulanık mantık son zamanlarda denizcilik sektöründe popüler hale gelmiş ve literatürde kendine yer edinmiştir [57], [58], [59], [60]. Bu bağlamda literatürdeki makaleler incelendiğinde, Gül [61] limanlar için bir risk değerlendirme modeli önermiştir. Önerilen yöntemin bir gösterimi, sıklıkla karşılaşılan bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) ve bulanık tabanlı VIKOR yöntemi kullanılarak bir Türk uluslararası liman idaresinde gerçekleştirilmiştir. Gul vd. [62] birçok deniz faaliyetinin insanlar için tehlike oluşturması nedeniyle denizcilik endüstrisindeki gemi yönetimi için risk değerlendirmesinin hayati önem taşıdığını belirtmişlerdir. Yazarlar, FAHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini Fine-Kinney yaklaşımıyla birleştirerek denizcilik endüstrisi için hibrit bir risk değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Ayrıca bu yaklaşımı göstermek için balast tankı bakım prosedürü üzerine bir örnek olay çalışması yürütmüşlerdir. Demirel vd. [63] hibrit AHP-VIKOR metodolojisi ile bir çalışma gerçekleştirmiş, yazarlar beş uzmandan oluşan bir grup oluşturmuş ve onlardan yuvarlanma stabilizatörü seçimi için belirledikleri on beş kriterin bir değerlendirmesini ve karşılaştırmasını yapmalarını istemiştir. Grubun değerlendirmeleri sunulan yaklaşımla incelenmiş, bulgular sunulmuş ve yorumlanmıştır. Soner vd. [64] deniz taşımacılığı endüstrisinde çok kriterli karar verme konularını ele almak için AHP ve VIKOR ile kapsamlı bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Bir dökme yük gemisinin ambar kapağı tasarımı, kargonun içine su sızmasını önlemek ve kargoyu dış hasarlardan korumak için seçilen problem olarak gösterilmiştir. Üç uzmanın görüşü alınarak dokuz teknik ve operasyonel kriter incelenmiştir. Balin vd. [65] sevk sistemlerine göre kategorize edilen römorkörlerin seçimi için kriterler belirlemiş ve daha sonra bu kriterler ilgili uzmanlar tarafından bir anket aracılığıyla değerlendirilmiştir. Belirtilen her kriterin ağırlıkları Fuzzy Shannon Entropi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca bulanık VIKOR yönteminin entropi ile uyumlu olduğu ve diziyi oluşturan tablo değerlerini yeterince ayırt edebildiği belirtilerek alternatiflerin sıralanması ve en uygun römorkör tipinin seçilmesi amacıyla bu yöntem kullanılmıştır. Efe [66] gemi inşasında iş kazalarıyla ilgili arıza türlerini incelemiştir. Uzmanların görüşlerine göre meydana gelme, ciddiyet ve tespit edilebilme kriterlerinin ağırlıkları sezgisel

bulanık sayılar kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ağırlıklar VIKOR yönteminde kullanılmış ve sonuçlar gemi inşasındaki iş kazalarıyla ilişkili arıza modlarının sıralamasını ortaya çıkarmıştır. Balin vd. [67] gemi ana makine sistemlerinde uzman arıza tespiti için FAHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda makinelerin arızaları belirlenerek önem derecelerine göre sıralanmıştır.

Tüm bu literatür bilgileri ışığında, daha önce yapılan çalışmaların yanı sıra, bu çalışmada ticari bir gemi için en uygun kompresörün seçilmesinde önemli kriterler belirlenmiş ve bu kriterler uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Kriterlerinin ağırlıklarının değerlendirilmesinin ardından alternatifler bu kriterlere göre değerlendirilmiştir. Tablo 3.2’de karar verme sürecinde uzmanlar tarafından değerlendirilen ve dünya genelinde kullanılan kompresör alternatifleri kısa gösterimleri ile görülmektedir.

Tablo 3.2 Kompresör alternatifleri

Kısa Gösterim	Alternatif
A1	At
A2	Ta
A3	Sp
A4	AB
A5	Hi

Gemi tipleri değiştiğinde ana makine ve yardımcıları çok fazla farklılık göstermese de basınçlı hava ihtiyacı farklılık gösterebilir. Bu nedenle bu kriterler, üç farklı gemi tipinin teknik operasyonel yönetimini yürüten uzmanlar, teorik ve akademik bakış açısı sağlaması açısından bir akademisyen ve nihai karar verici ve alıcı olan armatör tarafından değerlendirilmiştir.

Tablo 3.3’de beş uzmanın becerileri, özellikleri ve sektördeki deneyim süreleri gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Kompresör seçimi uzman özellikleri

Uzmanlar	Beceriler, Deneyim
1	Uzakyol Baş Mühendisi, Dökme Kuru Yük Denizcilik Şirketi Teknik Müdürü, 28 yıllık deneyim
2	Uzakyol Baş Mühendisi, Konteyner Denizcilik Şirketi Teknik Müdürü, 18 yıllık deneyim
3	Armatör, Makine Mühendisi, 40 yıllık deneyim
4	Uzakyol Baş Mühendisi, Ro-Ro Denizcilik Şirketi Teknik Müdürü, 15 yıllık deneyim
5	Akademisyen, Prof.Dr., 20 yıllık tecrübe

Kompresör seçilirken aşağıdaki Tablo 3.4'te gösterilen kriterler dikkate alınmıştır. Gemi sahibi, fiyatın düşük olmasını, kompresörün uzun süre sorunsuz çalışmasını, bakım ve onarım maliyetlerinin düşük olmasını beklemektedir. Geminin baş mühendisi ve diğer uzakyol vardiya mühendisleri, kompresörün makine kontrol odasından kontrol edilmesini ve yeterli elektronik donanıma sahip olmasını istemektedir. Çünkü bir sorun olması durumunda vardiya mühendisleri alarmı duyarak sorunu fark etmek isterler. Aynı şekilde nakliye şirketleri de, gemiler dünya çapında dolaşırken kompresör markasına ait yedek parçaların kolayca erişilebilir olmasını istemektedir. Teknik olarak kompresörün sıkıştırma oranının ve çıkış basıncının yeterli olması gerekmektedir. Gemi yük taşıyarak para kazandığı için kompresörün mümkün olduğu kadar hafif, düşük hacimli ve sessiz çalışması arzu edilir.

Tablo 3.4 Kompresör seçimi belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları

Kısa Gösterim	Kriter	Açıklama
C1	Fiyat	Uygun maliyetli ve fiyatına değer
C2	Uzun vadeli istikrar	Kaliteli kompresör parçaları, güç

Tablo 3.4 Kompresör seçimi belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları (devamı)

C3	Uzaktan kumanda ve yeterli elektronik ekipman	Güvenlik ve güvenlik nedenleriyle alarm ekipmanı
C4	Bakım ve onarım maliyetleri	Ortalama düzenli bakım ve onarım maliyetleri
C5	Geniş yedek parça sağlama	Dünyanın birçok limanında yedek parçalara erişim
C6	Sıkıştırma oranı ve çıkış basıncı	Gerekli çıkış basıncına ulaşmak
C7	Taşınabilirlik ve Boyut, Gürültü	Kompresörün taşınabilirliği ve gemide gerekli alan

Tablo 3.4'te belirtilen her bir kriterin önem düzeyi, Tablo 2.1'de verilen dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Tüm kriterler fayda olarak değerlendirilmiştir. Yorum yapılırken örneğin fiyatın düşük olmasının faydalı olduğu şeklinde yorumlanır. Dilsel değişkenlerin karşılık gelen üçgensel bulanık sayıları ve Denklem 2.3 kullanılarak her bir kriterin entegre bulanık ağırlıkları hesaplanmıştır. Her bir kriterin hesaplanmış bulanık ağırlıkları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Kompresör seçimi kriterlerinin entegre bulanık ağırlıkları

Kriter	Bulanık Ağırlık (wj)		
	l	m	u
C1	0,50	0,75	0,95
C2	0,40	0,65	0,85
C3	0,35	0,60	0,85
C4	0,45	0,70	0,90

Tablo 3.5 Kompresör seçimi kriterlerinin entegre bulanık ağırlıkları (devamı)

C5	0,25	0,50	0,75
C6	0,70	0,95	1,00
C7	0,05	0,25	0,50

Uzmanlar, belirlenen kriterlere göre ve Tablo 2.2'deki dilsel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeden elde edilen dilsel değişkenler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Daha sonra Tablo 3.6'de verilen bulanık karar matrisi Denklem 2.4 kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.6 Kompresör seçimi bulanık Karar Matrisi

	C1			C2			C3			C4			C5			C6			C7		
A1	3,5	6	8	4	6,5	9	4	6,5	9	2,5	5	7,5	3,5	6	8	5,5	8	9,5	1	2,5	5
A2	5	7,5	9,5	1,5	4	6,5	2,5	5	7,5	3,5	6	8,5	6	8,5	10	5	7,5	10	1,5	4	6,5
A3	4	6,5	8,5	5,5	8	9,5	6	8,5	10	3	5,5	8	5,5	8	9,5	6	8,5	10	4,5	7	9
A4	5	7,5	9,5	6	8,5	10	4	6,5	9	3,5	6	8,5	1	2,5	5	4,5	7	9,5	2,5	5	7,5
A5	5	7,5	9,5	1,5	4	6,5	3	5,5	8	3,5	6	8,5	2,5	5	7,5	4	6,5	9	3,5	6	8,5

Bulanık en iyi ve en kötü değerler Denklem 2.7 kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Kompresör seçimi bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-)

Kriter	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
	l	m	u	l	m	u
C1	5,00	7,50	9,50	3,50	6,00	8,00
C2	6,00	8,50	10,00	1,50	4,00	6,50
C3	6,00	8,50	10,00	2,50	5,00	7,50
C4	3,50	6,00	8,50	2,50	5,00	7,50
C5	6,00	8,50	10,00	1,00	2,50	5,00
C6	6,00	8,50	10,00	4,00	6,50	9,00
C7	4,50	7,00	9,00	1,00	2,50	5,00

Denklem 2.8 ve 2.9 ile hesaplanan \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri Tablo 3.8'da verilmiştir.

Tablo 3.8 Kompresör seçimi \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri

Alternatif	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	l	m	u	l	m	u
A1	1,678	2,778	3,733	0,500	0,750	0,950
A2	1,143	1,892	2,013	0,400	0,650	0,850
A3	0,628	0,964	1,280	0,333	0,500	0,633
A4	1,004	1,666	1,778	0,530	0,710	0,750
A5	1,589	2,462	2,968	0,700	0,950	1,000

\tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri Denklem 2.10 ve 2.11 ile belirlenmiş olup Tablo 3.9'de verilmiştir.

Tablo 3.9 Kompresör seçimi \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0,628	0,964	1,280
\tilde{S}^-	1,678	2,778	3,733
\tilde{R}^*	0,333	0,500	0,633
\tilde{R}^-	0,700	0,950	1,000

Denklem 2.12'de uzlaşmayı yansıtacak şekilde ν değeri 0,5 alınmış ve \tilde{Q}_i değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bulanık sayıların bulanıksızlaştırılması için Denklem 2.13 kullanılmış ve hesaplanan Q_i, S_i ve R_i indeksleri Tablo 3.10'de görülmektedir.

Tablo 3.10 Kompresör seçimi \tilde{Q}_i, Q_i, S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları

Alternatif	\tilde{Q}_i			Q_i		S_i		R_i	
	l	m	u	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A1	0,727	0,778	0,932	0,812	4	2,729	5	0,733	4
A2	0,336	0,422	0,445	0,401	3	1,682	3	0,633	2
A3	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,957	1	0,489	1
A4	0,447	0,427	0,261	0,378	2	1,483	2	0,663	3
A5	0,958	0,913	0,844	0,905	5	2,339	4	0,883	5

Uzlaşmacı çözümün belirlenmesi sürecinde Q_i endeksi sıralamasında ilk koşulun sağlanıp sağlanmadığı incelenmiştir.

Denklem 2.14'e göre 1. koşul kabul edilebilir avantajı:

$$Q(a'') - Q(a') = 0,378 - 0 > 0,25$$

Karar vermede 2. koşul kabul edilebilir kararlılık, Q_i , S_i , R_i indekslerine göre sıralama sonuçları Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Kompresör seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar

Q_i	$A3 > A4 > A2 > A1 > A5$
S_i	$A3 > A4 > A2 > A5 > A1$
R_i	$A3 > A2 > A4 > A1 > A5$

Bu değerlendirme sonucunda her iki şartın da sağlandığı anlaşılmıştır. Alternatifler arasında A3 alternatifinin öncelikli olduğu görülmüştür. A3 birinci koşulu sağladığından diğer alternatiflere göre kabul edilebilir bir avantaja sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca A3 ikinci koşulu da sağladığı için, karar vermede kabul edilebilir istikrar sağlamaktadır. Ayrıca şirket politikası gereği birden fazla marka ile çalışılması gerekiyorsa A4 alternatifinin de tercih edilebileceği anlaşılmıştır.

3.1.3 Basınçlı Hava Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması

ÇKKV yöntemleri kullanılarak basınçlı hava sistemi için uygun kompresör seçiminde ELECTRE yöntemi uygulanmasında VİKOR yöntemin kullanılan üçgensel bulanık sayılar yerine AT2BK'ler kullanılmıştır. Bu sebeple, Tablo 3.3'te belirtilen uzmanlar Tablo 3.2'te yer alan alternatifleri ve Tablo 3.4'da yer alan kriterleri sırasıyla Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te belirtilen dilsel değişkenleri kullanarak değerlendirmişlerdir. Denklem 2.21 ve 2.23 kullanılarak hesaplanan karar ve ağırlık matrisleri Tablo 3.12'te verilmiştir. Denklem 2.25 ile hesaplanan normalleştirilmiş karar matrisi Tablo 3.13'te ve Denklem 2.26 kullanılarak oluşturulan ağırlıklı karar matrisi Tablo 3.14'da yer almaktadır.

Tablo 3.12 Kompresör seçimi karar matrisi ve ağırlıklar

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	((4,2;4,2;4,2;3;4,2;6,2),(1,4;6;6;7,2;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5;6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5;6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1),(3,4;5;5;6,8;0,9;0,9))	((4,2;6;6;7;6;1;1),(5;1;6;6;7,2;0,9;0,9))	((6,2;7,8;7,8;9;1;1),(6,8;7,8;7,8;8,8;0,9;0,9))	((1,4;2,6;2,6;4,2;1;1),(2,2;2,6;2,6;3,6;0,9;0,9))

Tablo 3.12 Kompresör seçimi karar matrisi ve ağırlıklar (devamı)

A 2	((5,4;2,2;3;3,8;6,6;5),(2,2;7,2;7,2;8,6;0,9;0,9))	((2,2;4,2;4,2;6,2;1;1),(3,4;4,2;4,2;5,6;0,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1),(4,2;5;5;6,4;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5;5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((6,6;8,2;8,2;9,4;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,4;0,9;0,9))	((5;7;7;9;1;1),(5;7;7;9;0,9;0,9))	((2,2;4,2;4,2;6,2;1;1),(3,4;4,2;4,2;6;0,9;0,9))
A 3	((1,8;6,2;6,6;3,4;6,2;6,6),(5;3,8;3,8;5,4;0,9;0,9))	((6,2;7,8;7,8;9;1;1),(6,8;7,8;7,8;8;0,9;0,9))	((6,6;8,2;8,2;9,4;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,4;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5;5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((6,2;7,8;7,8;9;1;1),(6,8;7,8;7,8;8,8;0,9;0,9))	((6,6;8,2;8,2;9,4;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,4;0,9;0,9))	((5;6,8;6,8;8,4;1;1),(5,9;6,8;6,8;8,0,9;0,9))
A 4	((5,4;6,6;4,2;3,8;3,2;4,6),(3;7,2;7,2;8,6;0,9;0,9))	((6,6;8,2;8,2;9,4;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,4;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5;6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5;5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((3,2;4,6;4,6;6;1;1),(4,1;4,6;4,6;5,5;0,9;0,9))	((4,6;6,6;6,6;8,6;1;1),(5,6;6;6,6;8,4;0,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1),(5;5;5;6;0,9;0,9))
A 5	((5,4;2,2;3,4;3,8;3;4,2),(3,8;7,2;7,2;8,6;0,9;0,9))	((2,2;4,2;4,2;6,2;1;1),(3,4;4,2;4,2;5,6;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(4,2;5,4;5,4;7;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5;5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1),(4,2;5;5,6,4;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5,5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))
W	((0,54;0,72;0,72;0,88;1;1),(0,59;0,72;0,72;0,86;0,9;0,9))	((0,46;0,64;0,64;0,8;1;1),(0,51;0,64;0,64;0,78;0,9;0,9))	((0,38;0,58;0,58;0,78;1;1),(0,5;0,58;0,58;0,72;0,9;0,9))	((0,5;0,68;0,68;0,84;1;1),(0,59;0,68;0,68;0,8;0,9;0,9))	((0,3;0,5;0,5;0,7;1;1),(0,42;0,5;0,5;0,64;0,9;0,9))	((0,82;0,94;0,94;0,98;1;1),(0,86;0,94;0,94;0,98;0,9;0,9))	((0,12;0,28;0,28;0,46;1;1),(0,16;0,28;0,28;0,43;0,9;0,9))

