

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON
MODELLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Ahmet Yıldırım ERDOĞAN

Ankara-2024

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON
MODELLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Ahmet Yıldırım ERDOĞAN

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Ankara-2024

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

Ahmet Yıldırım ERDOĞAN

ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON
MODELLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Tez Jürisi Üyeleri:

1. Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ
2. Prof. Dr. Kadir GÜRDAL
3. Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU
4. Prof. Dr. Hasan ŞAHİN
5. Doç. Dr. Ayşe YILDIZ

Tez Sınavı Tarihi: 09.01.2024

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ danışmanlığında hazırladığım “Elektrik Piyasalarında Optimizasyon Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi (Ankara, 2024)” adlı doktora tezindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Ahmet Yıldırım ERDOĞAN

18/01/2024

ÖNSÖZ

En değerli Büyüklerime ve Üstad'larıma;

Doktora eğitimim sürecinde beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, çalışmalarım esnasında bilgi ve birikimini kullanmama izin veren, desteğini her zaman gördüğüm değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ'e (Ankara Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı),

Doktora eğitimim ders döneminde kendilerinden ders alma onuruna sahip olduğum çok değerli hocalarıma,

Gölgesinde büyüdüğüm babam Mehmet Emin ERDOĞAN'a, nefesiyle yaşadığım annem Ayşe ERDOĞAN'a, kendisini her zaman örnek aldığım ağabeyim Dr. Kürşad ERDOĞAN'a ve canım ablam Emine Gülşah UMUCU'ya,

Desteğini her zaman hissettiğim, bana inanan ve güvenen, çocuklarımin annesi biricik eşim Emine ERDOĞAN'a, bana baba olma duygusunu yaşatan hayat kaynaklarım kızım Haliye Sena ERDOĞAN'a ve oğlum Muhammed Muhyiddin ERDOĞAN'a,

Tez çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen dostum Sayın Dr. Sinan Keskin'e,

Yokluğunu her geçen gün daha da derinden hissettiğim merhum amcam Ruhi ERDOĞAN'a

Öncelikle var oldukları ve varlıkları için sonrasında da yapmış oldukları tüm destek ve güzellikler için sonsuz ve içten teşekkürü borç bilirim.

Ahmet Yıldırım ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	iv
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	7
TÜRKİYE’NİN ENERJİ POTANSİYELİ İLE İLGİLİ GENEL ÇERÇEVE	7
1.1 Türkiye’nin Enerji Kaynaklarına Genel Bakış	7
1.1.1 Türkiye’nin Hidrolik Enerji Kaynakları	10
1.1.2 Türkiye’nin Güneş Enerjisi Kaynakları	12
1.1.3 Türkiye’nin Doğalgaz Enerjisi Kaynakları	13
1.1.4 Türkiye’nin Kömür Enerjisi Kaynakları	15
İKİNCİ BÖLÜM	17
ELEKTRİK PİYASALARINDA FİNANSAL OPTİMİZASYON	
YAKLAŞIMLARININ İNCELENMESİ	17
2.1 Literatür Araştırması	17
2.2 Modern Portföy Teorisi ve Ortalama Varyans Optimizasyon Modeli (MV)	22
2.3 Ortalama Mutlak Sapma Optimizasyon Modeli (MAD)	28
2.4 Alt-Taraf Risk Optimizasyon Modeli (DS)	32
2.5 Yarı-Varyans Risk Optimizasyon Modeli (SV)	35
2.6 Portföy Performans Ölçüm Modelleri	36
2.6.1 Sharpe Oranı Modeli	37
2.6.2 Sortino Oranı Modeli	38
2.6.3 Omega Oranı Modeli	39
2.6.4 MAD Riskten Arındırılmış Getiri Oranı Modeli	39
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	41
TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON	
UYGULAMALARI	41
3.1 Amaçlar, Veri Analizi, Varsayımlar ve Yöntem	41
3.1.1 Amaçlar	41
3.1.2 Veri Analizi	42
3.1.3 Varsayımlar ve Kısıtlar	45
3.1.4 Yöntem	47

3.2 Türkiye Hidrolik Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal	
Portföylere Ait Performanslar	47
3.2.1 Türkiye Hidrolik Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi	
ve Karşılaştırılması	62
3.3 Türkiye Güneş Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal Portföylere	
Ait Performanslar	64
3.3.1 Türkiye Güneş Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi ve	
Karşılaştırılması	79
3.4 Türkiye Doğalgaz Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal	
Portföylere Ait Performanslar	81
3.4.1 Türkiye Doğalgaz Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi	
ve Karşılaştırılması	96
3.5 Türkiye Taşkömürü Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal	
Portföylere Ait Performanslar	98
3.5.1 Türkiye Taşkömürü Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans	
Analizi ve Karşılaştırılması	113
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	116
KAYNAKÇA	127
ÖZET	134
ABSTRACT	136

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPT	: Modern Portföy Teorisi
MV	: Ortalama-Varyans Optimizasyon Modeli
MVS	: Ortalama-Varyans-Çarpıklık Optimizasyon Modeli
MAD	: Ortalama-Mutlak Sapma Optimizasyon Modeli
LPM	: Alt-Kısmi Moment
DS	: Alt-Taraf Risk Optimizasyon Modeli
SV	: Yarı-Varyans Risk Optimizasyon Modeli
MRAG	: MAD Riskten Arındırılmış Getiri
Eş.	: Eşitlik
MWe	: Megawatt Elektrik
GWh	: Gigawatt Saat
MWh	: Megawatt saat
HES	: Hidrolik Enerji Santrali
GES	: Güneş Enerji Santrali
DES	: Doğalgaz Enerji Santrali
KES	: Kömür Enerji Santrali
PJM	: Pensilvanya, New Jersey ve Maryland Elektrik Piyasası
CO₂	: Karbondioksit
LNG	: Sıvılaştırılmış Yakıt
MARR	: Minimum kabul edilebilir getiri oranı
MinRiskPort	: Minimum Risk Portföyü
MaxGetiriPort	: Maksimum Getiri Portföyü
MaxFaydaPort A=3	: Maksimum Fayda A=3 Portföyü
MaxRAGOPort	: Maksimum Riskten Arındırılmış Getiri Oranı Portföyü
MaxSharpeOranıPort	: Maksimum Sharpe Oranı Portföyü

MaxMRAGOranıPort : Maksimum MRAG Oranı Portföyü

MaxOmegaOranıPort : Maksimum Omega Oranı Portföyü

MaxSortinoOranıPort : Maksimum Sortino Oranı Portföyü

n : Varlık sayısı

w_i : i varlığının portföydeki ağırlığı

w_j : j varlığının portföydeki ağırlığı

r_i : i varlığının getirisi

σ_{ij} : i ve j varlıkları arasındaki kovaryans

$E(r_p)$: Portföyün beklenen getirisi

σ_p^2 : Portföyün varyansı

ϕ : Üst yatırım limiti

r_{rf} : Risksiz varlığın getiri oranı

w_{rf} : Risksiz varlığın ağırlığı

A : Riskten kaçınma katsayısı

U : Fayda fonksiyonu

R_{target} : Hedeflenen minimum getiri oranı

α : LPM'nin seviyesi

τ : Beklenen getiri

$F(r)$: Birikimli dağılım fonksiyonu

p_j : j senaryosunun gerçekleşme olasılığı

d_j : j senaryo getirisinin hedef getiriden negatif yöndeki farkı

m : Toplam senaryo sayısı

r : Sınır getiri değeri

a : Getiri dağılımının alt sınırı

b : Getiri dağılımının üst sınırı

$\$$	: ABD Doları
$a_{n,m}$	: m 'ninci günün n 'ninci saatinin gün öncesi fiyatı
C_g	: Güneş enerji santrali birim elektrik üreti maliyeti
C_h	: Hidrolik enerji santrali birim elektrik üreti maliyeti
C_t	: Taşkömürü enerji santrali birim elektrik üreti maliyeti
C_d	: Doğalgaz enerji santrali birim elektrik üreti maliyeti
$r_{n,m}$	: Elektrik piyasası için saatlik getiri oranı
$\vec{r}_n$	: Her bir saat için getiri oranı vektörü



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Gücü	10
Tablo 2. Türkiye'nin Hidrolik Enerji Santralleri (HES) Profili	11
Tablo 3. Türkiye'nin GES Profili	13
Tablo 4. Türkiye'nin Doğalgaz Enerji Santrali (DES) Profili.....	14
Tablo 5. Türkiye'nin Kömür Enerji Santrali (KES) Profili.....	16
Tablo 6. MV ve MAD Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	29
Tablo 7. 24 Riskli Varlığın İstatistiksel Analizi	42
Tablo 8. 24 Riskli Varlığın Korelasyon Analizi.....	43
Tablo 9. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MinRiskPort Varlık Dağılımları.....	50
Tablo 10. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları.....	52
Tablo 11. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Dağılımları.....	54
Tablo 12. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Dağılımları	56
Tablo 13. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları	62
Tablo 14. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları	63
Tablo 15. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları	63
Tablo 16. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları.....	64
Tablo 17. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MinRiskPort Varlık Dağılımları	67
Tablo 18. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları	69
Tablo 19. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Dağılımları	71
Tablo 20. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Dağılımları.....	73
Tablo 21. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları	79
Tablo 22. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları	80
Tablo 23. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları.....	80
Tablo 24. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları	81

Tablo 25. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali MinRiskPort Varlık Dağılımları.....	84
Tablo 26. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları.....	86
Tablo 27. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Dağılımları.....	88
Tablo 28. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Dağılımları	90
Tablo 29. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları.....	96
Tablo 30. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları	97
Tablo 31. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları	97
Tablo 32. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları.....	98
Tablo 33. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali MinRiskPort Varlık Dağılımları.....	101
Tablo 34. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları.....	103
Tablo 35. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Dağılımları.....	105
Tablo 36. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Dağılımları	107
Tablo 37. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları.....	113
Tablo 38. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları	114
Tablo 39. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları	114
Tablo 40. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları.....	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Kurulu Güç Oranları.....	8
Şekil 2. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Üretim Oranları	9
Şekil 3. MV Modelinde Etkin Portföyler	24
Şekil 4. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Hidrolik Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri.....	49
Şekil 5. Hidrolik Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	51
Şekil 6. Hidrolik Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	53
Şekil 7. Hidrolik Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	55
Şekil 8. Hidrolik Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	57
Şekil 9. Hidrolik Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları	58
Şekil 10. Hidrolik Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy Performansları.....	59
Şekil 11. Hidrolik Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları.....	60
Şekil 12. Hidrolik Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları.....	61
Şekil 13. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Güneş Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri.....	66
Şekil 14. Güneş Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	68
Şekil 15. Güneş Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	70
Şekil 16. Güneş Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	72
Şekil 17. Güneş Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması.....	74
Şekil 18. Güneş Enerjisi Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları	75
Şekil 19. Güneş Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy Performansları	76
Şekil 20. Güneş Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları	77
Şekil 21. Güneş Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları	78
Şekil 22. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Doğalgaz Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri	83

Şekil 23. Doğalgaz Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	85
Şekil 24. Doğalgaz Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	87
Şekil 25. Doğalgaz Enerji Santrali MaxRAGOPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	89
Şekil 26. Doğalgaz Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'lerinin Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	91
Şekil 27. Doğalgaz Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları.....	92
Şekil 28. Doğalgaz Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy Performansları.....	93
Şekil 29. Doğalgaz Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları.....	94
Şekil 30. Doğalgaz Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları.....	95
Şekil 31. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Taşkömürü Enerji Santrali	
İçin Etkin Sınır Eğrileri	100
Şekil 32. Taşkömürü Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	102
Şekil 33. Taşkömürü Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	104
Şekil 34. Taşkömürü Enerji Santrali MaxRAGOPort'larının Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	106
Şekil 35. Taşkömürü Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'lerinin Varlık Ağırlıklarının	
Karşılaştırılması.....	108
Şekil 36. Taşkömürü Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları.....	109
Şekil 37. Taşkömürü Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy Performansları	110
Şekil 38. Taşkömürü Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları	111
Şekil 39. Taşkömürü Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları	112

GİRİŞ

Dünya nüfusu büyük bir hızla yükselmekte olduğundan, insanların enerjiye ihtiyaç ve talepleri giderek artmaktadır. Buna bağlı olarak doğal kaynaklar da büyük bir hızla tükenmektedir. Enerji sadece ekonomik faaliyetlerin değil insan hayatının sürdürülebilmesi için de önemlidir. Son dönemde elektrik hayatımızda olmazsa olmaz bir yere sahiptir. İnsanlığın elektriğin olmadığı hatta kısıtlı olduğu bir ortamda yaşamını sürdürebilmesi kolay değildir. Elektrik enerjisine olan ihtiyaç gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Enerji talebinin karşılanabilmesi için gerekli enerji kaynakları, fosil ve yenilenebilen olarak iki başlık olarak sınıflandırılmaktadır. Dünyada değişik hallerde bulunan (katı, sıvı ve gaz gibi) fosil yakıtlarda bulunan enerjinin yakılmasıyla ortaya çıkan enerji kaynakları; doğal gaz, kömür, petrol ve nükleer enerjiden oluşmaktadır. Doğada var olan ve sürekli bir döngü halinde bulunan tükenmeyen kaynaklardan elde edilen enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynaklarını meydana getirmektedir. Yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarını jeotermal, hidrolik, rüzgar, güneş, biyokütle ve dalga oluşturmaktadır. (Faisal vd., 2021). Halen enerji ihtiyacının çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır (IEA, 2021).

Etkileri tüm dünyada hissedilen küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin başlıca nedeni, üretim ve tüketim için gerekli olan enerjiyi üretmek için yenilenebilir enerji kaynakları yerine fosil yakıtların kullanılmasıdır. Yenilemez fosil kaynakların enerji üretiminde kullanılmasıyla kaynaklı sera gazı emisyonları, ekonomik büyümesinde hızlanması ile beraber artış göstermektedir. Bu nedenle enerjiden vazgeçilemeyeceği için fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmesi ekonomik büyüme karşısında çevresel maliyetleri azaltacaktır (Olabi & Abdelkareem, 2022).

2000'li yılların başlarından itibaren gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede (Asya, Avrupa Birliği ülkeleri ve Amerika gibi) yenilenebilir enerjinin kullanımının teşvikine yönelik geniş çaplı çalışmalar yürütmektedir. Fosil yakıtlar doğada kısıtlı olduğundan ve gün geldiğinde tükenebileceğinden yeşil enerji kullanımına ilişkin arayışlar ile bu yakıtların dünya iklimi üzerindeki zararlarını azaltmaya yönelik çalışmalar hızlanmıştır (Nguyen & Kakinaka, 2019). Yenilenebilir enerjiye dair çalışmaların arttırılmasının gelecekte ihtiyaç duyulacak enerjinin karşılanmasında faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bu tür kaynakların çevresel açıdan daha az zararlı olmaları, salınan sera gazı olmaması, ülkeler için yerli kaynak olmaları nedeni ile enerji üretimi için tercih edilmektedir. (Ploetz vd., 2016).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Karabağ vd., 2021):

- Zengin yakıt çeşitliliği;
- Ücretlendirilen enerji fiyatlarında olası azalma;
- Enerji açısından dışa bağımlılığın azalması;
- Temiz, güvenli enerji üretimi;
- Çevreye verilecek kirliliğin azaltılması;
- İnsan sağlığına olumsuz etkilerin giderilmesi;
- Ülke ekonomisine katkı.