Tablo 3.13 Kompresör seçimi normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A 1	((0,64;0,64;0,64;0,45;4,2;6,2),(0,16;0,7;0,7;0,84;0,9;0,9))	((0,45;0,66;0,66;0,87;1;1),(0,53;0,66;0,66;0,83;0,9;0,9))	((0,45;0,66;0,66;0,87;1;1),(0,53;0,66;0,66;0,83;0,9;0,9))	((0,38;0,64;0,64;0,9;1;1),(0,47;0,69;0,69;0,94;0,9;0,9))	((0,45;0,64;0,64;0,81;1;1),(0,54;0,64;0,64;0,77;0,9;0,9))	((0,66;0,83;0,83;0,96;1;1),(0,72;0,83;0,83;0,94;0,9;0,9))	((0,17;0,31;0,31;0,5;1;1),(0,28;0,33;0,33;0,45;0,9;0,9))
A 2	((0,82;0,33;0,45;0,58;6,6;5),(0,26;0,84;0,84;1;0,9;0,9))	((0,23;0,45;0,45;0,66;1;1),(0,36;0,45;0,45;0,6;0,9;0,9))	((0,32;0,53;0,53;0,74;1;1),(0,45;0,53;0,53;0,68;0,9;0,9))	((0,49;0,74;0,74;1;1;1),(0,69;0,81;0,81;1;0,9;0,9))	((0,7;0,87;0,87;1;1;1),(0,72;0,87;0,87;1;0,9;0,9))	((0,53;0,74;0,74;0,96;1;1),(0,53;0,74;0,74;0,96;0,9;0,9))	((0,26;0,5;0,5;0,74;1;1),(0,43;0,53;0,53;0,7;0,9;0,9))
A 3	((0,27;0,94;1;0,52;6,2;6,6),(0,58;0,44;0,44;0,63;0,9;0,9))	((0,66;0,83;0,83;0,96;1;1),(0,72;0,83;0,83;0,94;0,9;0,9))	((0,7;0,87;0,87;1;1;1),(0,72;0,87;0,87;1;0,9;0,9))	((0,44;0,69;0,69;0,95;1;1),(0,69;0,75;0,75;0,92;0,9;0,9))	((0,66;0,83;0,83;0,96;1;1),(0,72;0,83;0,83;0,94;0,9;0,9))	((0,7;0,87;0,87;1;1;1),(0,72;0,87;0,87;1;0,9;0,9))	((0,6;0,81;0,81;1;1;1),(0,74;0,85;0,85;1;0,9;0,9))
A 4	((0,82;1;0,64;0,58;3,2;4,6),(0,35;0,84;0,84;1;0,9;0,9))	((0,7;0,87;0,87;1;1;1),(0,72;0,87;0,87;1;0,9;0,9))	((0,45;0,66;0,66;0,87;1;1),(0,53;0,66;0,66;0,83;0,9;0,9))	((0,49;0,74;0,74;1;1;1),(0,69;0,81;0,81;1;0,9;0,9))	((0,34;0,49;0,49;0,64;1;1),(0,44;0,49;0,49;0,59;0,9;0,9))	((0,49;0,7;0,7;0,91;1;1),(0,53;0,7;0,7;0,89;0,9;0,9))	((0,36;0,6;0,6;0,83;1;1),(0,63;0,63;0,63;0,75;0,9;0,9))

Tablo 3.13 Kompresör seçimi normalize karar matrisi (devamı)

A5	((0,82;0,33; 0,52;0,58;3; 4,2),(0,44;0 ,84;0,84;1;0 ,9;0,9))	((0,23;0,45; 0,45;0,66;1; 1),(0,36;0,4 5;0,45;0,6;0 ,9;0,9))	((0,36;0,57; 0,57;0,79;1; 1),(0,45;0,5 7;0,57;0,74; 0,9;0,9))	((0,49;0,74 ;0,74;1;1;1 ,)(0,69;0,8 1;0,81;1;0, 9;0,9))	((0,32;0,53; 0,53;0,74;1; 1),(0,45;0,5 3;0,53;0,68; 0,9;0,9))	((0,45;0,66; 0,66;0,87;1; 1),(0,53;0,6 6;0,66;0,83; 0,9;0,9))	((0,45;0,69; 0,69;0,93;1; 1),(0,63;0,7 3;0,73;0,9;0 ,9;0,9))
-----------	--	--	---	---	---	---	--

Tablo 3.14 Kompresör seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	((0,34;0,46; 0,46;0,4;4,2; 6,2),(0,1;0,5 ,0,5;0,72;0,9 ,0,9))	((0,21;0,42; 0,42;0,7;1; 1),(0,27;0,4 2;0,42;0,65 ,0,9;0,9))	((0,17;0,38; 0,38;0,68;1 ;1),(0,27;0, 38;0,38;0,6 ,0,9;0,9))	((0,19;0,44; 0,44;0,75;1 ;1),(0,28;0, 47;0,47;0,7 6;0,9;0,9))	((0,13;0,32; 0,32;0,57;1 ;1),(0,23;0, 32;0,32;0,4 9;0,9;0,9))	((0,54;0,78; 0,78;0,94;1 ;1),(0,62;0, 78;0,78;0,9 2;0,9;0,9))	((0,02;0,09; 0,09;0,23;1 ;1),(0,04;0, 09;0,09;0,1 9;0,9;0,9))
A2	((0,44;0,24; 0,33;0,51;6, 6,5),(0,15;0, 6;0,6;0,86;0, 9;0,9))	((0,11;0,29; 0,29;0,53;1 ;1),(0,18;0, 29;0,29;0,4 6;0,9;0,9))	((0,12;0,31; 0,31;0,58;1 ;1),(0,22;0, 31;0,31;0,4 9;0,9;0,9))	((0,24;0,51; 0,51;0,84;1 ;1),(0,41;0, 55;0,55;0,8 ,0,9;0,9))	((0,21;0,44; 0,44;0,7;1; 1),(0,3;0,44 ,0,44;0,64; 0,9;0,9))	((0,44;0,7;0 ,7;0,94;1;1) ,(0,46;0,7;0 ,7;0,94;0,9; 0,9))	((0,03;0,14; 0,14;0,34;1 ;1),(0,07;0, 15;0,15;0,3 ,0,9;0,9))
A3	((0,15;0,68; 0,72;0,45;6, 2;6,6),(0,34; 0,32;0,32;0, 54;0,9;0,9))	((0,3;0,53;0 ,53;0,77;1; 1),(0,37;0,5 3;0,53;0,73 ,0,9;0,9))	((0,27;0,51; 0,51;0,78;1 ;1),(0,36;0, 51;0,51;0,7 2;0,9;0,9))	((0,22;0,47; 0,47;0,8;1; 1),(0,41;0,5 1;0,51;0,73 ,0,9;0,9))	((0,2;0,41;0 ,41;0,67;1; 1),(0,3;0,41 ,0,41;0,6;0, 9;0,9))	((0,58;0,82; 0,82;0,98;1 ;1),(0,62;0, 82;0,82;0,9 8;0,9;0,9))	((0,07;0,23; 0,23;0,46;1 ;1),(0,12;0, 24;0,24;0,4 3;0,9;0,9))
A4	((0,44;0,72; 0,46;0,51;3, 2;4,6),(0,21; 0,6;0,6;0,86; 0,9;0,9))	((0,32;0,56; 0,56;0,8;1; 1),(0,37;0,5 6;0,56;0,78 ,0,9;0,9))	((0,17;0,38; 0,38;0,68;1 ;1),(0,27;0, 38;0,38;0,6 ,0,9;0,9))	((0,24;0,51; 0,51;0,84;1 ;1),(0,41;0, 55;0,55;0,8 ,0,9;0,9))	((0,1;0,24;0 ,24;0,45;1; 1),(0,18;0,2 4;0,24;0,37 ,0,9;0,9))	((0,4;0,66;0 ,66;0,9;1;1) ,(0,46;0,66; ,66;0,88;0, 9;0,9))	((0,04;0,17; 0,17;0,38;1 ;1),(0,1;0,1 8;0,18;0,32 ,0,9;0,9))
A5	((0,44;0,24; 0,37;0,51;3; 4,2),(0,26;0, 6;0,6;0,86;0, 9;0,9))	((0,11;0,29; 0,29;0,53;1 ;1),(0,18;0, 29;0,29;0,4 6;0,9;0,9))	((0,14;0,33; 0,33;0,61;1 ;1),(0,22;0, 33;0,33;0,5 4;0,9;0,9))	((0,24;0,51; 0,51;0,84;1 ;1),(0,41;0, 55;0,55;0,8 ,0,9;0,9))	((0,1;0,27;0 ,27;0,52;1; 1),(0,19;0,2 7;0,27;0,44 ,0,9;0,9))	((0,37;0,62; 0,62;0,85;1 ;1),(0,46;0, 62;0,62;0,8 1;0,9;0,9))	((0,05;0,19; 0,19;0,43;1 ;1),(0,1;0,2; 0,2;0,39;0,9 ,0,9))

Tablo 3.15’de denklem 2.33 ve 2.34 kullanılarak oluşturulan F matrisi görülmektedir. Etkin uyum matrisi olan F matrisinde görülen 1 değerleri seçili alternatifin karşılaştırma yapılan alternatife etkin uyum yönünden üstünlük sağladığını belirtir.

Tablo 3.15 Kompresör seçimi F matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	1

Tablo 3.15 Kompresör seçimi F matrisi (devamı)

A2	0		0	1	1
A3	1	1		0	1
A4	1	1	0		1
A5	0	1	0	0	

F matrisi incelendiğinde birbirleri dışında yer alan diğer alternatifler karşı üstünlük sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.16 Kompresör seçimi NI uyumsuzluk matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0.73	0.99	0.80	0.63
A2	0.73		0.87	0.76	0.63
A3	0.49	0.56		0.61	0.49
A4	0.63	0.61	0.81		0.55
A5	0.82	0.71	0.90	0.86	

Tablo 3.16'de yer alan NI uyumsuzluk matrisi Denklem 2.31 ve 2.32 kullanılarak oluşturulmuştur. Bu matris alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının sayıya dönüştürülmüş halidir.

Denklem 2.35 ve 2.36 kullanılarak hesaplanan en etkili uyumsuzluk, G matrisi Tablo 3.17'te yer almaktadır. G matrisinde yer alan 1 değerleri alternatifler arası etkili uyumsuzluk yönünden yapılan ikili karşılaştırmadaki üstünlüğü belirtir.

Tablo 3.17 Kompresör seçimi G matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	1

Tablo 3.17 Kompresör seçimi G matrisi (devamı)

A2	0		0	0	1
A3	1	1		1	1
A4	1	1	0		1
A5	0	0	0	0	

G matrisi incelendiğinde A3 ve A4 alternatiflerinin etkili uyumsuzluk yönünden de diğer alternatiflere üstünlük sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.18 Kompresör seçimi H matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	1
A2	0		0	0	1
A3	1	1		0	1
A4	1	1	0		1
A5	0	0	0	0	

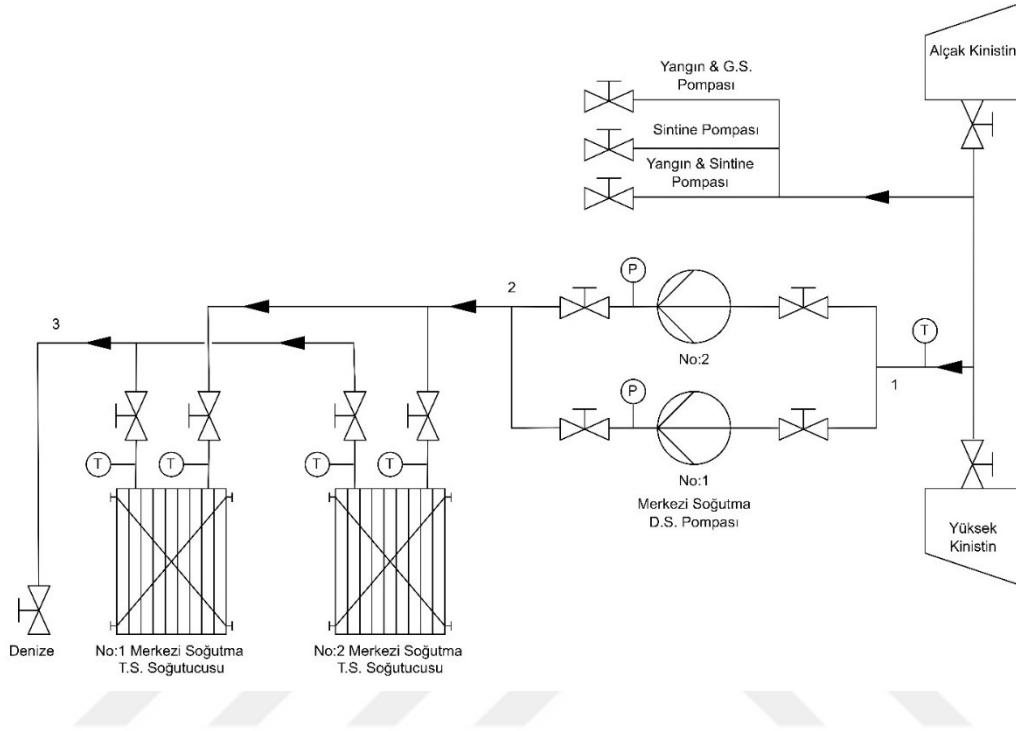
Tablo 3.18’de verilen H matrisi denklem 2.37 ile F ve G matrisleri kullanılarak oluşturulmuştur. H matrisi etkin üstünlük belirlemede kullanılır ve yer alan 1 değerleri ikili karşılaştırmada seçilen alternatifin hem uyum hem de uyumsuzluk yönlerinden üstün anlaşılır.

Sonuç olarak H matrisi incelendiğinde A3 ve A4 alternatiflerinin diğer alternatiflere net üstünlük sağladığı fakat kendi aralarından yapılan karşılaştırmada üstünlük sağlayamadıkları görülmektedir.

3.2 Soğutma Suyu Sistemi

Gemilerde ana ve yardımcı makinelerin soğutulmasında temel olarak deniz suyu (DS) kullanılmaktadır. Ancak deniz suyunun kirletici ve aşındırıcı etkilerine karşı

dayanıklı malzemelerin maliyetleri yüksektir. Bu sebeplerle, günümüzde operasyonel riskleri ve maliyetleri azaltmak için ana ve yardımcı makinelerin soğutulmasında genellikle deniz suyu yardımı ile soğutulan tatlı su (TS) kullanılır.



Şekil 3.2 Deniz suyu devresi

Şekil 3.'de örnek bir gemiye ait deniz suyu devresi basitleştirilmiş olarak görülmektedir. Alçak veya yüksek kinistinlerden devreye alınan alınan deniz suyu merkezi soğutma deniz suyu pompaları ile merkezi soğutma tatlı su kulerlerine gönderilmektedir. Merkezi kulerlerde tatlı suyun soğutulmasının ardından kulerlerden çıkan deniz suyu denize geri gönderilmektedir.

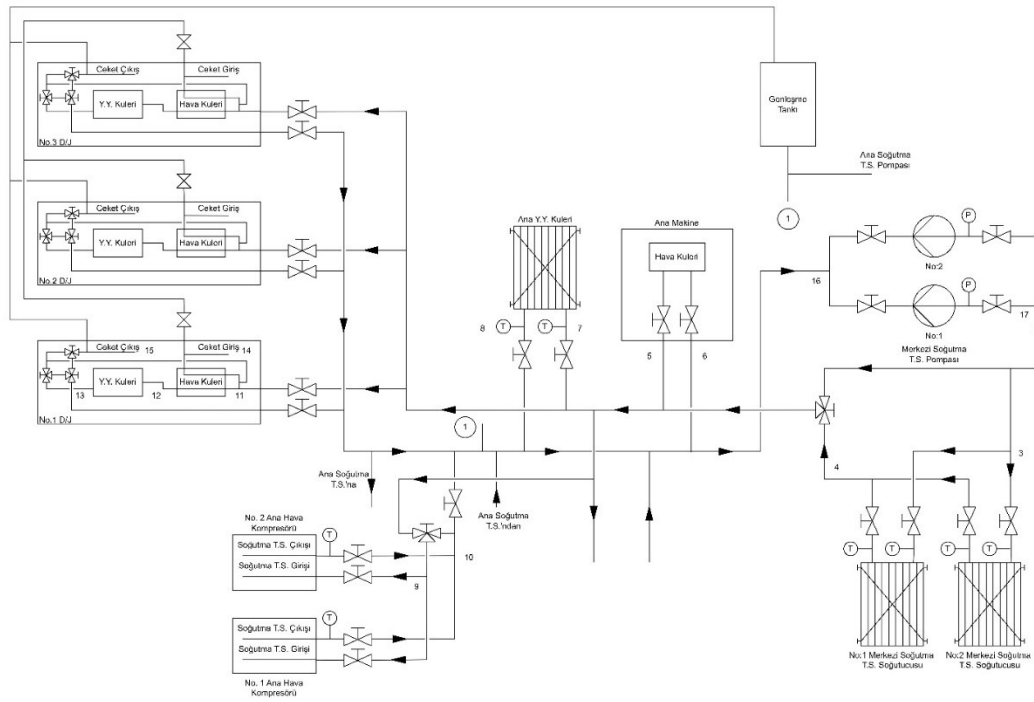
Tablo 3.19 DS Pompası Özellikleri

Kapasite (Debi)	650 m ³ /saat
Toplam Basma Yüksekliği	16 m
Devir	1780 d/d
Elektrik Motoru Gücü	45 kW
Voltaj	440 V

Tablo 3.19 DS Pompası Özellikleri (devamı)

Frekans	60 Hz
Maksimum Yükte Akım	71,5 A

Tablo 3.19’de merkezi soğutma DS pompalarının dizayn özellikleri verilmiştir. Operasyon için bir tanesinin çalışması yeterli olup, diğeri yedek olarak beklemektedir. Pompanın performans eğrisi incelendiğinde kesme noktası basma yüksekliğinin 25,6 m olduğu görülmektedir. Ayrıca hacimsel debinin 720 m³/saate kadar çıktığı, en verimli noktada pompa veriminin %76,8 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 Tatlı su devresi (Düşük Sıcaklık)

Şekil 3.3’te merkezi soğutma sistemi düşük sıcaklıklı tatlı su devresi basitleştirilmiş olarak görülmektedir. Merkezi soğutma tatlı su kulerlerinde soğutulan su ana besleme devresine verilmektedir. Ana makine hava kuleri, ana makine yağ kuleri, dizel jeneratörler, ana hava kompresörleri ve diğeri tatlı su ile soğutulan sistemlere bu devre üzerinden dağılmaktadır. Soğutma görevini tamamlayan su geri dönüş devresinden merkezi soğutma tatlı su pompaları tarafından tekrar kulerlere gönderilmektedir.