Tüm bu faydalar göz önünde bulundurularak; ülkelerde faaliyet gösteren enerji şirketlerinin yenilenebilir enerjiye ağırlık vermesine yönelik olarak hedeflerin konulması, yatırımlarını bu yönde yapmaları için mali teşvik sağlanması yönünde çalışmalar

yapılabilir. Yenilenebilir enerjiye yatırım yapacak şirketlere süre ve miktar açısından alım garantileri verilerek yatırımcılara kolaylıklar sağlanmalıdır. Böylelikle gerekli olacak yüksek teknoloji için yatırım dezavantajı ve ilk yatırım maliyetleri azaltılabilir. Yenilenebilir enerji politikalarının sağlıklı belirlenmesi ile küresel ısınma ile oluşabilecek ekolojik zararlar oluşmadan bertaraf edilebilecektir. Bunun yanında, karbon emisyon oranlarında azalma olacaktır. (Güner & Turan, 2017).

İhtiyaç duyulan enerji arzının artmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile çevreye duyarlı, dışa bağımlılığı azalmış sürdürülebilir kaynaklar elde edilmiş olur. Temin edilecek enerji için kaynak çeşitliliği olması (güneş, hidrolik, jeotermal ve rüzgar gibi) dışarıdan ithal edilecek enerjiye yönelik riskleri de azaltacaktır. Yaşanan çevre düşünüldüğünde enerji ve iklim politikalarının birbirinden ayrılmaksızın oluşturulması da önem arz etmektedir. Dünyamızda yaşanan iklim değişikliği ile mücadele edebilmek için düşük karbonlu yatırım planları ve politikaları ile kalkınma politikalarının uyumlu hale getirilmesi sağlanmalıdır. (Güner & Turan, 2017).

Covid-19 pandemi süreciyle beraber, insanların elektrik ihtiyacında düşüş yaşanmasına karşı yenilenebilir enerji kullanılarak üretilen elektrik miktarında artış olmuştur. (Çetinbakış & Kutlu, 2022). Sektördeki enerjiye yönelik talebin azalması yenilenebilir enerji kaynaklarını olumsuz etkilememiştir. Bu dönemde yaşanan aksaklıklar, enerji üretim tesislerinin kurulumundaki gecikmeler ve finansal sorunların çözümü için gerekli önlemler alınmaya çalışılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel çapta salgından dolayı oluşan olumsuz etkilerin giderilmesinde faydalı olduğu ve bu tür enerjilerin salgın gibi büyük çaplı afetlere adapte olunmasında daha başarılı olduğu görülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi sektöre uğramadan devam etmiş, hatta sektörde büyüme potansiyelini de sürdürebilmiştir (Bogoçlu & Neşe, 2022). Dünya çapında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı 2019 yılında %27 iken, pandemi ile birlikte 2020 yılında %29'a çıkmıştır (IEA, 2021).

Elektrik farklı piyasaları olan, alınıp satılabilen bir emtia olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik anlık üretim ve tüketim yükümlülüğü gibi özel özelliklere sahip olduğundan diğer emtialardan ayrılmaktadır. Bundan dolayı elektrik piyasaları diğer emtia piyasalarına benzememektedir.

İklim değişikliğinin önüne geçilmesi, karbon ayak izinin azaltılması ve sürdürülebilir enerji üretiminin arttırılabilmesi için elektrik tedarikçilerinin yatırımlarını yenilenebilir enerji santrallerine yapması çok önemlidir. Optizasyon ile piyasa riskleri minimum seviyede tutularak, piyasadan elde edilecek kazançlar maksimum seviyeye çıkartılabilmektedir. Optimizasyon sayesinde piyasa karar vericileri optimal portföylerini hesaplayabilir ve teklif stratejilerini iyi yönetebilirler (Gökgöz & Atmaca, 2012;2017a; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022; 2023).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sağlayacağı katkıları elde edebilmek için ülkeler, bu kaynaklar ile elektrik üretimi için teşviklerde bulunmaktadır. Bu teşvikler doğrultusunda elektrik tedarikçileri elektrik üretim portföylerine yenilenebilir enerji kaynaklarını eklemektedir.

Elektrik tedarikçileri, tedarik portföylerinde yer alan üretim tesislerinde üretilen elektrik için, içinde bulundukları piyasa risklerini iyi izlemelidirler. Piyasanın sahip olduğu bu riski göz önünde bulundurdukları takdirde yatırım ve pazar stratejilerini daha iyi tespit edebilirler. Bu tespit ile piyasa riskini optimize ederek minimize edebilen yatırımcılar, rekabetin yoğun olduğu piyasada şirket karlarını arttırarak rakiplerinin bir adım üstüne çıkabilirler. Riski minimize eden ve karı maksimize eden piyasa oyuncusunun piyasa teklif stratejisi kapsamında amaçladığı portföyü oluşturan varlıklara ait ağırlıkları iyi belirlemesi gerekir. Elektrik üreticilerinin hangi ağırlıkta spot piyasalara, hangi ağırlıkta ikili sözleşme pazarına teklif vermesi gerektiğini bulabilmek için portföy optimizasyonunun yapılması bir gerekliliktir.

Portföy optimizasyonu finans literatüründe oldukça yoğun kullanılmak ile beraber elektrik piyasalarında halen kısıtlı uygulamaları bulunmaktadır. 1952 yılında Markowitz'in ortaya koyduğu Modern Portföy Teorisi'nden (MPT) önce klasik portföy yaklaşımı ile portföy optimizasyonu yapılmaktaydı (Markowitz, 1952). Klasik yaklaşım portföye ait riskin portföyü oluşturan varlıkların çeşitlendirilmesi ile düşürülebileceğini savunmaktaydı (Statman, 1987; Copeland vd., 2005; Gökgöz & Atmaca, 2012; 2017; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). Markowitz yapmış olduğu çalışmalar ile portföy riskinin çeşitlendirmeye ek olarak portföyü oluşturan varlıklar arasındaki korelasyonun düşük olmasına dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir. MPT ile portföy optimizasyonu konusu finans literatüründe değer kazanmaya başlamıştır (Markowitz, 1952; Liu & Wu, 2006; Gökgöz & Atmaca, 2012;2017; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

Optimizasyonda kullanılan risk ölçüsüne göre farklı modeller üretilmiştir. MPT yaklaşımında risk ölçüsü olarak ortalama-varyans (mean-variance) kullanılmış ve ortalama-varyans optimizasyon modeli (MV) olarak adlandırılmıştır. Çalışmada ele alınacak diğer optimizasyon yaklaşımları bu modelden türetilmiştir. Risk ölçüsü olarak ortalama-mutlak sapma (mean-absolute deviation) kullanılarak ortalama-mutlak sapma optimizasyon modeli (MAD) oluşturulmuştur (Konno & Yamazaki, 1991). MAD yaklaşımında portföy seçim problemi doğrusal programlama ile çözülmüş ve işlem maliyeti düşmüştür (Konno & Yamazaki, 1991; Simaan, 1997; Kardiye, 2007; 2008; Kasenbacher vd., 2017; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). MV ve MAD yaklaşımlarının elektrik piyasalarına uyarıldığı farklı örnekler literatürde mevcuttur. Karşılaştırmalı olarak sonuçlar literatürde paylaşılmıştır (Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). Optimizasyon işlemi sonucunda negatif yönlü ortaya çıkan sapmalar, kayba neden olan asıl nedenler olarak kabul edildiğinden alt-kısmi moment (LPM) yaklaşımları ortaya çıkmıştır (Grootveld & Hallerbach, 1999). MV modelin de ise hem pozitif hem de negatif

sapmalar ele alınmaktadır (Gökgöz & Atmaca, 2017b). Birinci derece LPM yaklaşımı alt-taraf (down-side) risk yaklaşımı olarak adlandırılmakta ve alt-taraf risk optimizasyon modeli (DS) olarak literatüre girmiştir. İkinci derece LPM yaklaşımında ise risk ölçüsü olarak yarı-varyans (semi-variance) risk kullanılmakta ve yarı-varyans risk optimizasyon modeli (SV) olarak adlandırılmaktadır (Roy, 1952; Yu, 2007; Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b; Gökgöz & Erdoğan, 2022). DS ve SV modellerinin enerji piyasalarına uygulandığı ve her iki modelin MV optimizasyon sonuçları ile karşılaştırmaları literatürde görülmektedir (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b; Gökgöz & Erdoğan, 2022). MV, MAD, DS ve SV modellerinin her birinin elektrik piyasalarına uygulanması ve sonuçların karşılaştırılması bu tez çalışmanın ana konusudur.