Tablo 3.20 Merkezi TS Kuleri Özellikleri

Isı Transferi Yüzey Alanı	78,74 m ²	
Isı Transferi	3446 kW	
Akışkan	DS	TS
Hacimsel Debi	290 m ³ /saat	240 m ³ /saat
Basınç Düşüşü	0,069 MPa	0,046 MPa
Dizayn Sıcaklığı	60 °C	90 °C

Tablo 3.20’de merkezi TS kulerlerinin dizayn özellikleri görülmektedir. Operasyon sırasında iki kuler de hizmette olup yükü eşit şekilde paylaşmaktadırlar.

Tablo 3.21 Merkezi TS Pompası Özellikleri

Kapasite (Debi)	480 m ³ /saat
Toplam Basma Yüksekliği	23 m
Devir	1780 d/d
Elektrik Motoru Gücü	45 kW
Voltaj	440 V
Frekans	60 Hz
Maksimum Yükte Akım	71,5 A

Tablo 3.21’te merkezi soğutma TS pompalarının dizayn özellikleri verilmiştir. Operasyon için bir tanesinin çalışması yeterli olup, diğeri yedek olarak beklemektedir. Pompanın performans eğrisi incelendiğinde kesme noktası basma yüksekliğinin 33,8 m olduğu görülmektedir. Ayrıca hacimsel debinin 580 m³/saate kadar çıktığı, en verimli noktada pompa veriminin %78,9 olduğu görülmektedir.

atılmaktadır. Dizel jeneratörlerde ise hava kuleri ve yağ kulerinde kullanılan ve ısınan su ceket soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.23 Ana TS Pompası Özellikleri

Kapasite (Debi)	82m ³ /saat
Toplam Basma Yüksekliği	31 m
Devir	1780 d/d
Elektrik Motoru Gücü	15 kW
Voltaj	440 V
Frekans	60 Hz
Maksimum Yükte Akım	25 A

Tablo 3.23'te ana soğutma TS pompalarının dizayn özellikleri verilmiştir. Operasyon için bir tanesinin çalışması yeterli olup, diğeri yedek olarak beklemektedir. Pompanın performans eğrisi incelendiğinde kesme noktası basma yüksekliğinin 36,9 m olduğu görülmektedir. Ayrıca hacimsel debinin 110 m³/saate kadar çıktığı, en verimli noktada pompa veriminin %67,1 olduğu görülmektedir.

3.2.1 Soğutma Suyu Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi

Örnek alınan geminin soğutma suyu sistemindeki akışkanların sıcaklık, basınç ve debi değerleri test raporlarından alınmıştır. Akışkanların entalpi ve entropi değerlerinin belirlenmesinde ve hesaplamalarda EES programı kullanılmıştır. Fiziksel ekserji ve ekserji yıkımı hesaplamaları Denklem 3.4, 3.5 ve 3.6 kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 3.24 Akışkan Özellikleri

Nokta	Akışkan	T (°C)	P(MPa)	h(kJ/kg)	s(kJ/kg.K)	E_X^{PH} (kJ/kg)
1	Deniz suyu	30	0,02	121	0,4208	0,01908
2	Deniz suyu	30	0,202	125,4	0,4346	0,2087
3	Deniz suyu	36	0,202	150,5	0,5165	0,5357

Tablo 3.24 Akışkan Özellikleri (devamı)

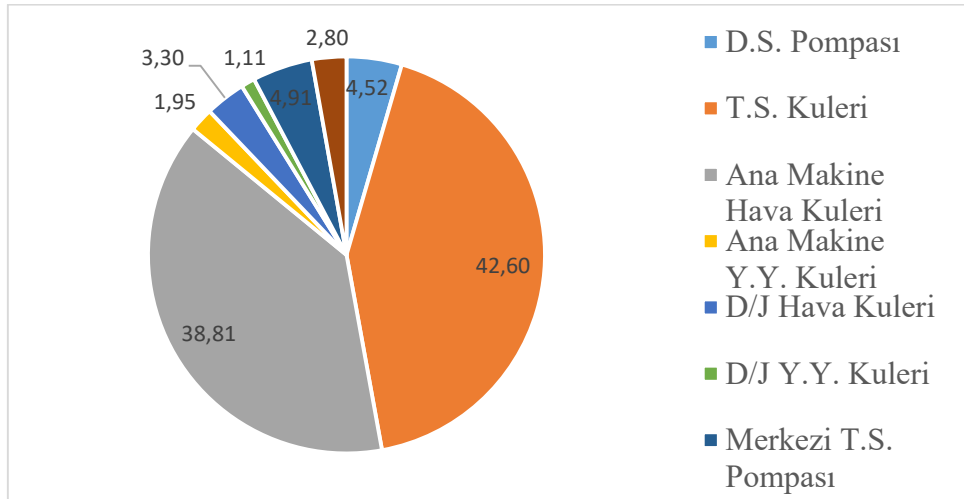
3t	Tatlı su	44	0,33	184	0,6233	1,837
4	Tatlı su	34	0,29	142,2	0,4894	0,4612
5	Tatlı su	36	0,248	150,5	0,5165	0,5818
6	Tatlı su	48	0,248	200,6	0,6757	2,646
7	Tatlı su	36	0,248	150,5	0,5165	0,5818
8	Tatlı su	40	0,248	167,2	0,5703	1,065
9	Tatlı su	36	0,248	150,5	0,5165	0,5818
10	Tatlı su	40	0,248	167,2	0,5703	1,065
11	Tatlı su	38	0,28	158,9	0,5435	0,8296
12	Tatlı su	39	0,28	163,1	0,5569	0,957
13	Tatlı su	40	0,28	167,2	0,5703	1,097
14	Tatlı su	79	0,28	330,5	1,062	15,9
15	Tatlı su	82	0,28	343	1,097	17,74
16	Tatlı su	44	0,14	183,8	0,6234	1,647
17	Tatlı su	44	0,33	184	0,6233	1,807
18	Tatlı su	75	0,17	313,6	1,014	13,49
19	Tatlı su	75	0,446	313,8	1,014	13,77
20	Tatlı su	85	0,446	355,8	1,133	19,83

Tablo 3.24'da Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te numaralandırılmış noktaların sıcaklık, basınç, spesifik entalpi, spesifik entropi ve spesifik fiziksel ekserji değerleri görülmektedir.

Tablo 3.25 Sistem Elemanlarının Ekserji Değerleri

Eleman	$\dot{E}_{X,in}^{PH}$ (kW)	$\dot{E}_{X,out}^{PH}$ (kW)	\dot{W}_{in} (kW)	\dot{E}_{XD}	ϵ
DS Pompası	10,01	33,48	37,2	13,72	0,70
TS Kuleri	276,17	146,89	-	129,28	0,28
Ana Makine Hava Kuleri	660,76	543,00	-	117,76	0,14
Ana Makine YY Kuleri	58,99	53,07	-	5,92	0,68
D/J Hava Kuleri	58,27	48,27	-	10,00	0,08
D/J YY Kuleri	18,29	14,90	-	3,38	0,23
Merkezi TS Pompası	217,56	242,66	40	14,90	0,94
Ana TS Pompası	4081,59	4086,04	12,95	8,50	0,99

Tablo 3.25’de sistem elemanlarının giren ve çıkan fiziksel ekserji değerleri, iş girişleri, ekserji yıkımları ve ekserji verimlilikleri görülmektedir. En yüksek ekserji verimlilikleri pompalarda görülmektedir. En yüksek ekserji yıkımları ise merkezi tatlı su kulerinde ve ana makine hava kulerinde görülmektedir.

**Şekil 3.5** Sistem Elemanlarının Ekserji Yıkımı Dağılımları

Şekil 3.5'te sistem elemanlarında ekserji yıkımlarının yüzdesel oranları görülmektedir. En yüksek ekserji yıkımı %42,6 ile merkezi tatlı su kulerinde, sonrasında %38,81 ile ana makine hava kulerinde görülmektedir.

3.2.2 Soğutma Suyu Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması

Bir geminin tatlı su soğutma sistemi için uygun bir pompanın seçimi, optimum sistem performansını ve operasyonel verimliliği sağlamada önemli bir karardır. Bu tür sistemlerin karmaşıklığı göz önüne alındığında, pompa seçimi teknik özellikler, enerji tüketimi, maliyet etkinliği ve çevresel hususlar dahil olmak üzere çok sayıda faktörü içerir. Genellikle sınırlı kriterlere odaklanan geleneksel pompa seçimi yöntemleri, etki eden faktörlerin tüm yelpazesini yakalamada başarısız olabilir. Bu bağlamda, çok kriterli karar analizi yöntemleri, daha geniş bir kriter yelpazesine dayalı alternatif seçenekleri değerlendirerek daha kapsamlı bir yaklaşım sunar.

Tablo 3.26 Pompa Alternatifleri

Kısa Tanım	Alternatif
A1	De
A2	Ss
A3	Sh
A4	Az
A5	Ta

Tablo 3.26'de tatlı su soğutma suyu sisteminde dünya genelinde kullanılan seçili alternatifler kısa isimleriyle verilmiştir.

Gemi tipleri değiştiğinde ana makine ve yardımcıları çok fazla farklılık göstermese de soğutma suyu sistemleri farklılık gösterebilir. Bu nedenle bu kriterler, farklı gemi tiplerinde tecrübeli uzmanlar, teorik ve akademik bakış açısı sağlaması açısından bir akademisyenler tarafından değerlendirilmiştir.

Tablo 3.27 Pompa seçimi uzmanların özellikleri

Uzmanlar	Beceriler, Deneyim
1	Akademisyen, Dr., 10 yıllık tecrübe
2	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
3	Akademisyen, Doç.Dr., 15 yıllık tecrübe
4	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
5	Bakım Onarım İşletmecisi, 20 yıllık tecrübe

Tablo 3.27'de beş uzmanın becerileri, özellikleri ve sektördeki deneyim süreleri gösterilmektedir.

Tablo 3.28 Pompa seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları

Kısa Tanım	Kriter	Açıklama
C1	Maliyet Etkinliği	Uygun maliyetli ve fiyatına değer
C2	Pompanın verimliliği	
C3	Net Pozitif Emme Yüksekliği	Kavitasyonu önlemek için gereken minimum emme basıncı
C4	Pompa ve İmpeller Türü	
C5	Debi ve çıkış basıncı	Gerekli debi ve çıkış basıncına ulaşabilme
C6	Bakım ve onarım maliyetleri	Ortalama düzenli bakım ve onarım maliyetleri
C7	Taşınabilirlik, Boyut ve Gürültü	Pompanın taşınabilirliği ve gemide gerekli alan

Tablo 3.28'te belirtilen her bir kriterin önem düzeyi, kullanılan yöntem için verilen dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Tüm

kriterler fayda olarak değerlendirilmiştir. Yorum yapılırken örneğin bakım ve onarım maliyetlerinin olmasının faydalı olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 3.29 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları

Kriter	Bulanık Ağırlık (wj)		
	l	m	u
C1	0,20	0,45	0,70
C2	0,60	0,85	1,00
C3	0,40	0,65	0,90
C4	0,15	0,30	0,55
C5	0,15	0,40	0,65
C6	0,05	0,25	0,50
C7	0,00	0,15	0,40

Tablo 3.29 incelendiğinde C2 ve C3 kriterlerinin öne çıktığı görülmektedir. Pompanın verimliliği ve net pozitif emme yüksekliği kriterlerinin uzmanlar tarafından diğer kriterlere göre daha önemli bulunduğu anlaşılmaktadır.

Uzmanlar, belirlenen kriterlere göre ve Tablo 2.2'deki dilsel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeden elde edilen dilsel değişkenler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Daha sonra Tablo 3.30'da verilen bulanık karar matrisi Denklem 2.5 kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.30 Pompa seçimi bulanık karar matrisi

	C1			C2			C3			C4			C5			C6			C7		
A	1,	3,	5,	2,	4,	7,	1,	3,	6,	1,	3,	5,	1,	3,	6,	0,	2,	5,	0,	2,	4,
1	0	0	5	0	5	0	0	5	0	0	5	0	5	0	5	5	0	0	0	0	5

Tablo 3.30 Pompa seçimi bulanık karar matrisi (devamı)

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

Bulanık en iyi ve en kötü değerler Denklem 2.7 kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3.31'de görülmektedir.

Tablo 3.31 Pompa seçimi bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-)

Kriter	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
	l	m	u	l	m	u
C1	4,50	7,00	9,00	1,00	3,00	5,50
C2	5,50	8,00	9,50	2,00	4,50	7,00
C3	2,80	5,00	7,50	1,00	3,50	6,00
C4	1,50	4,00	6,50	1,00	3,00	5,50
C5	3,00	5,50	8,00	1,00	3,50	6,00
C6	1,50	3,50	6,00	0,50	2,50	5,00
C7	1,50	3,50	6,00	0,00	2,00	4,50

Denklem 2.8 ve 2.9 ile hesaplanan \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri Tablo 3.32'da verilmiştir.

Tablo 3.32 Pompa seçimi \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri

Alternatif	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	l	m	u	l	m	u
A1	1,550	3,050	4,700	0,60	0,85	1,00
A2	0,949	1,530	2,225	0,43	0,61	0,60
A3	0,438	0,690	0,975	0,15	0,25	0,50
A4	0,100	0,633	1,225	0,08	0,43	0,90
A5	0,435	0,734	0,975	0,15	0,30	0,55

\tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri Denklem 2.10 ve 2.11 ile hesaplanmış ve Tablo 3.33'da görülmektedir.

Tablo 3.33 Pompa seçimi \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0,100	0,633	0,975
\tilde{S}^-	1,550	3,050	4,700
\tilde{R}^*	0,075	0,250	0,500
\tilde{R}^-	0,600	0,850	1,000

Denklem 2.12'de uzlaşmayı sağlamak amacıyla v değeri 0,5 alınmış ve \tilde{Q}_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulanık sayıların netleştirilmesinde Denklem 2.13 kullanılarak hesaplanan alternatiflerin \tilde{Q}_i değerleri ile birlikte Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatiflerin sıralamaları Tablo 3.34'da görülmektedir.

Tablo 3.34 Pompa seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları

Alternatif	\tilde{Q}_i			Q_i		S_i		R_i	
	l	m	u	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A1	1,000	1,000	1,000	1,000	5	3,100	5	0,817	5

Tablo 3.34 Pompa seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları (devamı)

A2	0,630	0,483	0,268	0,460	4	1,568	4	0,545	4
A3	0,188	0,012	0,000	0,067	1	0,701	2	0,300	1
A4	0,000	0,153	0,434	0,195	3	0,653	1	0,469	3
A5	0,187	0,062	0,050	0,100	2	0,714	3	0,333	2
A1	1,000	1,000	1,000	1,000	5	3,100	5	0,817	5

Uzlaşıcı çözümün belirlenmesinde Q_i indeksine göre yapılan sıralamada Adım 9'da belirtilen birinci koşul kabul edilebilir avantajın varlığı araştırılmıştır.

Denklem 2.14'e göre 1. koşul kabul edilebilir avantaj sağlanabilmesi için, 2.15 numaralı denkleme göre birinci sırada yer alan alternatif ile ikinci sırada yer alan alternatif arasında 0,25 puan farkı olmalıdır.

$$Q(a'') - Q(a') = 0,100 - 0,067 < 0,25$$

Bu sebeple kabul edilebilir avantaj görülmemiştir. Bu koşul sağlanamadığı için A3, A4 ve A5 alternatifleri benzer uzlaşmacı çözümlerdir.

Karar vermede 2. koşul kabul edilebilir istikrar, Q_i , S_i , R_i indekslerine göre alternatiflerin sıralaması Tablo 3.35'de verilmiştir.