Bu tezde MV, MAD, DS ve SV finansal optimizasyon modelleri Türkiye hidrolik, güneş, doğalgaz ve taşkömürü enerji piyasalarına uygulanmıştır. Her bir model için dört farklı amaç fonksiyonu (minimum risk, maksimum getiri, maksimum riskten arındırılmış getiri oranı ve maksimum fayda $A=3$) çalıştırılmış ve toplamda 64 optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 64 optimal portföyün performans karşılaştırmaları Sharpe oranı, Sortino oranı, omega oranı ve MAD riskten arındırılmış getiri (MRAG) oranı modelleri ile ölçülmüştür. Toplamda 256 performans ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar detaylıca analiz edilmiş ve piyasa oyuncuları ile paylaşılmıştır.

Bu amprik çalışma iklim değişikliğinin hızının düşürülmesi ve daha yaşanabilir bir dünyanın oluşturulması için enerji üretiminde yenilenemez ve yenilenebilir kaynakların kullanılmasını simüle etmektedir. Yapılan çeşitli simülasyonların hedefi enerji üretimde fossil kaynakların kullanımının azaltılması ve karar vericilerin elektrik üretim portföylerini bu kapsamda güncellemesini sağlayan politikalar geliştirmelerine yardımcı olmaktır.

Araştırmamızın yeniliği, yenilenebilir ve fosil enerji üretim endüstrisinde 4 farklı finansal optimizasyon modelinin ve 4 farklı amaç fonksiyonunun kullanılarak elde edilen optimizasyon sonuçlarının enerji piyasası oyuncularına sunulmasıdır. Ayrıca elde edilen sonuçlar 4 farklı portföy performans modeli ile ölçülmüş ve karar vericilere sunulmuştur. Çalışmamız iklim değişikliğinin azaltılması, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi ve elektrik tedarikçilerinin üretim portföylerine yenilenebilir enerji kaynaklarını eklemeleri hususunda önemli bilgiler ihtiva etmektedir. Ek olarak finansal optimizasyon modellerinin enerji piyasasına uyarlanması konusunda literatüre aydınlatıcı bilgiler sunulmaktadır.

Tez çalışması üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Türkiye elektrik sektörü ile ilgili genel çerçeve ele alınmıştır. İkinci bölümde elektrik piyasalarında optimizasyon modelleri incelenmiş, konu ile alakalı literatür çalışması sunulmuştur. Üçüncü bölümde Türkiye hidrolik, güneş, doğalgaz ve taşkömürü enerji piyasaları optimizasyon uygulamaları yapılmış ve optimizasyon sonuçları paylaşılmıştır. Son bölümde ise teze ait sonuç ve değerlendirmeler yer almaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’NİN ENERJİ POTANSİYELİ İLE İLGİLİ GENEL ÇERÇEVE

1.1 Türkiye’nin Enerji Kaynaklarına Genel Bakış

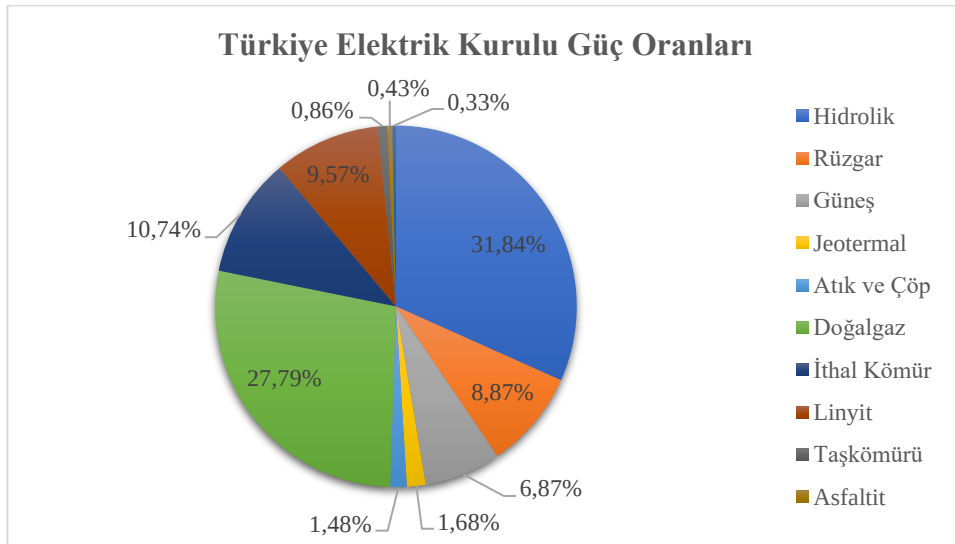
Türkiye’de 10 farklı enerji santralinden elektrik enerjisi üretilmektedir. Enerji üretilen santrallerden beşi temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir (jeotermal, güneş, hidrolik, biyokütle ve rüzgar) kaynaklardan, geriye kalanlar ise fosil (doğalgaz, linyit, ithal ve taş kömür ve asfaltit) kaynaklardan oluşmaktadır.

Türkiye’de enerji ihtiyacının büyük bir kısmı; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Bu fosil kaynakların tüm ihtiyacı karşılamaktan uzak olması ve çevre kirliliğine neden olması sebebiyle dünyada ve Türkiye’de de bir sorun

haline gelmiştir. Enerjide dış kaynaklara bağımlı olan Türkiye, kendisine yetecek miktarda fosil tabanlı kaynaklara sahip değildir. Çevre bilincinin gelişmesi ve iç kaynaklar ile enerji üretilmesine olanak sağlayan yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye enerji üretim stratejilerini değiştirmiştir (Karaaslan & Aydın, 2020).

Türkiye’de farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının ülke ekonomisine çokça fayda sağlayabilecek seviyede potansiyeli bulunmaktadır. Bu enerji potansiyelinden gerçek manada faydalanılamıyor olması gerek ülke ekonomisine katkısının sağlanamaması gerekse de başta çevre kirliliği ve iklim değişikliği konularında ekosistem üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Karabağ vd., 2021).

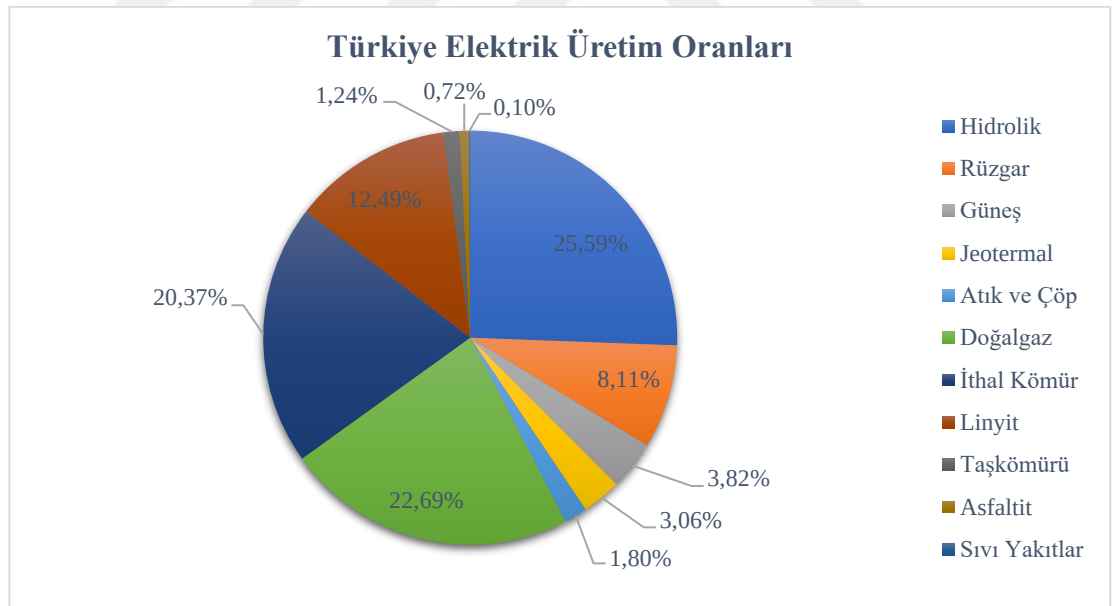
Türkiye’nin yenilenebilir kaynaklar ile elektrik üreten santrallerine ait toplam kurulu gücü 48,546 MWe’dir. Yenilenemez kaynaklar ile enerji üreten santrallerin kurulu güç toplamı 46,255 MWe’dir. Yenilenebilir kaynaklar ile elektrik üretimi yapan santrallerin kurulu güç oranı ise %51,2’dir (Enerji Portal, 2023).