Tablo 3.35 Pompa seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar

Q_i	A3 > A5 > A4 > A2 > A1
S_i	A4 > A3 > A5 > A2 > A1
R_i	A3 > A5 > A4 > A2 > A1

Tablo 3.35 incelendiğinde A3 alternatifinin R_i indeksinde de birinci sırada yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla karar vermede istikrar sağlandığı söylenebilir.

Bu değerlendirme sonucunda her iki şart aynı anda sağlanamamıştır. A3 birinci koşulu sağlayamadığından diğer alternatiflere göre kabul edilebilir bir avantaja sahip değildir ve uzlaşmacı bir çözümdür. Ayrıca A3 ikinci koşulu da sağladığı için, karar vermede kabul edilebilir istikrar sağlamaktadır.

3.2.3 Soğutma Suyu Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması

Gemi makine sistemlerinde ÇKKV metodlarının uygulanmasında, çalışmanın bu bölümünde örnek alınan geminin tatlı su soğutma sistemi için en uygun pompayı değerlendirmek için aralık tip-2 bulanık kümelerle dayalı ELECTRE yöntemi uygulanmıştır. Dikkate alınan değerlendirmek için maliyet etkinliği, pompa verimliliği, net pozitif emme yüksekliği, pompa ve impeller türü, debi ve çıkış basıncı, bakım ve onarım maliyetleri ve taşınabilirlik, boyut ve gürültü olmak üzere yedi farklı kriter belirlenmiş ve bu kriterler Tablo 3.28’de verilmiştir. Belirlenen alternatiflerin ve kriter ağırlıklarının değerlendirilmesinde Tablo 2. ve Tablo 2.’de bulanık kümeleri belirtilen dilsel değişkenler kullanılmıştır. Uzman değerlendirmeleri sonucu oluşan karar matrisi ve kriter ağırlıkları, hesaplanan normalize edilmiş karar matrisi ve ağırlıklı normalize karar matrisi sırasıyla Tablo 3.36, Tablo 3.37 ve Tablo 3.38’te verilmiştir.

Tablo 3.36 Pompa seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	((1,2;2,4;2,4;4,2;1;1),(2,2;2,4;2,4;3,3;0,9;0,9))	((2,6;4,2;4,2;6;1;1),(3,8;4,2;4,2;5,1;0,9;0,9))	((1,4;2,6;2,6;4,4;1;1),(2,2;2,6;2,6;3,5;0,9;0,9))	((1,2;2,4;2,4;4,2;1;1),(2,2;2,4;2,4;3,3;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;6,2;6;3,6;0,9;0,9))	((0,6;1,6;1,6;3,4;1;1),(1,3;1,6;1,6;2,5;0,9;0,9))	((0;0,8;0,8;2,6;1;1),(0,4;0,8;0,8;1,7;0,9;0,9))
A2	((2,4;4,2;4,2;6,2;1;1),(4,1;4,2;4,2;5,2;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,6;1;1),(5,6;5,8;5,8;6,7;0,9;0,9))	((2,6;4,2;4,2;6;1;1),(3,8;4,2;4,2;5,1;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;2,6;3,6;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,6;1;1),(5,6;5,8;5,8;6,7;0,9;0,9))	((0,6;1,8;1,8;3,8;1;1),(1,4;1,8;1,8;2,8;0,9;0,9))	((0;0,8;0,8;2,6;1;1),(0,4;0,8;0,8;1,7;0,9;0,9))
A3	((4;5,8;5,8;7,4;1;1),(5,3;5,8;5,8;6,6;0,9;0,9))	((6,6;8,4;8,4;9,4;1;1),(7,7;8,4;8,4;8,9;0,9;0,9))	((4;5,8;5,8;7,4;1;1),(5,3;5,8;5,8;6,6;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;2,6;3,6;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,6;1;1),(5,6;5,8;5,8;6,7;0,9;0,9))	((0,6;1,6;1,6;3,4;1;1),(1,3;1,6;1,6;2,5;0,9;0,9))	((1,8;3,2;3,2;5,1;1;1),(3,1;3,2;3,2;4,1;0,9;0,9))
A4	((5,8;7,6;7,6;8,8;1;1),(7,1;7,6;7,6;8,2;0,9;0,9))	((7;8,6;8,6;9,4;1;1),(8;8,6;8,6;9;0,9;0,9))	((4;5,8;5,8;7,4;1;1),(5,3;5,8;5,8;6,6;0,9;0,9))	((1,8;3,4;3,4;5,4;1;1),(3,2;3,4;3,4;4,4;0,9;0,9))	((2,6;4,2;4,2;6;1;1),(3,8;4,2;4,2;5,1;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;6,2;6;3,6;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;2,6;3,6;0,9;0,9))

Tablo 3.36 Pompa seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları (devamı)

A5	((4,6;6,6;6,6;8,2;1;1),(6,2;6,6;6,6;7,4;0,9;0,9))	((6,6;8,4;8,4;9,4;1;1),(7,7;8,4;8,4;8,9;0,9;0,9))	((3,2;5;5;6,8;1;1),(4,7;5;5;5,9;0,9;0,9))	((1,2;2,4;2,4;4,2;1;1),(2,2;2,4;2,4;3,3;0,9;0,9))	((2,6;4,2;4,2;6;1;1),(3,8;4,2;4,2;5,1;0,9;0,9))	((2;3,2;3,2;4,8;1;1),(2,8;3,2;3,2;4;0,9;0,9))	((1,2;2,6;2,6;4,6;1;1),(2,3;2,6;2,6;3,6;0,9;0,9))
W	((0,3;0,5;0,5;0,68;1;1),(0,4;0,5;0,5;0,63;0,9;0,9))	((0,78;0,94;0,94;1;1),(0,8;6;0,94;0,94;0,97;0,9;0,9))	((0,5;0,7;0,7;0,86;1;1),(0,62;0,7;0,7;0,8;0,9;0,9))	((0,18;0,34;0,34;0,54;1;1),(0,24;0,34;0,34;0,48;0,9;0,9))	((0,22;0,12;0,06;0,62;1;1),(0,34;0,42;0,42;0,5;6;0,9;0,9))	((0,12;0,28;0,28;0,46;1;1),(0,16;0,28;0,28;0,4;3;0,9;0,9))	((0,06;0,18;0,18;0,34;1;1),(0,06;0,18;0,18;0,32;0,9;0,9))

Tablo 3.37 Pompa seçimi normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	((0,14;0,27;0,27;0,48;1;1),(0,27;0,29;0,29;0,4;0,9;0,9))	((0,28;0,45;0,45;0,64;1;1),(0,4;2;0,47;0,47;0,57;0,9;0,9))	((0,19;0,35;0,35;0,59;1;1),(0,3;0,39;0,39;0,53;0,9;0,9))	((0,22;0,44;0,44;0,78;1;1),(0,5;0,55;0,55;0,75;0,9;0,9))	((0,16;0,34;0,34;0,61;1;1),(0,3;4;0,39;0,39;0,54;0,9;0,9))	((0,13;0,33;0,33;0,71;1;1),(0,3;3;0,4;0,4;0,63;0,9;0,9))	((0,0,16;0,16;0,52;1;1),(0,1;0,2;0,2;0,41;0,9;0,9))
A2	((0,27;0,48;0,48;0,71;1;1),(0,5;0,51;0,51;0,63;0,9;0,9))	((0,4;0,62;0,62;0,81;1;1),(0,62;0,64;0,64;0,74;0,9;0,9))	((0,35;0,57;0,57;0,81;1;1),(0,5;8;0,64;0,64;0,77;0,9;0,9))	((0,22;0,48;0,48;0,85;1;1),(0,5;2;0,59;0,59;0,82;0,9;0,9))	((0,5;0,76;0,76;1;1),(0,84;0,8;7;0,87;1;0,9;0,9))	((0,13;0,33;0,33;0,71;1;1),(0,3;5;0,45;0,45;0,7;0,9;0,9))	((0,0,16;0,16;0,52;1;1),(0,1;0,2;0,2;0,41;0,9;0,9))
A3	((0,45;0,66;0,66;0,84;1;1),(0,6;5;0,71;0,71;1;0,8;0,9;0,9))	((0,7;0,89;0,89;1;1),(0,86;0,9;3;0,93;0,9;0,9;0,9))	((0,54;0,78;0,78;1;1),(0,8;0,88;1;0,9;0,9))	((0,22;0,48;0,48;0,85;1;1),(0,5;2;0,59;0,59;0,82;0,9;0,9))	((0,5;0,76;0,76;1;1),(0,84;0,8;7;0,87;1;0,9;0,9))	((0,13;0,33;0,33;0,71;1;1),(0,3;3;0,4;0,4;0,63;0,9;0,9))	((0,36;0,64;0,64;1;1),(0,76;0,78;0,78;1;0,9;0,9))
A4	((0,66;0,86;0,86;1;1),(0,87;0,93;0,93;1;0,9;0,9))	((0,74;0,91;0,91;1;1),(0,89;0,96;0,96;1;0,9;0,9))	((0,54;0,78;0,78;1;1),(0,8;0,88;1;0,9;0,9))	((0,33;0,63;0,63;1;1),(0,73;0,77;0,77;1;0,9;0,9))	((0,34;0,55;0,55;0,71;1;1),(0,5;9;1;1),(0,5;7;0,63;0,63;3;0,76;0,9;0,9))	((0,25;0,54;0,54;0,96;1;1),(0,5;8;0,65;0,65;5;0,9;0,9;0,9))	((0,24;0,52;0,52;0,92;1;1),(0,5;6;0,63;0,63;3;0,88;0,9;0,9))
A5	((0,52;0,75;0,75;0,93;1;1),(0,7;6;0,8;0,8;0,9;0,9;0,9))	((0,7;0,89;0,89;1;1),(0,86;0,9;3;0,93;0,9;0,9;0,9))	((0,43;0,68;0,68;0,92;1;1),(0,7;1;0,76;0,76;6;0,89;0,9;0,9))	((0,22;0,44;0,44;0,78;1;1),(0,5;0,55;0,55;0,75;0,9;0,9))	((0,34;0,55;0,55;0,71;1;1),(0,5;9;1;1),(0,5;7;0,63;0,63;3;0,76;0,9;0,9))	((0,42;0,67;0,67;1;1),(0,7;0,8;1;0,9;0,9))	((0,24;0,52;0,52;0,92;1;1),(0,5;6;0,63;0,63;3;0,88;0,9;0,9))

Tablo 3.38 Pompa seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	((0,04;0,1 4;0,14;0,3 2;1;1),(0,1 1;0,15;0,1 5;0,25;0,9; 0,9))	((0,22;0,4 2;0,42;0,6 4;1;1),(0,3 6;0,44;0,4 4;0,55;0,9; 0,9))	((0,09;0,2 5;0,25;0,5 1;1;1),(0,1 9;0,28;0,2 8;0,42;0,9; 0,9))	((0,04;0,1 5;0,15;0,4 2;1;1),(0,1 2;0,19;0,1 9;0,36;0,9; 0,9))	((0,03;0,0 4;0,02;0,3 8;1;1),(0,1 2;0,16;0,1 6;0,3;0,9;0 ,9))	((0,02;0,0 9;0,09;0,3 3;1;1),(0,0 5;0,11;0,1 1;0,27;0,9; 0,9))	((0;0,03;0, 03;0,18;1; 1),(0,01;0, 04;0,04;0, 13;0,9;0,9)
A2	((0,08;0,2 4;0,24;0,4 8;1;1),(0,2 ;0,26;0,26; 0,4;0,9;0,9)	((0,32;0,5 8;0,58;0,8 1;1;1),(0,5 4;0,61;0,6 1;0,72;0,9; 0,9))	((0,18;0,4; 0,4;0,7;1;1) ,(0,36;0,4 5;0,45;0,6 2;0,9;0,9))	((0,04;0,1 6;0,16;0,4 6;1;1),(0,1 3;0,2;0,2;0 ,39;0,9;0,9)	((0,11;0,0 9;0,05;0,6 2;1;1),(0,2 8;0,36;0,3 6;0,56;0,9; 0,9))	((0,02;0,1 1;0,11;0,3 6;1;1),(0,0 6;0,13;0,1 3;0,3;0,9;0 ,9))	((0;0,03;0, 03;0,18;1; 1),(0,01;0, 04;0,04;0, 13;0,9;0,9)
A3	((0,14;0,3 3;0,33;0,5 7;1;1),(0,2 6;0,35;0,3 5;0,51;0,9; 0,9))	((0,55;0,8 4;0,84;1;1; 1),(0,74;0, 88;0,88;0, 96;0,9;0,9)	((0,27;0,5 5;0,55;0,8 6;1;1),(0,5 ;0,62;0,62; 0,8;0,9;0,9)	((0,04;0,1 6;0,16;0,4 6;1;1),(0,1 3;0,2;0,2;0 ,39;0,9;0,9)	((0,11;0,0 9;0,05;0,6 2;1;1),(0,2 8;0,36;0,3 6;0,56;0,9; 0,9))	((0,02;0,0 9;0,09;0,3 3;1;1),(0,0 5;0,11;0,1 1;0,27;0,9; 0,9))	((0,02;0,1 2;0,12;0,3 4;1;1),(0,0 5;0,14;0,1 4;0,32;0,9; 0,9))
A4	((0,2;0,43; 0,43;0,68; 1;1),(0,35; 0,46;0,46; 0,63;0,9;0, 9))	((0,58;0,8 6;0,86;1;1; 1),(0,76;0, 9;0,9;0,97; 0,9;0,9))	((0,27;0,5 5;0,55;0,8 6;1;1),(0,5 ;0,62;0,62; 0,8;0,9;0,9)	((0,06;0,2 1;0,21;0,5 4;1;1),(0,1 7;0,26;0,2 6;0,48;0,9; 0,9))	((0,08;0,0 7;0,03;0,4 9;1;1),(0,1 9;0,26;0,2 6;0,43;0,9; 0,9))	((0,03;0,1 5;0,15;0,4 4;1;1),(0,0 9;0,18;0,1 8;0,39;0,9; 0,9))	((0,01;0,0 9;0,09;0,3 1;1;1),(0,0 3;0,11;0,1 1;0,28;0,9; 0,9))
A5	((0,16;0,3 8;0,38;0,6 3;1;1),(0,3 ;0,4;0,4;0, 57;0,9;0,9)	((0,55;0,8 4;0,84;1;1; 1),(0,74;0, 88;0,88;0, 96;0,9;0,9)	((0,22;0,4 7;0,47;0,7 9;1;1),(0,4 4;0,53;0,5 3;0,72;0,9; 0,9))	((0,04;0,1 5;0,15;0,4 2;1;1),(0,1 2;0,19;0,1 9;0,36;0,9; 0,9))	((0,08;0,0 7;0,03;0,4 9;1;1),(0,1 9;0,26;0,2 6;0,43;0,9; 0,9))	((0,05;0,1 9;0,19;0,4 6;1;1),(0,1 1;0,22;0,2 2;0,43;0,9; 0,9))	((0,01;0,0 9;0,09;0,3 1;1;1),(0,0 3;0,11;0,1 1;0,28;0,9; 0,9))

Tablo 3.39’de yer alan etkin uyum matrisi F incelendiğinde A4 alternatifinin diğer tüm alternatiflere karşı etkin üstünlük sağladığı görülmektedir, A1 alternatifinin ise hiçbir alternatife karşı üstünlük sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.39 Pompa seçimi F Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	0
A2	1		0	0	0
A3	1	1		0	1

Tablo 3.39 Pompa seçimi F Matrisi (devamı)

A4	1	1	1		1
A5	1	1	1	0	

Tablo 3.40’de yer alan etkin uyum matrisi F incelendiğinde A4 alternatifinin diğer tüm alternatiflere karşı etkin üstünlük sağladığı görülmektedir, A1 alternatifinin ise hiçbir alternatife karşı üstünlük sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.40 Pompa seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0,71	0,82	1,00	0,90
A2	0,00		0,66	0,90	0,79
A3	0,00	0,00		0,61	0,33
A4	0,00	0,26	0,31		0,16
A5	0,00	0,24	0,51	0,67	

Tablo 3.40’de uyumsuzluk yönünden ikili karşılaştırmalar sonucu alternatiflerin puanlarının sayılara dönüştürülmüş hali NI uyumsuzluk matrisi verilmiştir.

Tablo 3.41 Pompa seçimi G Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	0
A2	1		0	0	0
A3	1	1		0	1
A4	1	1	1		1
A5	1	1	0	0	

Tablo 3.41’te verilen en etkili uyumsuzluk matrisi G incelendiğinde, F matrisinde olduğu gibi A4 alternatifinin diğer tüm alternatiflere üstünlük sağladığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.42 Pompa seçimi H Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0	0	0	0
A2	1		0	0	0
A3	1	1		0	1
A4	1	1	1		1
A5	1	1	0	0	

En etkin üstünlük ve sıralama belirleme kullanılan H matrisi Tablo 3.42’te verilmiştir. H matrisinde görüldüğü üzere A4 alternatifi ikili karşılaştırmalar sonucu diğer tüm alternatiflere üstünlük sağlamıştır. İkinci sırada ise A4 alternatifi dışındaki seçeneklere üstünlük sağladığı görülen A3 alternatifi yer almaktadır.