Şekil 1. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Kurulu Güç Oranları (Enerji Portal, 2023)

Şekil 1’de görüldüğü gibi; Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü en yüksek santral tipi %31,84 (30.548 MWe) ile hidrolik enerji santralleridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü dikkate alındığında hidroelektrik santrallerinden sonra rüzgar santrallerinin kurulu kapasite oranı %8,87 (8,507MWe), güneş santrallerinin kurulu kapasite oranı %6,87 (6,513 MWe), jeotermal santrallerin kurulu kapasite oranı %1,68 (1,556 MWe), atık ve atık kaynakları kullanan santrallerin kurulu kapasite oranı ise sırasıyla% 1,48'dir (1,422 MWe). Fosil yakıtlardan enerji üreten santrallerin kurulu kapasite oranı% 48,8'dir (Enerji Portalı, 2023).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından 129.358 GWh elektrik üretilmiştir. Fosil kaynakların kullanılması ile üretilen enerji miktarı 175.810 GWh’tır. Toplam elektriğin %42,38’i yenilenebilir ve temiz kaynaklardan üretilmiştir (Enerji Portal, 2023). Şekil 2’de kaynaklara göre elektrik üretim oranları gösterilmiştir.



Şekil 2. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Üretim Oranları (Enerji Portal, 2023)

Şekil 2’de görüldüğü gibi; Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi en yüksek santral tipi %25,59 (78.104 GWh) ile hidrolik enerji santralleridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait enerji üretimi ele alındığında hidrolik enerji santrallerinden sonra sırasıyla

%8,11 (24.760 GWh) ile rüzgar enerji santralleri, %3,82 (11.645 GWh) ile güneş enerji santralleri, %3,06 (9.344 GWh) ile jeotermal enerji santralleri, %1,80 (5.505 GWh) ile atık ve çöp enerji santralleri ile elektrik üretilmiştir. Toplam elektrik enerjisinin %42,38'i yenilenebilir enerji kaynaklarından, %57,62'si ise yenilenemez enerji kaynaklarından üretilmiştir (Enerji Portal, 2023).

Tablo 1. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Gücü

(Enerji Portal, 2023)

Kaynaklar	Elektrik Üretimi (GWh)	Kurulu Güç (MWe)
Hidrolik	78.104	30.548
Rüzgar	24.760	8.507
Güneş	11.645	6.513
Jeotermal	9.344	1.556
Atık ve Çöp	5.505	1.422
Doğalgaz	69.234	25.641
İthal Kömür	38.128	10.097
Linyit	62.152	8.987
Taşkömürü	3.780	811
Asfaltit	2.202	405
Sıvı Yakıtlar	313	314
Toplam:	305.168	94.801

Tablo 1'de Türkiye'nin kaynak bazlı elektrik üretimi ve kurulu gücü bilgileri gösterilmiştir. Yenilenebilir kaynaklarla enerji üretimi teşvikler ile beraber günbegün artmakta, çevre dostu kaynaklarla iklimsel değişikliğinin önlenmesi için çaba sarf edilmektedir.

1.1.1 Türkiye'nin Hidrolik Enerji Kaynakları

Akarsunun belirli alanlarda biriktirilerek suyun içerisinde mevcut bulunan potansiyel enerjiden elektrik üretilmesi amacıyla kullanılan hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunmaktadır (Bhandari vd., 2015). Hidrolik enerji santralleri, akarsularda barajlar oluşturarak, geniş alanlarda su depolayarak ve

suyun sahip olduğu enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi oluşturur (Karaaslan & Aydın, 2020).

Hidroelektrik santraller, düşük işletme maliyetleri, atık ve CO2 emisyonu olmaması gibi avantajlara sahiptir. Küresel enerji üretimine kayda değer katkılar sağlamaktadır (Council, 2013).

Türkiye, dünyadaki hidroelektrik enerji üretim potansiyelinin %1.5'ine sahiptir. Türkiye hidroelektrik potansiyelini üretim aşamasında avantaja dönüştürmüştür. Ülkemizde temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları içinde en önemli pay hidrolik kaynaklar olup bu kaynağın, pahalı olan elektrik üretiminin ucuza getirme konusunda fiyatları dengeleyebilecek rolü bulunmaktadır. Dışarıdan ithal edilmeyen yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yere sahiptir (Karag l & Kavaz, 2017; Karaaslan & Aydın, 2020).

Tablo 2. Türkiye'nin Hidrolik Enerji Santralleri (HES) Profili (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023a)

Türkiye'nin Hidrolik Enerji Santralleri (HES) Profili	
Kayıtlı Santral Sayısı	672
HES Kurulu Güç	30.548 Mwe
Kurulu Güç Oranı	31,84%
Yıllık Elektrik �retimi	~ 78.104 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	25,59%

Tablo 2 'de görüldüğü gibi Türkiye'de hidrolik kaynaklar kullanılarak 78.104 GWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Elektriğin 25,59%'u hidroelektrik santrallerde üretilmektedir. Elektrik  retiminde en büyük yüzdeye sahip santral tipi hidroelektrik santralleridir. Hidroelektrik santrallerin toplam kurulu kapasiteye oranı 31.84%'tür ve toplam kurulu kapasitesi 30.548 MWe'dir. Türkiye'de kayıtlı hidrolik enerji santral sayısı 672'dir (Enerji Portal, 2023, Enerji Atlas, 2023a).

1.1.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kaynakları

Günümüzde teknolojiye yaşanan gelişmelerle birlikte ekonomik alandaki iyileşmeler sonucunda yükselen yaşam koşulları ile artan insan sayısının ihtiyaç duyduğu enerji büyük oranda; fosil kaynaklar olan kömür, doğalgaz, ve petrol ile karşılanmaktadır. Fosil kaynaklar incelendiğinde rezervlerinin yetersiz olması, iklimsel değişiklikler, küresel ısınma gibi insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyen etkenlerden dolayı birçok ülke farklı enerji kaynaklarını araştırmaya başlamıştır. Bu nedenle, fosil kaynaklardan daha temiz ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynakları araştırılmıştır. Güneş enerjisi bu kaynaklar arasında ilk sırada yer almaktadır (Adenle, 2020; Ümit, 2021).

Güneş enerjisi, güneşin iç çekirdeğinde oluşan termonükleer füzyondan kaynaklanan bir ışıma enerjisidir. Güneşteki füzyon süreci sonrasında, hidrojen gazı helyum gazına dönüşmektedir. Güneşin büyük bir kısmını hidrojen gazı oluşturmaktadır. Bu hidrojen gazı çekirdekleri, füzyon reaksiyonun bir sonucu olarak helyum çekirdeklerine dönüştürülür. Bu reaksiyondan sonra, bir kısmı Dünya'ya ulaşan büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Enerji yüklü fotonlar aracılığıyla dünyaya ulaşan güneş ışığının enerjisi çok büyüktür. 90 dakika içinde, yer yüzüne çarpan güneş enerjisi tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır (IEA, 2011).