3.3 Yağlama Yağı Sistemi

Gemilerde yağlama yağı sistemi, ana makine ve yardımcı makinelerin hareketli parçaları arasında sürekli bir yağ filmi oluşturarak metal yüzeyler arasındaki sürtünmeyi, aşınmayı ve ısınmayı en aza indirmeyi amaçlar. Sistemin merkezi yağın toplandığı servis tankı veya karkerdir, buradan transfer pompası aracılığıyla alınan yağ, yüksek basınç pompalarına iletilir. Yüksek basınç altında makinenin ana ve ara yataklarına, piston segmanlarına ve turbo-şarjör miline dağıtılan yağ, iş gören yüzeylerde ince bir film oluşturarak çalışma sıcaklıklarının kontrol altında kalmasına yardımcı olur. Yüzeylerden dökülen yağ, karter veya toplama oluklarına dönerek gravitasyonla tekrar yönlendirilir ve sirkülasyon böylece kesintisiz devam eder. Bu döngü, yağ seviyesinin servis tankı göstergeleriyle yakından izlenmesi, yatak ve silindir yağ basınçlarının düzenli kontrolü ve giriş-çıkış sıcaklıklarının kaydedilmesiyle desteklenir.

Gemilerde ana makine yağlama yağı tatlı su veya deniz suyu ile soğutulmaktadır. Örnek alınan gemide yağlama yağı tatlı su ile soğutulmaktadır. Bu bölümde Bölüm 3.2’de tanıtılan örnek geminin ana makine yağlama yağı sistemi için uygun ısı değiştirici seçimi VİKOR ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Yağlama Yağı Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması

Bir geminin ana makine yağlama yağı sistemi için uygun bir ısı değiştirici seçimi, optimum sistem performansını, operasyonel verimliliği ve güvenliği sağlamada önemli bir karardır. Bu bölümde VİKOR yöntemi kullanılarak örnek alınan gemi için soğutucu akışkan olarak tatlı su kullanılan yağlama yağı kuleri seçimi yapılmıştır. Beş alternatif beş uzman tarafından yedi kriter göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.43 Yağlama yağı kuleri alternatifleri

Kısa Tanım	Alternatif
A1	Al
A2	Hr
A3	Lh
A4	Hi
A5	Er

Tablo 3.43'te ana makine yağlama yağı sisteminde dünya genelinde kullanılan seçili ısı değiştirici alternatifleri verilmiştir. Gemi tipleri değiştiğinde ana makine ve yardımcıları çok fazla farklılık göstermese de soğutma suyu sistemleri farklılık gösterebilir. Bu nedenle bu kriterler, farklı gemi tiplerinde tecrübeli uzmanlar, teorik ve akademik bakış açısı sağlaması açısından bir akademisyenler tarafından değerlendirilmiştir.

Tablo 3.44 Yağlama yağı kuleri seçimi uzmanların özellikleri

Uzmanlar	Beceriler, Deneyim
1	Akademisyen, Dr., 10 yıllık tecrübe
2	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
3	Akademisyen, Doç.Dr., 15 yıllık tecrübe

Tablo 3.44 Yağlama yağı kuleri seçimi uzmanların özellikleri (devamı)

4	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
5	Bakım Onarım İşletmecisi, 20 yıllık tecrübe

Tablo 3.44'te beş uzmanın becerileri, özellikleri ve sektördeki deneyim süreleri gösterilmektedir.

Tablo 3.45 Kuler seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları

Kısa Tanım	Kriter	Açıklama
C1	Fiyat	Uygun maliyetli ve fiyatına değer
C2	Malzeme	Kullanılan malzeme kalitesi ve dayanımı
C3	Boyut	
C4	Yedek parça	Dünya genelinde yedek parça erişimi
C5	Isı transferi kapasitesi	
C6	Performans	

Tablo 3.45'te belirtilen her bir kriterin önem düzeyi, kullanılan yöntem için verilen dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Tüm kriterler fayda olarak değerlendirilmiştir. Yorum yapılırken örneğin fiyatın uygunluğu faydalı olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 3.46 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları

Kriter	Bulanık Ağırlık (wj)		
	l	m	u
C1	0,35	0,60	0,85
C2	0,40	0,65	0,90

Tablo 3.46 Pompa seçimi kriterlerin entegre bulanık ağırlıkları (devamı)

C3	0,25	0,50	0,75
C4	0,25	0,50	0,75
C5	0,60	0,85	1,00
C6	0,60	0,85	1,00

Tablo 3.46 incelendiğinde C5 ve C6 kriterlerinin öne çıktığı görülmektedir. Isı transfer kapasitesi ve performans kriterlerinin uzmanlar tarafından diğer kriterlere göre daha önemli bulunduğu anlaşılmaktadır.

Uzmanlar, belirlenen kriterlere göre ve Tablo 2.2'deki dilsel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeden elde edilen dilsel değişkenler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Daha sonra Tablo 3.47'de verilen bulanık karar matrisi Denklem 2.5 kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.47 Kuler seçimi bulanık karar matrisi

	C1			C2			C3			C4			C5			C6		
A1	5,0	7,5	9,5	5,0	7,5	10,0	4,0	6,5	8,5	5,5	8,0	10,0	5,0	7,5	10,0	6,0	8,5	10,0
A2	2,5	5,0	7,5	2,5	5,0	7,5	2,5	5,0	7,5	2,0	4,5	7,0	2,5	5,0	7,5	1,5	4,0	6,5
A3	4,0	6,5	9,0	2,5	5,0	7,5	3,0	5,5	8,0	3,0	5,5	8,0	3,0	5,5	8,0	2,5	5,0	7,5
A4	5,5	8,0	10,0	4,0	6,5	9,0	3,5	6,0	8,5	4,0	6,5	9,0	4,5	7,0	9,0	4,0	6,5	9,0
A5	2,0	4,5	7,0	1,5	4,0	6,5	2,0	4,5	7,0	0,0	2,5	5,0	2,5	5,0	7,5	2,0	4,5	7,0

Bulanık en iyi ve en kötü değerler Denklem 2.7 kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3.48'de görülmektedir.

Tablo 3.48 Kuler seçimi bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-)

Kriter	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
	l	m	u	l	m	u
C1	5,50	8,00	10,00	2,00	4,50	7,00

Tablo 3.48 Kuler seçimi bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-)
(devamı)

C2	5,00	7,50	10,00	1,50	4,00	6,50
C3	4,00	6,50	8,50	2,00	4,50	7,00
C4	5,50	8,00	10,00	0,00	2,50	5,00
C5	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50
C6	6,00	8,50	10,00	1,50	4,00	6,50

Denklem 2.8 ve 2.9 ile hesaplanan \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri Tablo 3.49'da verilmiştir.

Tablo 3.49 Kuler seçimi \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri

Alternatif	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	l	m	u	l	m	u
A1	0,050	0,086	0,142	0,05	0,09	0,14
A2	2,132	3,372	4,301	0,60	0,85	1,00
A3	1,621	2,540	2,990	0,480	0,680	0,800
A4	0,498	0,806	0,807	0,27	0,38	0,29
A5	2,383	3,856	5,107	0,60	0,85	1,00

\tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri Denklem 2.10 ve 2.11 ile hesaplanmış ve Tablo 3.50'de görülmektedir.

Tablo 3.50 Kuler seçimi \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0,050	0,086	0,142
\tilde{S}^-	2,383	3,856	5,107

Tablo 3.50 Kuler seçimi \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri (devamı)

\tilde{R}^*	0,050	0,086	0,142
\tilde{R}^-	0,600	0,850	1,000

Denklem 2.12'de uzlaşmayı sağlamak amacıyla v değeri 0,5 alınmış ve \tilde{Q}_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulanık sayıların netleştirilmesinde Denklem 2.13 kullanılarak hesaplanan Q_i , S_i ve R_i indeksleri Tablo 3.51'de görülmektedir.

Tablo 3.51 Kuler seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları

Alternatif	\tilde{Q}_i			Q_i		S_i		R_i	
	l	m	u	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A1	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,092	1	0,092	1
A2	0,946	0,936	0,919	0,934	4	3,268	4	0,817	4
A3	0,728	0,714	0,670	0,704	3	2,384	3	0,653	3
A4	0,293	0,287	0,151	0,244	2	0,704	2	0,310	2
A5	1,000	1,000	1,000	1,000	5	3,782	5	0,817	5

Uzlaşıcı çözümün belirlenmesinde Q_i indeksine göre yapılan sıralamada Adım 9'da belirtilen birinci koşul kabul edilebilir avantajın varlığı araştırılmıştır.

Denklem 2.14'e göre 1. koşul kabul edilebilir avantaj sağlanabilmesi için, 15 numaralı denkleme göre birinci sırada yer alan alternatif ile ikinci sırada yer alan alternatif arasında 0,25 puan farkı olmalıdır.

$$Q(a'') - Q(a') = 0,000 - 0,244 < 0,25$$

Bu sebeple kabul edilebilir avantaj görülmemiştir. Bu konuş sağlanamadığı için A1 ve A4 alternatifleri benzer uzlaşmacı çözümlerdir.

Karar vermede 2. koşul kabul edilebilir istikrar, Q_i , S_i , R_i indekslerine göre alternatiflerin sıralaması Tablo 3.52'de verilmiştir.

Tablo 3.52 Kuler seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar

Q_i	A1 > A4 > A3 > A2 > A5
S_i	A1 > A4 > A3 > A2 > A5
R_i	A1 > A4 > A3 > A2 > A5

Tablo 3.52 incelendiğinde A1 alternatifinin R_i indeksinde de birinci sırada yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla karar vermede istikrar sağlandığı söylenebilir.

Bu değerlendirme sonucunda her iki şart aynı anda sağlanamamıştır. A1 birinci koşulu sağlayamadığından diğer alternatiflere göre kabul edilebilir bir avantaja sahip değildir ve uzlaşmacı bir çözümdür. Ayrıca A1 ikinci koşulu da sağladığı için, karar vermede kabul edilebilir istikrar sağlamaktadır.

3.3.2 Yağlama Yağı Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması

Gemi makine sistemlerinde ÇKKV metodlarının uygulanmasında, çalışmanın bu bölümünde örnek alınan geminin ana makine yağlama yağı sisteminde kullanılan yağlama yağı kulerini değerlendirmek için aralık tip-2 bulanık kümelerle dayalı ELECTRE yöntemi uygulanmıştır. Dikkate alınan alternatifleri değerlendirmek için fiyat, malzeme, boyut, yedek parça, ısı transferi kapasitesi, performans olmak üzere altı farklı kriter belirlenmiş ve bu kriterler Tablo 3.45’de verilmiştir. Belirlenen alternatiflerin ve kriter ağırlıklarının değerlendirilmesinde Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te belirtilen dilsel değişkenler kullanılmıştır.

Uzman değerlendirmeleri sonucu oluşan karar matrisi ve kriter ağırlıkları, hesaplanan normalize edilmiş karar matrisi ve ağırlıklı normalize karar matrisi sırasıyla Tablo 3.53, Tablo 3.54 ve Tablo 3.55’te verilmiştir.

Tablo 3.53 Kuler seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	((5,8;7,8;7,8;9,4;1;1),(6,2;7,8;7,8;9,2;0,9;0,9))	((7,9;9;10;1;1),(8;9;9;9,5;0,9;0,9))	((6,2;8;8;9,4;1;1),(6,5;8;8;9,3;0,9;0,9))	((7,4;9,2;9,2;1;0;1;1),(8,3;9,2;9,2;9,6;0,9;0,9))	((7,9;9;10;1;1),(8;9;9;9,5;0,9;0,9))	((7,8;9,4;9,4;1;0;1;1),(8,6;9,4;9,4;9,7;0,9;0,9))

Tablo 3.53 Kuler seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları (devamı)

A 2	((4,2;6,2;6,2; 8,2;1;1),(5;6, 2;6,2;7,8;0,9; 0,9))	((4,2;6,2;6,2; ;8,2;1;1),(5; 6,2;6,2;7,8;0 ,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4 ;7,4;1;1),(5; 5,4;5,4;6,6;0 ,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1 ,(4,2;5;5;6,4; 0,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1 ,(5;5;5;6;0, 9;0,9))	((2,2;4,2;4,2; 6,2;1;1),(3,4; 4,2;4,2;5,6;0 ,9;0,9))
A 3	((5,8;7,8;7,8; 9,4;1;1),(6,2; 7,8;7,8;9,2;0 9;0,9))	((3,8;5,8;5,8 ;7,8;1;1),(5; 5,8;5,8;7,2;0 ,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2 ;8,2;1;1),(5; 6,2;6,2;7,8;0 ,9;0,9))	((4,6;6,6;6,6; 8,6;1;1),(5;6, 6;6,6;8,4;0,9; 0,9))	((4,2;6,2;6,2 ;8,2;1;1),(5; 6,2;6,2;7,8;0 ,9;0,9))	((3;5;5;7;1;1 ,(5;5;5;6;0,9 ;0,9))
A 4	((7,4;9,2;9,2; 10;1;1),(8,3; 9,2;9,2;9,6;0 9;0,9))	((6,2;8,2;8,2 ;9,6;1;1),(6, 8;8,2;8,2;9,3 ;0,9;0,9))	((5,8;7,8;7,8 ;9,4;1;1),(6, 2;7,8;7,8;9,2 ;0,9;0,9))	((6,2;8,2;8,2; 9,6;1;1),(6,8; 8,2;8,2;9,3;0 9;0,9))	((5;7;7;9;1;1 ,(5;7;7;9;0, 9;0,9))	((5,8;7,8;7,8; 9,4;1;1),(6,2; 7,8;7,8;9,2;0 ,9;0,9))
A 5	((2,6;4,6;4,6; 6,6;1;1),(4,2; 4,6;4,6;5,8;0 9;0,9))	((2,2;4,2;4,2 ;6,2;1;1),(3, 4;4,2;4,2;5,6 ;0,9;0,9))	((2,6;4,6;4,6 ;6,6;1;1),(4, 2;4,6;4,6;5,8 ;0,9;0,9))	((0,6;2,2;2,2; 4,2;1;1),(0,8; 2,2;2,2;3,8;0 9;0,9))	((3,4;5,4;5,4 ;7,4;1;1),(5; 5,4;5,4;6,6;0 ,9;0,9))	((2,6;4,6;4,6; 6,6;1;1),(4,2; 4,6;4,6;5,8;0 ,9;0,9))
W	((0,5;0,54;0, 34;0,3;0,62;0 ,62),(0,56;0, 7;0,7;0,85;0, 9;0,9))	((0,54;0,74; 0,74;0,9;1;1) ,(0,62;0,74;0 ,74;0,86;0,9; 0,9))	((0,34;0,54; 0,54;0,74;1; 1),(0,42;0,5 4;0,54;0,7;0, 9;0,9))	((0,3;0,5;0, 5;0,7;1;1),(0,42;0,5;0, 5;0,64;0,9; 0,9))	((0,62;0,82;0,8 2;0,96;1;1),(0, 68;0,82;0,82;0, 93;0,9;0,9))	((0,62;0,82;0 ,82;0,96;1;1) ,(0,68;0,82;0 ,82;0,93;0,9; 0,9))

Tablo 3.54 Kuler seçimi normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A 1	((0,58;0,78;0 ,78;0,94;1;1) ,(0,65;0,81;0 ,81;0,96;0,9; 0,9))	((0,7;0,9;0,9; 1;1;1),(0,84; 0,95;0,95;1; 0,9;0,9))	((0,66;0,85;0 ,85;1;1;1),(0, 7;0,86;0,86; 1;0,9;0,9))	((0,74;0,92;0 ,92;1;1;1),(0, 86;0,96;0,96 ;1;0,9;0,9))	((0,7;0,9;0,9; 1;1;1),(0,84; 0,95;0,95;1; 0,9;0,9))	((0,78;0,94;0 ,94;1;1;1),(0, 89;0,97;0,97 ;1;0,9;0,9))
A 2	((0,42;0,62;0 ,62;0,82;1;1) ,(0,52;0,65;0 ,65;0,81;0,9; 0,9))	((0,42;0,62;0 ,62;0,82;1;1) ,(0,53;0,65;0 ,65;0,82;0,9; 0,9))	((0,36;0,57;0 ,57;0,79;1;1) ,(0,54;0,58;0 ,58;0,71;0,9; 0,9))	((0,3;0,5;0,5; 0,7;1;1),(0,4 4;0,52;0,52; 0,67;0,9;0,9))	((0,3;0,5;0,5; 0,7;1;1),(0,5 3;0,53;0,53; 0,63;0,9;0,9))	((0,22;0,42;0 ,42;0,62;1;1) ,(0,35;0,43;0 ,43;0,58;0,9; 0,9))
A 3	((0,58;0,78;0 ,78;0,94;1;1) ,(0,65;0,81;0 ,81;0,96;0,9; 0,9))	((0,38;0,58;0 ,58;0,78;1;1) ,(0,53;0,61;0 ,61;0,76;0,9; 0,9))	((0,45;0,66;0 ,66;0,87;1;1) ,(0,54;0,67;0 ,67;0,84;0,9; 0,9))	((0,46;0,66;0 ,66;0,86;1;1) ,(0,52;0,69;0 ,69;0,88;0,9; 0,9))	((0,42;0,62;0 ,62;0,82;1;1) ,(0,53;0,65;0 ,65;0,82;0,9; 0,9))	((0,3;0,5;0,5; 0,7;1;1),(0,5 2;0,52;0,52; 0,62;0,9;0,9))
A 4	((0,74;0,92;0 ,92;1;1;1),(0, 86;0,96;0,96 ;1;0,9;0,9))	((0,62;0,82;0 ,82;0,96;1;1) ,(0,72;0,86;0 ,86;0,98;0,9; 0,9))	((0,62;0,83;0 ,83;1;1;1),(0, 67;0,84;0,84 ;0,99;0,9;0,9)	((0,62;0,82;0 ,82;0,96;1;1) ,(0,71;0,85;0 ,85;0,97;0,9; 0,9))	((0,5;0,7;0,7; 0,9;1;1),(0,5 3;0,74;0,74; 0,95;0,9;0,9))	((0,58;0,78;0 ,78;0,94;1;1) ,(0,64;0,8;0, 8;0,95;0,9;0, 9))