Teknolojinin gelişmesi ile beraber güneş enerji santrali (GES) birim elektrik üretim maliyetleri her geçen yıl düşmektedir. 2009 yılında GES 1 MWh elektrik üretim maliyeti \$323 - \$394 iken 2021 yılına gelindiğinde bu maliyet \$30 - \$41 aralığına kadar gerilemiştir (Lazard, 2021). 2021 yılından sonra ise pandeminin de etkisiyle artış göstermiş ve maliyet \$24 - \$96 aralığına gelmiştir (Lazard, 2023).

Türkiye fosil kaynaklar konusunda yeteri kadar kaynağa sahip değilken güneş enerjisi açısından zengin bir potansiyele sahip olması nedeniyle güneş enerjisinden

elektrik üretiminde artış olmuştur. GES’de elektrik üretim maliyetlerinin de düşmesi ile beraber GES yatırımı da artmaktadır. Elektrik üreticileri elektrik üretim portföylerine GES’i de eklemektedir (Enerji Atlas, 2023b).

Türkiye’nin güneş enerjisi kaynak profili Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Türkiye’nin GES Profili (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023b)

Türkiye’nin GES Profili	
Kayıtlı Santral Sayısı	667
GES Kurulu Güç	6.513 MWe
Kurulu Güç Oranı	6,87%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 11.645 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	3,82%

Tablo 3’te görüldüğü gibi ES’ten 11.645 GWh elektrik üretilmiştir. Elektrik üretiminin tüketime oranı 3,82%’dir. GES’in kurulu gücü 6.513 MWe’dir. Toplam kurulu güce oranı 6,87%’dir. Türkiye’de 667 güneş enerji santrali tescil edilmiştir (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023b).

1.1.3 Türkiye’nin Doğalgaz Enerjisi Kaynakları

Türkiye’de 2022 yılında 408 milyon m³ doğal gaz üretimi yapılmasına karşın 54,6 milyar m³ doğal gaz ithalatı yapılmıştır. Bu verilere dayanarak, Türkiye’nin doğalgaz ithalatına %99 oranında bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır. 2022 yılı itibarıyla Türkiye’nin üretim rezervleri yaklaşık 544 milyar m³tür. Karadeniz’de açılan Sakarya doğalgaz sahasının geliştirilmesiyle doğalgaz rezervlerinin daha da artması tahmin edilmektedir (TCETKB, 2023).

Görüldüğü gibi Türkiye’nin doğalgaz kaynağının oldukça düşük olmasına rağmen elektrik üretiminde doğalgazın çok kullanılan bir kaynak olmasının sebepleri arasında;

- Kısa zamanda kurulabilmeleri ve kurulum maliyetlerinin düşük olması,

- Kapasite ve kuruluş maliyetleri karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji santrallerinden daha düşük olması,
- Kömür, petrol ve onların türevleri olan diğer fosil yakıtlara kıyasla kolaylıkla temin edilebilmeleri ve bunun yanında çevreye etkilerinin çok daha düşük olması,
- Kömür ile çalışan santraller ile kıyaslandığında işletmeye (devreye) almak için ihtiyaç duyulan sürenin kısa; devreye alım sonrasında işletmesinin ve bakımının kolaylığının getirdiği ekonomik ömürlerinin uzun olması, bunun yanında verimlerinin yüksek olması sayılabilir. (Özcan & Eren, 2014).

Doğalgaz yakıtı dayalı santrallerin bacalarından çıkan azot gazları, atmosferde azot dioksit şeklini alır. Oluşan bu oksitler bir hafta boyunca solunan havada bulunur. Daha sonra asit ve nitrat olarak yeryüzüne düştüğünde çevresel kirlilik oluşturur. Yeryüzünde meydana gelen bu kirlilik akciğerlerde kansere varan tedavisi çok zor olan problemlere yol açabilir. Doğalgaz, yandığı zaman atmosfere karbonmonoksit gazının salınmasına sebep olabilir. Karbonmonoksit ise nefes almayı zorlaştırarak aynı zamanda kana karışarak kanda bulunan oksijen miktarının düşmesine etki eder. Doğalgazın yakılması sebebiyle atmosfere dağılan karbonmonoksit oksijen ile bir araya gelerek karbondioksit gazını oluşturur. Bu gazın artışıyla birlikte sera etkisi meydana gelir; böylelikle havada bulunan oksijen miktarında düşüş meydana gelir. Görüldüğü gibi diğer fosil kaynaklarda olduğu gibi doğalgaz enerji santrallerinin hem çevreye hem de insan sağlığına zararı oldukça fazladır (DEÜ, 2023).

Türkiye'nin doğalgaz enerjisi profili Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Türkiye'nin Doğalgaz Enerji Santrali (DES) Profili (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023c)

Türkiye'nin DES Profili	
Kayıtlı Santral Sayısı	202

DES Kurulu Güç	25.641 Mwe
Kurulu Güç Oranı	27,79%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 69.234 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	22,69%

Tablo 4’te görüldüğü gibi DES’ten 69.234 GWh elektrik üretilmiştir. Elektrik üretiminin tüketime oranı 22,69%’dur. Türkiye’de elektrik üretiminde DES’ler üçüncü sıradadır. DES’in kurulu gücü 25.641 MWe’dir. Toplam kurulu güce oranı 27,79%’dur. HES’ten sonra kurulu güç bakımından DES ikinci sıradadır. Türkiye’de 202 adet kayıtlı DES bulunmaktadır (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023c).

1.1.4 Türkiye’nin Kömür Enerjisi Kaynakları

Türkiye’nin kömür enerji kaynakları ithal kömür, linyit, asfaltit ve taşkömürüdür. Türkiye yıllık enerji ihtiyacının 20,37%’sini ithal kömürden, 12,49%’unu linyitten, 1,24%’ünü taşkömüründen ve 0,72%’sini asfaltitten karşılamaktadır. Türkiye’nin toplam enerji kurulu gücü içerisinde 10,74%’ünü ithal kömür, 9,57%’si linyit, 0,86%’sini taşkömürü ve 0,43%’ünü asfaltit kaynaklı kömür enerji santralleri (KES) oluşturmaktadır (Enerji Portal, 2023).

Kömür enerji santrallerinde, kömürün yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisi ile kazanda bulunan su ile buhar üretilmektedir. Kazanda üretilen buhar türbinde kullanılır. Jeneratör türbine bağlanır ve türbin milinin mekanik hareketi elektrik enerjisine dönüştürülür (Şeneren, 2022).

KES’lerde elektrik üretimi için kömürün yakılması ile ortaya çıkan toksinler hava kirliliğine sebep olmakta ve bu da insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Kömür ülkelerin neredeyse tümünün elektrik üretim ihtiyacının ana kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kömür külü toksinleri, yerin altındaki ve üstündeki sular üzerinde de olumsuz etki oluşturmaktadır (Tiwari vd., 2019). Kömür bazlı enerji santrallerden kaynaklanan uçucu küller bitki örtüsüne zarar vermektedir. Bitkilerin

yaprak yüzeylerinde uçucu kül birikmesi nedeniyle bitkilerde fizyolojik değişimler ve olumsuz sağlık etkileri görülmektedir. Hava kalitesindeki olumsuz değişimler bitki fizyolojisini olumsuz etkilemektedir, bu durum iklim değişikliğini beraberinde getirmektedir (Hariram vd., 2022).

Etkileri giderek artmaya devam eden küresel iklim değişikliği ve çevre kirliliği sebebiyle Türkiye'nin bu doğrultudaki sorumlulukları göz önüne alındığında, Türkiye'nin kömür enerjisinden vazgeçmesi için bir plan ve strateji geliştirmesi önemli bir hal almaktadır. Bu kapsamda kömür enerjisine yönelik uygulanan mevcut teşvik politikalarına son verilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yardımcı olacak politikalar oluşturması, Türkiye'nin kömür enerjisinden vazgeçmesi için en uygun adımlardan biri olacaktır (Şeneren, 2022).

Türkiye'nin kömür enerjisi profili Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Türkiye'nin Kömür Enerji Santrali (KES) Profili (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023d)

Türkiye'nin KES Profili	
Kayıtlı Santral Sayısı	53
KES Kurulu Güç	20.300 Mwe
Kurulu Güç Oranı	21,6%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 106.262 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	34,82%

Tablo 5'te görüldüğü gibi ithal kömür, linyit, asfaltit ve taşkömürü kaynaklardan elektrik üreten KES'lerden 106.262 GWh elektrik üretilmiştir. Elektrik üretiminin tüketime oranı 34,82%'dur. KES'lerin toplam kurulu güce oranı 21,6%'dır. Türkiye'de 53 kömür enerji santrali tescil edilmiştir (Enerji Portal, 2023; Enerji Atlas, 2023c).

İKİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK PİYASALARINDA FİNANSAL OPTİMİZASYON

YAKLAŞIMLARININ İNCELENMESİ

2.1 Literatür Araştırması

Markowitz tarafından sunulan MPT, portföy optimizasyonundaki araştırmaları genişletmiş ve bilim insanları çeşitli optimizasyon yaklaşımları geliştirmişlerdir. Finans literatüründe sıklıkla kullanılan portföy optimizasyon yaklaşımlarından bazıları artık elektrik piyasası gibi çeşitli sektörlerde de kullanılmaya başlamıştır. Bu modellerin elektrik piyasalarına da uygulanmaya başlanmasıyla elektrik tedarikçileri üretimlerine yönelik satış portföylerini modelleyebilir hale gelmiştir.

Literatür araştırıldığında, 2000 yılından bu yana elektrik piyasasında portföy optimizasyon modellerinin uygulanmasına ilişkin araştırmaların sayısının arttığı görülebilmektedir. 2000 yılından bu yana konu ile ilgili yapılan araştırmalardan bazıları aşağıda anlatılmıştır.

Byström (2003), Nord Pool elektrik piyasasında varyansı minimum seviyeye çekebilmek için bir amprik çalışma yapmış ve veri seti olarak spot ve vadeli piyasa fiyatlarını kullanmıştır. Çalışma, elektrik vadeli işlemlerini ve bunların spot piyasa pozisyonlarındaki kısa vadeli risklerden korunmak için nasıl kullanılabileceğini, ayrıca minimum varyans koruma oranını ve bunun çeşitli şekillerde nasıl hesaplanabileceğini tartışmaktadır (Byström, 2003).

Dahlgren vd. (2003), SP15 California PX elektrik piyasasında VaR / CVaR (%95, %99) modelleri ile optimizasyonlar yapmış ve sonuçlar elektrik piyasası açısından tatmin edici sonuçlar ortaya çıkaramamıştır (Dahlgren vd., 2003).

Liu (2004), California elektrik piyasasına MV yaklaşımını uygulamış ve optimal portföyleri hesaplamıştır. Modele ikili anlaşma piyasası ile risksiz varlığı eklemiştir.

Future ve forward uygulaması ile hedging yapmış ve yakıt fiyatlarını dikkate alan bir uygulama ortaya çıkmıştır (Liu, 2004).

Liu ve Wu 2006'da bir ve 2007'de ise iki çalışma birden yapmıştır. 2006 yılındaki çalışmada California elektrik piyasasına MV modelini uygulamıştır. (Liu ve Wu, 2006). 2007 yılındaki ilk çalışmalarında PJM elektrik piyasası fiyat verilerini kullanarak MV modeli portföy optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir (Liu ve Wu, 2007a). İkinci çalışmalarında ise yine PJM elektrik piyasası verilerini kullanmışlar ve VaR modeli ile on bölge ikili anlaşma (risksiz) ve bir spot piyasa (riskli) varlık yaklaşımı kapsamında 2 farklı ticari portföy durumu üzerinden analiz yapılmıştır (Liu ve Wu, 2007b).

Feng vd. (2007), PJM elektrik piyasasında MV optimizasyon modelini kullanarak gün öncesi piyasası, riskli ve risksiz ikili anlaşma fiyat verileri ile portföy optimizasyonu yapmıştır (Feng vd., 2007).

Munoz vd. (2009), İspanya elektrik piyasası verilerini kullanarak MV optimizasyon modeli ile İspanya için dokuz ayrı duruma göre optimum yatırım portföyü içinde yer alması gereken yenilenebilir enerji kaynaklarını belirlemiştir (Munoz vd., 2009).

Pindoriya vd. (2010), PJM elektrik piyasasında Ortalama-varyans-çarpıklık optimizasyon modeli (MVS) ile PJM elektrik piyasası verilerini kullanarak elektrik üretim maliyet fonksiyonunu karesel olarak belirlemiş, iki sözleşme ve spot piyasa arasında varlık yerleştirme optimizasyonu uygulanmıştır (Pindoriya vd. 2010).

Kazempour ve Moghaddam (2011), CVaR, kovaryans ve varyans finansal optimizasyon yaklaşımlarıyla İspanya elektrik piyasası fiyat verilerini kullanarak optimal portföyleri hesaplamıştır. Çalışmaları ile optimal portföylerin yer aldığı etkin sınırları belirlemişlerdir (Kazempour & Moghaddam, 2011).

Bhattacharya ve Kojima (2012), Japon enerji pazarına MV finansal optimizasyon tekniğini uygulamıştır. Çalışma sonucunda Japonya'daki yenilenebilir enerji portföyünün %9'a kadar yükseltilebileceğini göstermişlerdir (Bhattacharya & Kojima 2012).

Suksonghong vd. (2014), PJM elektrik piyasası verilerini kullanarak iki adet örnek olay üzerinden dokuz çeşit bölgeye ilişkin enerji satış portföylerinin çözümlenmesini MVS modeli ile çok amaçlı optimizasyon olarak yapmıştır (Suksonghong vd. 2014).

Boroumand (2015), Fransa elektrik piyasası üzerinde VaR ve CVaR optimizasyon modellerini uygulamıştır. Yapılan çalışmada elektrik sağlayıcısı açısından gerek piyasa fiyat belirsizlikleri gerekse de müşterilerin yapacakları tüketimlerdeki belirsizlikleri dikkate alınarak risk minimizasyonu oluşturan portföyler bulunmaya çalışılmıştır. İkili sözleşme, piyasa ve üretim oranları araştırılmıştır. (Boroumand, 2015).

Gökgöz ve Atmaca elektrik piyasalarında finansal optimizasyon modelleri ile portföy optimizasyonu konusunda oldukça yoğun çalışmalar yürütmüş ve literatüre katkıları üst düzeyde olmuştur. 2012 yılında bir, 2013 yılında bir, 2016 yılında üç ve 2017 yılında bir çalışma olmak üzere toplamda 6 yayın çalışması yapmıştır. 2012 yılındaki çalışmalarında MV optimizasyon modelini Türkiye elektrik piyasasına uygulamışlar ve çalışma kapsamında doğalgaz, hidrolik ve termik üretim çeşitlerinin her birine: 24 riskli varlık 1 risksiz varlık, 24 riskli varlık ve üst yatırım kısıtı ve 24 riskli varlık kullanılarak portföy optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir (Gökgöz & Atmaca, 2012). 2013 yılında LPM kullanarak elektrik piyasasında optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. SV ve DS yaklaşımlarını Türkiye elektrik piyasalarına uygulamışlardır. Bu kapsamda hidrolik enerji santrali portföyüne ilişkin olarak: 24 riskli varlık 1 risksiz varlık, 24 riskli varlık ve üst yatırım kısıtı ve 24 riskli varlık uygulaması yapılmıştır. İki yöntemin sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır (Gökgöz & Atmaca, 2013). 2016 yılında yapılan bir çalışmada