Tablo 3.54 Kuler seçimi normalize karar matrisi (devamı)

A5	((0,26;0,46;0,46;0,66;1;1), (0,44;0,48;0,48;0,6;0,9;0,9))	((0,22;0,42;0,42;0,62;1;1), (0,36;0,44;0,44;0,59;0,9;0,9))	((0,28;0,49;0,49;0,7;1;1), (0,45;0,49;0,49;0,62;0,9;0,9))	((0,06;0,22;0,22;0,42;1;1), (0,08;0,23;0,23;0,4;0,9;0,9))	((0,34;0,54;0,54;0,74;1;1), (0,53;0,57;0,57;0,69;0,9;0,9))	((0,26;0,46;0,46;0,66;1;1), (0,43;0,47;0,47;0,6;0,9;0,9))
-----------	---	--	---	---	--	---

Tablo 3.55 Kuler seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	((0,29;0,42;0,27;0,28;1;1), (0,36;0,57;0,57;0,81;0,9;0,9))	((0,38;0,67;0,67;0,9;1;1), (0,52;0,7;0,7;0,86;0,9;0,9))	((0,22;0,46;0,46;0,74;1;1), (0,29;0,46;0,46;0,7;0,9;0,9))	((0,22;0,46;0,46;0,7;1;1), (0,36;0,48;0,48;0,64;0,9;0,9))	((0,43;0,74;0,74;0,96;1;1), (0,57;0,78;0,78;0,93;0,9;0,9))	((0,48;0,77;0,77;0,96;1;1), (0,6;0,79;0,79;0,93;0,9;0,9))
A2	((0,21;0,33;0,21;0,25;1;1), (0,29;0,45;0,45;0,69;0,9;0,9))	((0,23;0,46;0,46;0,74;1;1), (0,33;0,48;0,48;0,71;0,9;0,9))	((0,12;0,31;0,31;0,58;1;1), (0,23;0,31;0,31;0,5;0,9;0,9))	((0,09;0,25;0,25;0,49;1;1), (0,18;0,26;0,26;0,43;0,9;0,9))	((0,19;0,41;0,41;0,67;1;1), (0,36;0,43;0,43;0,59;0,9;0,9))	((0,14;0,34;0,34;0,6;1;1), (0,24;0,36;0,36;0,54;0,9;0,9))
A3	((0,29;0,42;0,27;0,28;1;1), (0,36;0,57;0,57;0,81;0,9;0,9))	((0,21;0,43;0,43;0,7;1;1), (0,33;0,45;0,45;0,65;0,9;0,9))	((0,15;0,36;0,36;0,65;1;1), (0,23;0,36;0,36;0,59;0,9;0,9))	((0,14;0,33;0,33;0,6;1;1), (0,22;0,34;0,34;0,56;0,9;0,9))	((0,26;0,51;0,51;0,79;1;1), (0,36;0,54;0,54;0,76;0,9;0,9))	((0,19;0,41;0,41;0,67;1;1), (0,35;0,42;0,42;0,58;0,9;0,9))
A4	((0,37;0,5;0,31;0,3;1;1), (0,48;0,67;0,67;0,85;0,9;0,9))	((0,33;0,61;0,61;0,86;1;1), (0,44;0,64;0,64;0,84;0,9;0,9))	((0,21;0,45;0,45;0,74;1;1), (0,28;0,45;0,45;0,69;0,9;0,9))	((0,19;0,41;0,41;0,67;1;1), (0,3;0,43;0,43;0,62;0,9;0,9))	((0,31;0,57;0,57;0,86;1;1), (0,36;0,6;0,6;0,88;0,9;0,9))	((0,36;0,64;0,64;0,9;1;1), (0,43;0,66;0,66;0,88;0,9;0,9))
A5	((0,13;0,25;0,16;0,2;1;1), (0,25;0,34;0,34;0,51;0,9;0,9))	((0,12;0,31;0,31;0,56;1;1), (0,22;0,33;0,33;0,51;0,9;0,9))	((0,09;0,26;0,26;0,52;1;1), (0,19;0,27;0,27;0,44;0,9;0,9))	((0,02;0,11;0,11;0,29;1;1), (0,04;0,11;0,11;0,25;0,9;0,9))	((0,21;0,44;0,44;0,71;1;1), (0,36;0,47;0,47;0,65;0,9;0,9))	((0,16;0,38;0,38;0,63;1;1), (0,29;0,39;0,39;0,56;0,9;0,9))

Tablo 3.56 Kuler seçimi F Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		0	0	1
A3	0	1		0	1
A4	0	1	1		1

Tablo 3.56 Kuler seçimi F Matrisi (devamı)

A5	0	0	0	0	
-----------	---	---	---	---	--

Tablo 3.56’da yer alan etkin uyum matrisi F incelendiğinde A1 alternatifinin diğer tüm alternatiflere karşı etkin üstünlük sağladığı görülmektedir, A5 alternatifinin ise hiçbir alternatifte karşı üstünlük sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.57 Kuler seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0,00	0,00	0,20	0,00
A2	1,00		0,86	1,00	0,45
A3	0,86	0,23		1,00	0,00
A4	0,86	0,00	0,00		0,00
A5	1,00	0,72	1,00	1,00	

Tablo 3.57’de uyumsuzluk yönünden ikili karşılaştırmalar sonucu alternatiflerin puanlarının sayılara dönüştürülmüş hali NI uyumsuzluk matrisi verilmiştir. Tablo incelendiğinde A1 alternatifinin uyumsuzluk yönünden diğer tüm alternatiflere göre üstün geldiği görülmektedir.

Tablo 3.58 Kuler seçimi G Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		0	0	1
A3	0	1		0	1
A4	0	1	1		1
A5	0	0	0	0	

Tablo 3.58’de verilen en etkili uyumsuzluk matrisi G incelendiğinde, F matrisinde olduğu gibi A1 alternatifinin diğer tüm alternatiflere üstünlük sağladığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.59 Kuler seçimi H Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		0	0	1
A3	0	1		0	1
A4	0	1	1		1
A5	0	0	0	0	

En etkin üstünlük ve sıralama belirleme kullanılan H matrisi Tablo 3.59’te verilmiştir. H matrisinde görüldüğü üzere A1 alternatifi ikili karşılaştırmalar sonucu diğer tüm alternatiflere üstünlük sağlamıştır. İkinci sırada ise A1 alternatifi dışındaki seçeneklere üstünlük sağladığı görülen A4 alternatifi yer almaktadır.

3.4 Kazan Sistemi

Kazan, besleme suyunu ısıtarak buhar üreten bir ünedir. Gemide elde edilen buhar ısıtma, yük ısıtma, yangın söndürme sistemleri ve inert gaz üretimi gibi farklı amaçlarla kullanılır. Kazan yakıt brülörü veya egzoz gazı gibi bir ısı kaynağıyla çalışır, suyu buharlaştırdıktan sonra buhar hattına gönderir. İşletim sırasında besleme suyu seviyesi, buhar basıncı ve sıcaklığı sürekli izlenerek güvenli ve verimli çalışma sağlanır. Gemi tiplerine göre kullanılan kazan sistemleri farklılıklar göstermektedir. Bazı modern gemilerde kazanlarda su yerine termal yağ kullanılır. Gemi tipine ve boyutuna bağlı olarak geminin ısı ihtiyacı ve kazan sistemlerinin kullanım amaçları değişmekte, tahrik veya farklı makinelerin çalıştırılması amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada örnek alınan bir kuru yük gemisi için kompozit kazan seçimi gerçekleştirilmiştir.

3.4.1 Kazan Sistemi VİKOR Yöntemi Uygulaması

Bir geminin ısı ihtiyacını karşılamak için uygun bir kazan seçimi, operasyonel verimliliği ve güvenliği sağlamada önemli bir karardır. Farklı iklim koşulları ve operasyonel şartlarda geminin sevk ve idaresi için gerekli ısının sürekli

sağlanabilmesi şarttır. Bu sebeplerden gemi tiplerine ve seyir bölgelerine göre de kazan seçiminde değerlendirilecek kriterler ve ağırlıkları değişmektedir.

Tablo 3.60 Kazan alternatifleri

Kısa Tanım	Alternatif
A1	Aa
A2	Mi
A3	Ki
A4	Ka
A5	Hi

Tablo 3.60'de dünya genelinde kullanılan seçili kazan alternatifleri verilmiştir. Gemi tipleri değiştiğinde ana makine ve yardımcıları çok fazla farklılık göstermese de kazan sistemleri farklılık gösterebilir. Bu nedenle bu kriterler, farklı gemi tiplerinde tecrübeli uzmanlar, teorik ve akademik bakış açısı sağlaması açısından bir akademisyenler tarafından değerlendirilmiştir. Tablo 3.61'de beş uzmanın becerileri, özellikleri ve sektördeki deneyim süreleri gösterilmektedir.

Tablo 3.61 Kazan seçimi uzmanların özellikleri

Uzmanlar	Beceriler, Deneyim
1	Akademisyen, Dr., 10 yıllık tecrübe
2	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
3	Akademisyen, Doç.Dr., 15 yıllık tecrübe
4	Uzakyol Baş Mühendisi, 15 yıllık deneyim
5	Bakım Onarım İşletmecisi, 20 yıllık tecrübe

Tablo 3.62 Kazan seçimi için belirlenen kriterler ve kısa açıklamaları

	Kriter	Açıklama
C1	Fiyat	Uygun maliyetli ve fiyatına değer
C2	Verim	Yakıt tüketimi durumunda ısı verimliliği
C3	Boyut	
C4	Yedek parça	Dünya genelinde yedek parça erişimi
C5	Otomasyon	
C6	Uzun ömür	Malzeme dayanıklılığı uzun ömür kullanımı

Tablo 3.62'te belirtilen her bir kriterin önem düzeyi, kullanılan yöntem için verilen dilsel değişkenler kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Tüm kriterler fayda olarak değerlendirilmiştir. Yorum yapılırken örneğin fiyatın uygunluğu faydalı olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 3.63 Pompa seçimi kriterlerinin entegre bulanık ağırlıkları

Kriter	Bulanık Ağırlık (wj)		
	l	m	u
C1	0,30	0,55	0,80
C2	0,50	0,75	0,95
C3	0,20	0,45	0,70
C4	0,25	0,50	0,75
C5	0,35	0,60	0,85
C6	0,45	0,70	0,95

Tablo 3.63 incelendiğinde C2 ve C6 kriterlerinin öne çıktığı görülmektedir. Isıl verimliliğin ve uzun ömürlülüğün uzmanlar tarafından diğer kriterlere göre daha önemli bulunduğu anlaşılmaktadır.

Uzmanlar, belirlenen kriterlere göre ve Tablo 2.'deki dilsel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeden elde edilen dilsel değişkenler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Daha sonra Tablo 3.64'de verilen bulanık karar matrisi Denklem 2.5 kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.64 Kazan seçimi bulanık karar matrisi

	C1			C2			C3			C4			C5			C6		
A1	4,0	6,5	9,0	6,0	8,5	10,0	4,5	7,0	9,5	4,0	6,5	9,0	5,5	8,0	10,0	4,0	6,5	9,0
A2	4,0	6,5	9,0	4,0	6,5	9,0	3,5	6,0	8,5	2,5	5,0	7,5	3,5	6,0	8,5	1,5	4,0	6,5
A3	1,5	4,0	6,5	1,5	4,0	6,5	1,5	4,0	6,5	0,5	3,0	5,5	1,0	3,5	6,0	0,5	3,0	5,5
A4	1,5	4,0	6,5	1,0	3,5	6,0	1,0	3,5	6,0	0,5	3,0	5,5	1,5	4,0	6,5	0,5	3,0	5,5
A5	0,5	3,0	5,5	1,0	3,5	6,0	0,5	3,0	5,5	2,0	4,0	6,5	0,5	3,0	5,5	0,0	0,5	3,0

Bulanık en iyi ve en kötü değerler Denklem 2.7 kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3.65'te görülmektedir.

Tablo 3.65 Kazan seçimi bulanık en iyi değer (\tilde{f}_j^*) ve bulanık en kötü değer (\tilde{f}_j^-)

Kriter	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
	l	m	u	l	m	u
C1	4,00	6,50	9,00	0,50	3,00	5,50
C2	6,00	8,50	10,00	1,00	3,50	6,00
C3	4,50	7,00	9,50	0,50	3,00	5,50
C4	4,00	6,50	9,00	0,50	3,00	5,50
C5	5,50	8,00	10,00	0,50	3,00	5,50
C6	4,00	6,50	9,00	0,00	0,50	3,00

Denklem 2.8 ve 2.9 ile hesaplanan \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri Tablo 3.66'da verilmiştir. Tablo 3.66 incelendiğinde A1 alternatifinin \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerlerinin sıfır olduğu görülmektedir. Buradan A1 alternatifinin sonuçlarda üstün çıkacağı anlaşılabilir.

Tablo 3.66 Kazan seçimi \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri

Alternatif	\tilde{S}_i			\tilde{R}_i		
	l	m	u	l	m	u
A1	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
A2	0,778	1,158	1,413	0,28	0,29	0,40
A3	1,773	2,854	3,987	0,450	0,675	0,831
A4	1,813	2,925	4,099	0,500	0,750	0,950
A5	1,943	3,407	4,786	0,500	0,750	0,950

\tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri Denklem 2.10 ve 2.11 ile hesaplanmış ve Tablo 3.67’de görülmektedir.

Tablo 3.67 Kazan seçimi \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* ve \tilde{R}^- değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0,000	0,000	0,000
\tilde{S}^-	1,943	3,407	4,786
\tilde{R}^*	0,000	0,000	0,000
\tilde{R}^-	0,500	0,750	0,950

Denklem 2.12’de uzlaşmayı sağlamak amacıyla v değeri 0,5 alınmış ve \tilde{Q}_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulanık sayıların netleştirilmesinde Denklem 2.13 kullanılarak hesaplanan Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve sıraları Tablo 3.68’da görülmektedir.

Tablo 3.68 Kazan seçimi \tilde{Q}_i , Q_i , S_i ve R_i indeksleri ve alternatif sıraları

Alternatif	\tilde{Q}_i			Q_i		S_i		R_i	
	l	m	u	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A1	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000	1
A2	0,482	0,364	0,356	0,401	2	1,117	2	0,323	2
A3	0,906	0,869	0,854	0,876	3	2,871	3	0,652	3
A4	0,967	0,929	0,928	0,941	4	2,946	4	0,733	4
A5	1,000	1,000	1,000	1,000	5	3,379	5	0,733	5

Uzlaşıcı çözümün belirlenmesinde Q_i indeksine göre yapılan sıralamada Adım 9'da belirtilen birinci koşul kabul edilebilir avantajın varlığı araştırılmıştır.

Denklem 2.14'e göre 1. koşul kabul edilebilir avantaj sağlanabilmesi için, 2.15 numaralı denkleme göre birinci sırada yer alan alternatif ile ikinci sırada yer alan alternatif arasında 0,25 puan farkı olmalıdır.

$$Q(a'') - Q(a') = 0,000 - 0,401 > 0,25$$

Bu şekilde 1. koşul kabul edilebilir avantaj sağlandığı görülmektedir. Bu koşul sağlandığı için A1 alternatifi diğer alternatiflere göre kabul edilebilir bir avantaja sahiptir.

Karar vermede 2. koşul kabul edilebilir istikrar, Q_i , S_i , R_i indekslerine göre alternatiflerin sıralaması Tablo 3.35'de verilmiştir.

Tablo 3.69 Kuler seçimi karar vermede kabul edilebilir istikrar

Q_i	A1 > A2 > A3 > A4 > A5
S_i	A1 > A2 > A3 > A4 > A5
R_i	A1 > A2 > A3 > A4 > A5

Tablo 3.69 incelendiğinde A1 alternatifinin S_i ve R_i indeksinde de birinci sırada yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla karar vermede istikrar sağlandığı söylenebilir.

Bu değerlendirme sonucunda her iki şart aynı anda sağlanmıştır. A1 birinci koşulu sağladığından diğer alternatiflere göre kabul edilebilir bir avantaja sahiptir. Ayrıca A1 ikinci koşulu da sağladığı için, karar vermede kabul edilebilir istikrar sağlamaktadır.

3.4.2 Kazan Sistemi ELECTRE Yöntemi Uygulaması

Gemi makine sistemlerinde ÇKKV metodlarının uygulanmasında, çalışmanın bu bölümünde örnek alınan gemi için uygun bir kompozit kazan değerlendirmek için aralık tip-2 bulanık kümelere dayalı ELECTRE yöntemi uygulanmıştır. Dikkate alınan değerlendirmek için fiyat, verim, boyut, yedek parça, otomasyon ve uzun ömür olmak üzere altı farklı kriter belirlenmiş ve bu kriterler Tablo 3.62’de verilmiştir. Belirlenen alternatiflerin ve kriter ağırlıklarının değerlendirilmesinde Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te belirtilen dilsel değişkenler kullanılmıştır.

Uzman değerlendirmeleri sonucu oluşan karar matrisi ve kriter ağırlıkları, hesaplanan normalize edilmiş karar matrisi ve ağırlıklı normalize karar matrisi sırasıyla Tablo 3.70, Tablo 3.71 ve Tablo 3.72’de verilmiştir.

Tablo 3.70 Kazan seçimi Karar Matrisi ve kriter ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	((6,2;7,8;6,6;6,2;7,4;6,2),(6,8;8,2;8,2;9,3;0,9;0,9))	((7,8;9,4;9,4;10;1;1),(8,6;9,4;9,4;9,7;0,9;0,9))	((6,6;8,6;8,6;9,8;1;1),(7,4;8,6;8,6;9,4;0,9;0,9))	((6,2;8,2;8,2;9,6;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,3;0,9;0,9))	((7,4;9,2;9,2;10;1;1),(8,3;9,2;9,2;9,6;0,9;0,9))	((6,2;8,2;8,2;9,6;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,3;0,9;0,9))
A2	((6,2;6,2;5,8;5,5;8,4;2),(6,8;8,2;8,2;9,3;0,9;0,9))	((6,2;8,2;8,2;9,6;1;1),(6,8;8,2;8,2;9,3;0,9;0,9))	((5,8;7,8;7,8;9,4;1;1),(6,2;7,8;7,8;9,2;0,9;0,9))	((5,7;7,8;8,8;1;1),(5,6;7;7,8;5;0,9;0,9))	((5,8;7,8;7,8;8,9,4;1;1),(6,2;7,8;7,8;9,2;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5,6;2;6,2;7,8;0,9;0,9))
A3	((4,2;4,2;4,2;3,4;3,8;3,4),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8,2;1;1),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;8;7,8;1;1),(5,5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))
A4	((4,2;3,8;3,8;3,4;4,2;3,4),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5,5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((3,8;5,8;5,8;7,8;1;1),(5,5,8;5,8;7,2;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;2;8,2;1;1),(5,6,2;6,2;7,8;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))
A5	((3,4;3,4;3,4;4,2;3,4;1,4),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(4,2;5,4;5,4;7;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((4,2;6,2;6,2;8;1;1),(4,8,6,2;6,2;7,7;0,9;0,9))	((3,4;5,4;5,4;4;7,4;1;1),(5,5,4;5,4;6,6;0,9;0,9))	((1,4;3,4;3,4;5,4;1;1),(1,8,3,4;3,4;5,2;0,9;0,9))
W	((0,5;0,7;0,7;0,88;1;1),(0,56;0,7;0,7;0,85;0,9;0,9))	((0,7;0,88;0,88;0,98;1;1),(0,77;0,88;0,88;0,95;0,9;0,9))	((0,26;0,46;0,46;0,66;1;1),(0,42;0,46;0,46;0,58;0,9;0,9))	((0,38;0,58;0,58;0,78;1;1),(0,5;0,58;0,58;0,72;0,9;0,9))	((0,5;0,7;0,7;0,88;1;1),(0,56;0,7;0,7;0,85;0,9;0,9))	((0,62;0,82;0,82;0,96;1;1),(0,68;0,82;0,82;0,93;0,9;0,9))

Tablo 3.71 Kazan seçimi normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	((0,79;1;0,85;0,79;7,4;6,2),(0,73;0,88;0,88;1;0,9;0,9))	((0,78;0,94;0,94;1;1),(0,89;0,97;0,97;1;0,9;0,9))	((0,67;0,88;0,88;1;1),(0,79;0,91;0,91;1;0,9;0,9))	((0,65;0,85;0,85;1;1),(0,73;0,88;0,88;1;0,9;0,9))	((0,74;0,92;0,92;1;1),(0,86;0,96;0,96;1;0,9;0,9))	((0,65;0,85;0,85;1;1),(0,73;0,88;0,88;1;0,9;0,9))
A2	((0,79;0,79;0,74;0,64;5,8;4,2),(0,73;0,88;0,88;1;0,9;0,9))	((0,62;0,82;0,82;0,96;1;1),(0,7;0,85;0,85;0,96;0,9;0,9))	((0,59;0,8;0,8;0,96;1;1),(0,66;0,83;0,83;0,98;0,9;0,9))	((0,52;0,73;0,73;0,92;1;1),(0,6;0,75;0,75;0,91;0,9;0,9))	((0,58;0,78;0,78;0,94;1;1),(0,65;0,81;0,81;0,96;0,9;0,9))	((0,44;0,65;0,65;0,85;1;1),(0,54;0,67;0,67;0,84;0,9;0,9))
A3	((0,54;0,54;0,54;0,44;3,8;3,4),(0,54;0,67;0,67;0,84;0,9;0,9))	((0,42;0,62;0,62;0,82;1;1),(0,52;0,64;0,64;0,8;0,9;0,9))	((0,43;0,63;0,63;0,84;1;1),(0,53;0,66;0,66;0,83;0,9;0,9))	((0,35;0,56;0,56;0,77;1;1),(0,54;0,58;0,58;0,71;0,9;0,9))	((0,38;0,58;0,58;0,78;1;1),(0,52;0,6;0,6;0,75;0,9;0,9))	((0,35;0,56;0,56;0,77;1;1),(0,54;0,58;0,58;0,71;0,9;0,9))
A4	((0,54;0,49;0,49;0,44;4,2;3,4),(0,54;0,67;0,67;0,84;0,9;0,9))	((0,38;0,58;0,58;0,78;1;1),(0,52;0,6;0,6;0,74;0,9;0,9))	((0,39;0,59;0,59;0,8;1;1),(0,53;0,62;0,62;0,77;0,9;0,9))	((0,35;0,56;0,56;0,77;1;1),(0,54;0,58;0,58;0,71;0,9;0,9))	((0,42;0,62;0,62;0,82;1;1),(0,52;0,65;0,65;0,81;0,9;0,9))	((0,35;0,56;0,56;0,77;1;1),(0,54;0,58;0,58;0,71;0,9;0,9))
A5	((0,44;0,44;0,44;0,54;3,4;1,4),(0,54;0,58;0,58;0,71;0,9;0,9))	((0,34;0,54;0,54;0,74;1;1),(0,43;0,56;0,56;0,72;0,9;0,9))	((0,35;0,55;0,55;0,76;1;1),(0,53;0,57;0,57;0,7;0,9;0,9))	((0,44;0,65;0,65;0,83;1;1),(0,52;0,67;0,67;0,83;0,9;0,9))	((0,34;0,54;0,54;0,74;1;1),(0,52;0,56;0,56;0,69;0,9;0,9))	((0,15;0,35;0,35;0,56;1;1),(0,19;0,37;0,37;0,56;0,9;0,9))

Tablo 3.72 Kazan seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	((0,4;0,7;0,59;0,7;7,4;6,2),(0,41;0,62;0,62;0,85;0,9;0,9))	((0,55;0,83;0,83;0,98;1;1),(0,68;0,85;0,85;0,95;0,9;0,9))	((0,18;0,4;0,4;0,66;1;1),(0,33;0,42;0,42;0,58;0,9;0,9))	((0,25;0,5;0,5;0,78;1;1),(0,37;0,51;0,51;0,72;0,9;0,9))	((0,37;0,64;0,64;0,88;1;1),(0,48;0,67;0,67;0,85;0,9;0,9))	((0,4;0,7;0,7;0,96;1;1),(0,5;0,72;0,72;0,93;0,9;0,9))
A2	((0,4;0,56;0,52;0,56;5,8;4,2),(0,41;0,62;0,62;0,85;0,9;0,9))	((0,43;0,72;0,72;0,94;1;1),(0,54;0,74;0,74;0,91;0,9;0,9))	((0,15;0,37;0,37;0,63;1;1),(0,28;0,38;0,38;0,57;0,9;0,9))	((0,2;0,42;0,42;0,72;1;1),(0,3;0,44;0,44;0,66;0,9;0,9))	((0,29;0,55;0,55;0,83;1;1),(0,36;0,57;0,57;0,81;0,9;0,9))	((0,27;0,53;0,53;0,82;1;1),(0,37;0,55;0,55;0,78;0,9;0,9))
A3	((0,27;0,38;0,38;0,38;3,8;3,4),(0,3;0,47;0,47;0,71;0,9;0,9))	((0,29;0,55;0,55;0,8;1;1),(0,4;0,56;0,56;0,76;0,9;0,9))	((0,11;0,29;0,29;0,55;1;1),(0,22;0,3;0,3;0,48;0,9;0,9))	((0,13;0,33;0,33;0,6;1;1),(0,27;0,34;0,34;0,51;0,9;0,9))	((0,19;0,41;0,41;0,69;1;1),(0,29;0,42;0,42;0,64;0,9;0,9))	((0,22;0,46;0,46;0,74;1;1),(0,37;0,48;0,48;0,66;0,9;0,9))

Tablo 3.72 Kazan seçimi ağırlıklı normalize karar matrisi (devamı)

A4	((0,27;0,34;0,34;0,38;4,2;3,4),(0,3;0,47;0,47;0,71;0,9;0,9))	((0,27;0,51;0,51;0,76;1;1),(0,4;0,53;0,53;0,71;0,9;0,9))	((0,1;0,27;0,27;0,53;1;1),(0,22;0,28;0,28;0,44;0,9;0,9))	((0,13;0,33;0,33;0,6;1;1),(0,27;0,34;0,34;0,51;0,9;0,9))	((0,21;0,43;0,43;0,72;1;1),(0,29;0,45;0,45;0,69;0,9;0,9))	((0,22;0,46;0,46;0,74;1;1),(0,37;0,48;0,48;0,66;0,9;0,9))
A5	((0,22;0,31;0,31;0,47;3,4;1,4),(0,3;0,41;0,41;0,6;0,9;0,9))	((0,24;0,48;0,48;0,73;1;1),(0,33;0,49;0,49;0,69;0,9;0,9))	((0,09;0,25;0,25;0,5;1;1),(0,22;0,26;0,26;0,41;0,9;0,9))	((0,17;0,37;0,37;0,65;1;1),(0,26;0,39;0,39;0,6;0,9;0,9))	((0,17;0,38;0,38;0,65;1;1),(0,29;0,39;0,39;0,58;0,9;0,9))	((0,09;0,29;0,29;0,54;1;1),(0,13;0,3;0,3;0,52;0,9;0,9))

Tablo 3.73 Kazan seçimi F Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		1	1	1
A3	0	0		1	1
A4	0	0	1		1
A5	0	0	0	0	

Tablo 3.73'te yer alan etkin uyum matrisi F incelendiğinde A1 alternatifinin diğer tüm alternatiflere karşı etkin üstünlük sağladığı görülmektedir, A5 alternatifinin ise hiçbir alternatife karşı üstünlük sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.74 Kazan seçimi NI Uyumsuzluk Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		0,00	0,00	0,00	0,00
A2	0,86		0,00	0,00	0,00
A3	1,00	1,00		0,20	0,21
A4	1,00	1,00	0,34		0,21
A5	1,00	1,00	0,88	0,87	

Tablo 3.74'de uyumsuzluk yönünden ikili karşılaştırmalar sonunu alternatiflerin puanlarının sayılara dönüştürülmüş hali NI uyumsuzluk matrisi verilmiştir. NI

matrisi incelendiğinde F matrisinde olduğu gibi A1 alternatifinin diğer alternatiflere karşı üstünlük sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.75 Kazan seçimi G Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		1	1	1
A3	0	0		1	1
A4	0	0	1		1
A5	0	0	0	0	

Tablo 3.75'te verilen en etkili uyumsuzluk matrisi G incelendiğinde, F matrisinde olduğu gibi A1 alternatifinin diğer tüm alternatiflere üstünlük sağladığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.76 Kazan seçimi H Matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1	1	1	1
A2	0		1	1	1
A3	0	0		1	1
A4	0	0	1		1
A5	0	0	0	0	

En etkin üstünlük ve sıralama belirleme kullanılan H matrisi Tablo 3.76'da verilmiştir. H matrisinde görüldüğü üzere A1 alternatifi ikili karşılaştırmalar sonucu diğer tüm alternatiflere üstünlük sağlamıştır. İkinci sırada ise A1 alternatifi dışındaki seçeneklere üstünlük sağladığı görülen A2 alternatifi yer almaktadır.

4 SONUÇ

Gemilerde enerji verimliliğinin artırılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve gemi kaynaklı emisyonların azaltılmasına yönelik çalışmalar dünya genelinde sürdürülmekte ve yeni düzenlemeler getirilmektedir. Gerçekleştirilen literatür taraması neticesinde gemilerde yapılan ekserji analizlerinin gemi ana makineleri, atık ısı geri kazanımı ve Organic Rankine Çevrimi üzerine yoğunlaştığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, gemilerde bulunan sistemlerin ayrı ayrı incelenerek ekserji analizi gerçekleştirilmiş ve sistemler içerisindeki kritik elemanlar belirlenerek çok kriterli karar verme yöntemleri uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Gemilerde başta ana makine, yardımcı makineler ve diğer tüm ekipmanlar teknik gereksinimler dikkate alınarak seçilir. Bu teknik gereklilikler çoğunlukla uluslararası denizcilik örgütü (IMO) başta olmak üzere bayrak devletleri ve Lloyd kuruluşlarının kurallarını kapsamaktadır. Armatörler, gemilerinin sorunsuz çalışmasının yanı sıra, düşük yakıt tüketimi ve yüksek enerji verimliliği ile çalışmasını arzu etmektedir. Bu nedenle gemilerde yapılacak hemen hemen her türlü makine seçiminin hem teknik açıdan yeterli olması hem de mümkün olduğunca sorunsuz ve ekonomik olması gerekmektedir.

Gemilerdeki iki zamanlı ana makineler genellikle ilk çalıştırmalarını yüksek basınçlı havayla sağlar. Bu basınçlı hava kompresörler tarafından sağlanır ve gemi manevralarında düzgün çalışması çok önemlidir. Basınçlı hava, IMO kurallarına uygun olarak ana motoru yaklaşık 10-12 kez çalıştırmaya yetecek kadar hava depolarında depolanır.

Bu çalışmada basınçlı hava sisteminin en önemli elemanı olan kompresörün seçimi, yedi farklı kriter değerlendirilerek, uzmanların yardımıyla beş alternatif içinden en uygun olanı seçilmeye çalışılmıştır.

Bulanık VİKOR yöntemi sonucunda uzmanların görüşlerine göre A3 alternatifi oldukça farklı bir ilk tercih olarak değerlendirilmiş ve bunu sırasıyla A4, A2, A1 ve A5 takip etmiştir. ELECTRE yöntemi sonucunda ise A3 ve A4 alternatiflerinin tüm değerlendirmeler sonucu

diğer alternatiflere üstünlük sağladığı görülmektedir. Ancak birbirlerine karşı üstünlük sağlayamamışlardır. A1 ve A2 birbirlerine karşı üstünlük sağlayamamış ancak son sırada yer alan A5 alternatifine karşı üstün gelmişlerdir.

Gemilerde ana ve yardımcı makineler soğutma suyu ile soğutulmaktadır. Soğutma suyu sistemin performansı geminin seyri ve soğutma ihtiyacı olan makinelerin çalışabilirliği ve güvenliği açısından çok önemlidir.

Bu çalışmada soğutma suyu sistemi için tatlı su pompası seçimi, beş farklı alternatifin yedi farklı kriter üzerinden değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bulanık VİKOR yöntemini sonucunda uzlaşıcı çözüm sıralaması A3, A5, A4, A2 ve A1 şeklinde belirlenmiş fakat A3 alternatifi A4 ve A5 alternatiflerine karşı kabul edilebilir avantaj sağlayamamıştır. Maksimum grup faydası indeksi açısından sıralama ise A4, A3, A5, A2 ve A1 şeklinde gerçekleşmiştir.

Aralık tipi-2 bulanık kümeler dayalı ELECTRE yöntemi sonucu sıralama A4, A3, A5, A2 ve A1 olarak belirlenmiştir.

Yağlama yağı sistemi, makine yatakları ve silindir segmanları arasında koruyucu bir yağ filmi oluşturarak sürtünme, aşınma ve aşırı ısınmayı minimize eder.

Yapılan çalışmada yağlama yağı sistemi için kuler seçimi, beş farklı alternatifin 6 farklı kriter üzerinden değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bulanık VİKOR yöntemini sonucunda uzlaşıcı çözüm sıralaması A1, A4, A3, A2, A5 şeklinde belirlenmiştir. Kabul edilebilir avantaj sağlanamamış ancak maksimum grup faydası indeksi açısından da sıralama A1, A4, A3, A2, A5 şeklinde gerçekleştiği için karar vermede istikrar sağlanmıştır.

ELECTRE yöntemi sonucunda sıralama A1, A4, A3, A2, A5 şeklinde gerçekleşmiştir. Sıralama yönünden incelendiğinde VİKOR yöntemi ile benzer bir sonuç ortaya çıkmıştır ancak ELECTRE yöntemi sonucunda A1 alternatifinin diğer tüm alternatiflere karşı üstün geldiği görülmektedir.

Kazan, kapalı bir kaptaki besiy suyunu ısıtarak buhar üreten ve bu buharı gemide ısı ihtiyacı karşılamak için kullanan basınçlı bir ünedir.

Yapılan tez çalışmasında gemi için kazan seçimi, beş farklı alternatifin 6 farklı kriter üzerinden değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bulanık VİKOR yöntemini sonucunda uzlaşıcı çözüm sıralaması A1, A2, A3, A4, A5 şeklinde belirlenmiştir. Her iki koşulun da sağlandığı görülmüş böylelikle A1 alternatifi kabul edilebilir avantaj ve karar vermede istikrar sağlamıştır.

ELECTRE yöntemi sonuçları incelendiğinde VİKOR yöntemi ile uyumlu bir şekilde A1, A2, A3, A4, A5 sırasıyla gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak, bulanık VİKOR ve ELECTRE yöntemlerinin uygulanmasının, gemiler için uygun kompresör ve pompa seçiminin hem nitel hem de nicel yönlerini göz önünde bulunduran çok yönlü bir karar alma sürecine olanak sağladığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden fazla çelişkili kriterin dikkate alınması gereken diğer sistemlere genişletilebilir. Değerlendirme kriterlerinin ve/veya uzmanların değiştirilmesi veya uzman sayısının arttırılması durumunda sonuçlar değişebilir.

Gelecekteki çalışmalar, enerji tüketimi ve çevresel etki gibi ek faktörleri dahil ederek ve seçilen alternatifleri gerçek dünya testleri yoluyla doğrularak bu bulgular üzerine inşa edilebilir. Bu tür iyileştirmeler, gemi sistemlerine ekipman seçim sürecini daha da geliştirerek daha verimli, güvenilir ve sürdürülebilir sistemlerinin tasarımına katkıda bulunacaktır.

- [1] F. Baldi ve C. Gabriellii, “A feasibility analysis of waste heat recovery systems for marine applications”, *Energy*, c. 80, ss. 654-665, Şub. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2014.12.020.
- [2] T. Koroglu, “Advanced exergy analysis of an organic rankine cycle waste heat recovery system of a marine power plant”, *J. Therm. Eng.*, c. 3, sy 2, ss. 1136-1136, Nis. 2017, doi: 10.18186/thermal.298614.
- [3] F. Zarifi, T. M. I. Mahlia, F. Motasemi, M. Shekarchian, ve M. Moghavvemi, “Current and future energy and exergy efficiencies in the Iran’s transportation sector”, *Energy Convers. Manag.*, c. 74, ss. 24-34, Eki. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.04.041.
- [4] J. Choi, “Development of partial liquefaction system for liquefied natural gas carrier application using exergy analysis”, *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2017.11.001.
- [5] V. Mrzljak, I. Poljak, ve T. Mrakovčić, “Energy and exergy analysis of the turbo-generators and steam turbine for the main feed water pump drive on LNG carrier”, *Energy Convers. Manag.*, c. 140, ss. 307-323, May. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.03.007.
- [6] H. Yuan ve N. Mei, “Energy, exergy analysis and working fluid selection of a Rankine cycle for subsea power system”, *Energy Convers. Manag.*, c. 101, ss. 216-228, Eyl. 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.05.043.
- [7] H. Yuan, J. Zhao, Y. Li, J. Zhang, ve N. Mei, “Energy analysis of a subsea steam Rankine cycle for the subsea power supply”, *Energy Procedia*, c. 136, ss. 444-449, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.301.
- [8] A. Nemati, M. Sadeghi, ve M. Yari, “Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a marine engine waste heat driven RO desalination system integrated with an organic Rankine cycle using zeotropic working fluid”, *Desalination*, c. 422, ss. 113-123, Kas. 2017, doi: 10.1016/j.desal.2017.08.012.
- [9] G. G. Dimopoulos, I. C. Stefanatos, ve N. M. P. Kakalis, “Exergy analysis and optimisation of a marine molten carbonate fuel cell system in simple and combined cycle configuration”, *Energy Convers. Manag.*, c. 107, ss. 10-21, Oca. 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.09.007.
- [10] B. Gökalp, “Exergy analysis and performance of a tug boat power generator using kerosene fuel blended with aspire methly ester”, *Fuel*, c. 229, ss. 180-188, Eki. 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.04.095.

- [11] T. J. Leo, J. A. Durango, ve E. Navarro, "Exergy analysis of PEM fuel cells for marine applications", *Energy*, c. 35, sy 2, ss. 1164-1171, Şub. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.010.
- [12] G. Shu, P. Liu, H. Tian, X. Wang, ve D. Jing, "Operational profile based thermal-economic analysis on an Organic Rankine cycle using for harvesting marine engine's exhaust waste heat", *Energy Convers. Manag.*, c. 146, ss. 107-123, Ağu. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.04.099.
- [13] B. C. Choi, "Thermodynamic analysis of a transcritical CO₂ heat recovery system with 2-stage reheat applied to cooling water of internal combustion engine for propulsion of the 6800 TEU container ship", *Energy*, c. 107, ss. 532-541, Tem. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.116.
- [14] M. T. Mito, M. A. Teamah, W. M. El-Maghlany, ve A. I. Shehata, "Utilizing the scavenge air cooling in improving the performance of marine diesel engine waste heat recovery systems", *Energy*, c. 142, ss. 264-276, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.10.039.
- [15] U. Larsen, O. Sigthorsson, ve F. Haglind, "A comparison of advanced heat recovery power cycles in a combined cycle for large ships", *Energy*, c. 74, ss. 260-268, Eyl. 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.06.096.
- [16] D. V. Singh ve E. Pedersen, "A review of waste heat recovery technologies for maritime applications", *Energy Convers. Manag.*, c. 111, ss. 315-328, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.12.073.
- [17] Gökhan AKKAŞ, "Gemilerde atık ısı sistemlerinin işletilmesi", Sakarya Üniversitesi, 2002.
- [18] Emre HÜSMEN, "Gemilerde enerji verimliliğinin izlenmesi ve raporlanması", İstanbul Teknik Üniversitesi, 2017.
- [19] Sertaç GÜMÜŞTEKİN, "Gemilerin ana tahrik sistemi seçiminde maliyet etkisinin incelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, 2015.
- [20] Mehmetcan PALAMUT, "Gemi işletmeciliğinde etkinlik ve kuru dökme yük deniz taşımacılığında bir uygulama", 9 Eylül Üniversitesi, 2015.
- [21] Çağlar DERE, "İki zamanlı bir gemi dizel ana makinesi'nin modeli ve simülasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [22] Murat BAYRAKTAR, "Hizmetteki bir geminin sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) yakıtlı bir gemi makinesiyle donatılmasının ekonomik analizi", 9 Eylül Üniversitesi, 2016.
- [23] S. Opricovic ve G.-H. Tzeng, "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", *Eur. J. Oper. Res.*, c. 156, sy 2, ss. 445-455, 2004.
- [24] C.-T. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets Syst.*, c. 114, sy 1, ss. 1-9, Ağu. 2000, doi: 10.1016/S0165-0114(97)00377-1.
- [25] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, c. 53, ss. 49-57, Haz. 2015, doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009.

- [26] J.-J. Wang, Y.-Y. Jing, C.-F. Zhang, ve J.-H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 13, sy 9, ss. 2263-2278, Ara. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [27] M. Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, M. Yazdani, ve J. Ignatius, “A state-of the-art survey of TOPSIS applications”, *Expert Syst. Appl.*, c. 39, sy 17, ss. 13051-13069, Ara. 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.056.
- [28] S. D. Pohekar ve M. Ramachandran, “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 8, sy 4, ss. 365-381, Ağu. 2004, doi: 10.1016/j.rser.2003.12.007.
- [29] C.-T. Chen, C.-T. Lin, ve S.-F. Huang, “A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management”, *Int. J. Prod. Econ.*, c. 102, sy 2, ss. 289-301, Ağu. 2006, doi: 10.1016/j.ijpe.2005.03.009.
- [30] S. Opricovic ve G.-H. Tzeng, “Extended VIKOR method in comparison with outranking methods”, *Eur. J. Oper. Res.*, c. 178, sy 2, ss. 514-529, Nis. 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2006.01.020.
- [31] D. Diakoulaki, G. Mavrotas, ve L. Papayannakis, “Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method”, *Comput. Oper. Res.*, c. 22, sy 7, ss. 763-770, Ağu. 1995, doi: 10.1016/0305-0548(94)00059-H.
- [32] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model”, *Omega*, c. 64, ss. 126-130, Eki. 2016, doi: 10.1016/j.omega.2015.12.001.
- [33] G. Akyüz, “Bulanik VIKOR yöntemi ile tedarikçi seçimi”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilim. Derg.*, c. 26, sy 1, ss. 197-215, 2012.
- [34] L. A. Zadeh, “Information and control”, *Fuzzy Sets*, c. 8, sy 3, ss. 338-353, 1965.
- [35] A. Sanayei, S. F. Mousavi, ve A. Yazdankhah, “Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment”, *Expert Syst. Appl.*, c. 37, sy 1, ss. 24-30, 2010.
- [36] O. Cakir ve M. S. Canbolat, “A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology”, *Expert Syst. Appl.*, c. 35, sy 3, ss. 1367-1378, 2008.
- [37] N. Y. Seçme, A. Bayraktaroğlu, ve C. Kahraman, “Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS”, *Expert Syst. Appl.*, c. 36, sy 9, ss. 11699-11709, Kas. 2009, doi: 10.1016/j.eswa.2009.03.013.
- [38] S. Opricovic ve G.-H. Tzeng, “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *Eur. J. Oper. Res.*, c. 156, sy 2, ss. 445-455, 2004.
- [39] P.-L. Yu, “A class of solutions for group decision problems”, *Manag. Sci.*, c. 19, sy 8, ss. 936-946, 1973.

- [40] B. Vahdani, H. Hadipour, J. S. Sadaghiani, ve M. Amiri, "Extension of VIKOR method based on interval-valued fuzzy sets", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, c. 47, sy 9-12, ss. 1231-1239, 2010.
- [41] P. Moeinzadeh ve A. Hajfathaliha, "A Combined Fuzzy Decision Making Approach To Supply Chain Risk Assessment", *Ara.* 2009, doi: 10.5281/ZENODO.1060613.
- [42] L. Y. Chen ve T.-C. Wang, "Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR", *Int. J. Prod. Econ.*, c. 120, sy 1, ss. 233-242, Tem. 2009, doi: 10.1016/j.ijpe.2008.07.022.
- [43] T.-Y. Hsieh, S.-T. Lu, ve G.-H. Tzeng, "Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings", *Int. J. Proj. Manag.*, c. 22, sy 7, ss. 573-584, Eki. 2004, doi: 10.1016/j.ijproman.2004.01.002.
- [44] J. M. Mendel, R. I. John, ve F. Liu, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple", *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, c. 14, sy 6, ss. 808-821, Ara. 2006, doi: 10.1109/TFUZZ.2006.879986.
- [45] S.-M. Chen ve L.-W. Lee, "Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method", *Expert Syst. Appl.*, c. 37, sy 4, ss. 2790-2798, Nis. 2010, doi: 10.1016/j.eswa.2009.09.012.
- [46] E. Celik, O. N. Bilisik, M. Erdogan, A. T. Gumus, ve H. Baracli, "An integrated novel interval type-2 fuzzy MCDM method to improve customer satisfaction in public transportation for Istanbul", *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, c. 58, ss. 28-51, Kas. 2013, doi: 10.1016/j.tre.2013.06.006.
- [47] E. Celik, N. Aydin, ve A. T. Gumus, "A multiattribute customer satisfaction evaluation approach for rail transit network: A real case study for Istanbul, Turkey", *Transp. Policy*, c. 36, ss. 283-293, Kas. 2014, doi: 10.1016/j.tranpol.2014.09.005.
- [48] R. Benayoun, B. Roy, ve N. Sussman, "Manual de reference du programme electre", *Note Synth. Form.*, c. 25, s. 79, 1966.
- [49] M. Sevkli, "An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection", *Int. J. Prod. Res.*, c. 48, sy 12, ss. 3393-3405, Haz. 2010, doi: 10.1080/00207540902814355.
- [50] A. Hatami-Marbini ve M. Tavana, "An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment", *Omega*, c. 39, sy 4, ss. 373-386, Ağu. 2011, doi: 10.1016/j.omega.2010.09.001.
- [51] T.-Y. Chen, "An ELECTRE-based outranking method for multiple criteria group decision making using interval type-2 fuzzy sets", *Inf. Sci.*, c. 263, ss. 1-21, Nis. 2014, doi: 10.1016/j.ins.2013.12.012.
- [52] E. Celik, A. T. Gumus, ve M. Erdogan, "A New Extension of the ELECTRE Method Based Upon Interval Type-2 Fuzzy Sets for Green Logistic Service Providers Evaluation", *J. Test. Eval.*, c. 44, sy 5, s. 20140046, Eyl. 2016, doi: 10.1520/JTE20140046.

- [53] K. Govindan ve M. B. Jepsen, "ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications", *Eur. J. Oper. Res.*, c. 250, sy 1, ss. 1-29, Nis. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.07.019.
- [54] A. S. Karakurt, I. Ozsari, ve V. Bashan, "Exergetic performance analysis of high pressure air systems on ships", *Int. J. Exergy*, c. 37, sy 1, s. 74, 2022, doi: 10.1504/IJEX.2022.120109.
- [55] Y. Ust ve A. S. Karakurt, "Analysis of a Cascade Refrigeration System (CRS) by Using Different Refrigerant Couples Based on the Exergetic Performance Coefficient (EPC) Criterion", *Arab. J. Sci. Eng.*, c. 39, sy 11, ss. 8147-8156, Kas. 2014, doi: 10.1007/s13369-014-1335-9.
- [56] Y. Ust, A. Sinan Karakurt, ve U. Gunes, "Performance Analysis of Multipurpose Refrigeration System (MRS) on Fishing Vessel", *Pol. Marit. Res.*, c. 23, sy 2, ss. 48-56, Nis. 2016, doi: 10.1515/pomr-2016-0020.
- [57] V. Başhan, H. Demirel, ve M. Gul, "An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety", *Soft Comput.*, c. 24, sy 24, ss. 18749-18764, 2020.
- [58] V. Başhan ve H. Demirel, "Application of fuzzy dematel technique to assess most common critical operational faults of marine boilers", *Politek. Derg.*, c. 22, sy 3, ss. 545-555, 2019.
- [59] V. Başhan, H. Demirel, ve M. Gul, "A Novel Risk Evaluation Approach For Frequently Encountered Risks In Ship Engine Rooms", *Brodogr. Teor. Praksa Brodogr. Pomor. Teh.*, c. 71, sy 2, ss. 31-54, 2020.
- [60] V. Başhan ve H. Demirel, "Evaluation of critical operational faults of marine diesel generator engines by using DEMATEL method", *J. ETA Marit. Sci.*, c. 6, sy 2, ss. 119-128, 2018.
- [61] M. Gul, "A fuzzy-based occupational health and safety risk assessment framework and a case study in an international port authority", *J. Mar. Eng. Technol.*, c. 19, sy 4, ss. 161-175, Kas. 2020, doi: 10.1080/20464177.2019.1670994.
- [62] M. Gul, E. Celik, ve E. Akyuz, "A hybrid risk-based approach for maritime applications: The case of ballast tank maintenance", *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.*, c. 23, sy 6, ss. 1389-1403, Ağu. 2017, doi: 10.1080/10807039.2017.1317204.
- [63] H. Demirel, B. Şener, B. Yildiz, ve A. Balin, "A real case study on the selection of suitable roll stabilizer type for motor yachts using hybrid fuzzy AHP and VIKOR methodology", *Ocean Eng.*, c. 217, s. 108125, Ara. 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.108125.
- [64] O. Soner, E. Celik, ve E. Akyuz, "Application of AHP and VIKOR methods under interval type 2 fuzzy environment in maritime transportation", *Ocean Eng.*, c. 129, ss. 107-116, Oca. 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.11.010.
- [65] A. Balin, B. Şener, ve H. Demirel, "Application of fuzzy VIKOR method for the evaluation and selection of a suitable tugboat", *Proc. Inst. Mech. Eng. Part*

M J. Eng. Marit. Environ., c. 234, sy 2, ss. 502-509, May. 2020, doi: 10.1177/1475090219875879.

[66] B. Efe, “Analysis of operational safety risks in shipbuilding using failure mode and effect analysis approach”, Ocean Eng., c. 187, s. 106214, Eyl. 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106214.

[67] A. Balin, H. Demirel, ve F. alarçin, “A Hierarchical Structure for Ship Diesel Engine Trouble-Shooting Problem Using Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Hybrid Methods”, Brodogradnja, c. 66, ss. 54-65, 2015.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. A. Kaya ve Y. Üst “Determination of a Pump for a Ship's Freshwater Cooling System Using the Fuzzy ELECTRE Method”, 2nd International Conference on Modern and Advanced Research, Konya, Türkiye, 2025.

Makaleler

1. A. Kaya, V. Başhan, ve Y. Üst, “Selection of marine type air compressor by using fuzzy VIKOR methodology”, Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ., c. 236, sy 1, ss. 103-112, Şub. 2022, doi: 10.1177/14750902211028791.