Gökgöz ve Atmaca, Türk enerji piyasasında 24 riskli varlığa MV, DS ve SV tekniklerini uygulamışlardır. Her üç yöntemde 20 farklı yatırımcı algısı ‘A’ için maksimum fayda portföyünü hesaplamışlardır. Portföy performanslarını Sharpe oranı ile karşılaştırmışlardır (Gökgöz ve Atmaca, 2016). Gökgöz ve Atmaca 2017 yılında iki çalışma yapmıştır. Birinci çalışmalarında Türk enerji pazarına MV, DS ve SV optimizasyon tekniklerini uygulamıştır. Çalışmada doğalgaz, termik ve hidrolik enerji santrallerine ait gerçek birim elektrik üretim maliyetlerini kullanmışlardır. Uygulamada; 24 adet riskli ve üst yatırım kısıtlı varlık, 24 adet riskli ve 1 adet sabit fiyatlı varlık, 24 adet riskli ve 1 adet risksiz varlık ve 24 adet riskli varlık durumlarını termik, hidrolik ve hidrolik/termik/doğalgaz içeren üretim portföylerine uygulamışlardır (Gökgöz ve Atmaca, 2017a). İkinci çalışmalarında ise MV, DS ve SV optimizasyon modellerini Nord Pool elektrik piyasalarına uygulamışlardır. Mevcuttaki bütün yöntem için üç farklı yatırımcı risk anlayışından yararlanarak toplamda 27 adet optimizasyon hesaplamışlardır. Bu optimizasyonlarda 24 adet riskli ve 1 adet risksiz varlık kullanmışlardır. Optimal portföylerin performanslarını Sharpe oranı ile ölçmüşlerdir (Gökgöz & Atmaca, 2017b).

Cucchiella vd. (2017), İtalya elektrik piyasası verilerini kullanarak, yenilenebilir enerji kaynakları için MV optimizasyon modelini uygulamışlardır. Elde edilen optimal portföylerin performanslarını Sharpe oranı ölçütü ile ölçmüşler ve değerlendirmişlerdir (Cucchiella vd., 2017).

deLlano-Paz vd. (2017), MPT metodolojisinin elektrik piyasalarına uygulanması ile alakalı literatürde kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Bu metodolojik yaklaşımın enerji planlaması ve elektrik üretimi alanlarında uygulanması için ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir (deLlano-Paz vd., 2017).

Martinez vd. (2018) MV optimizasyon modelini fosil yakıtlar ve yenilenebilir üretim teknolojilerinden oluşan bir portföy karışımına uygulamıştır. Bu çalışmada

portföyü minimum varyansla hesaplamışlardır. Ayrıca elektrik üretim portföylerine yenilenebilir enerji kaynaklarını ekleyerek CO₂ emisyonlarının azaldığını göstermişlerdir (Martinez vd., 2018). Martinez vd. (2019), karbon azaltımı sağlamak ve iklim değişikliğini önlemek için yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik piyasasında portföy optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Optimizasyonda, üretim portföyünün maliyetini ve riskini azaltmak ve ardından emisyon faktörünü azaltmak için MPT'yi kullanmışlardır (Martinez vd., 2019).

Kim ve Kim (2018), MV finansal optimizasyon yaklaşımını Kore enerji piyasasına uygulamıştır. Optimizasyon modelinde sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) yenilenemez kaynağını kullanmış ve optimal LNG portföyünü hesaplamıştır (Kim & Kim, 2018).

MAD optimizasyon modeli Türkiye elektrik piyasasında yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üreten santraller için uygulanmıştır (Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). Gökgöz ve Erdoğan 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada MV ve MAD optimizasyon modellerini Türkiye jeotermal enerji piyasasına uygulamışlardır. Çalışmada her iki model için minimum risk, maksimum getiri ve maksimum fayda portföylerini hesaplamışlar ve Sharpe oranı ile portföy performanslarını incelemişlerdir (Gökgöz & Erdoğan, 2021). 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada da MV ve MAD yaklaşımlarını kullanmışlardır. Bu yaklaşımı Türk rüzgar ve hidroelektrik enerji pazarlarına uygulamışlardır. Her iki model için minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda ve maksimum Sharpe oranı portföylerini hesaplamışlar ve portföy performanslarını ölçmüşlerdir. Hesaplamış oldukları sonuçlarla, elektrik tedarikçilerine enerji üretim portföylerine temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ekleme konusunda önemli bilgiler vermişlerdir. Her iki çalışmada da MAD yaklaşımı ile oluşturulan optimal portföylerin performansları MV yaklaşımı ile oluşturulan portföylerin performanslarına göre daha yüksek çıkmıştır (Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

Gökgöz ve Erdoğan 2023 yılındaki çalışmalarında Türk güneş enerji pazarına MV ve SV optimizasyon yaklaşımını uygulamışlardır. Modellerinde risksiz varlık (ikili sözleşme) ve üst yatırım kısıtı kullanmışlardır. Her optimizasyon yaklaşımı için altı farklı amaç fonksiyonu uygulamışlar ve toplamda 24 optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Optimum portföylere ait performansları Sortino, Sharpe ve Treynor oranı portföy performans kriterlerine göre kıyasamışlar ve elektrik üreticilerine tavsiyelerde bulunmuşlardır (Gökgöz & Erdoğan, 2023).

Literatürde Türkiye, Kore, İtalya, Fransa, Pennsylvania, New Jersey, ve Maryland (PJM), Japonya, İspanya ve California elektrik piyasalarında finansal optimizasyon modellerinin kullanıldığı görülmüştür.

2.2 Modern Portföy Teorisi ve Ortalama Varyans Optimizasyon Modeli (MV)

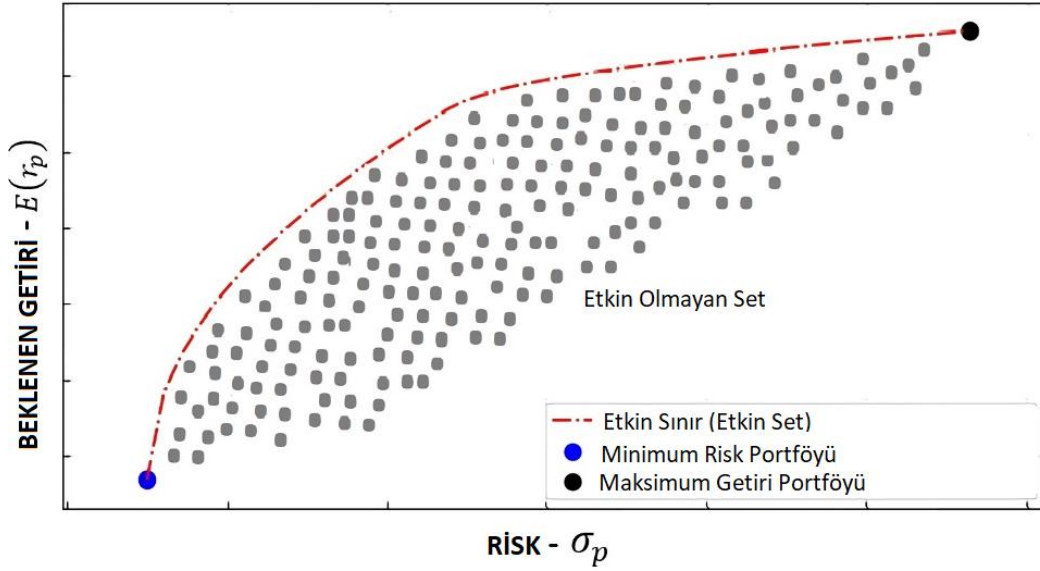
Harry Markowitz yapmış olduğu çalışmada yatırım varlıklarını ayrı ayrı ele almamış, yatırımı oluşturan varlıklar arasındaki korelasyonları da dikkate almıştır. Risk ve getiri faktörlerinin bu kıstas ile değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayan bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımla ile klasik portföy teorisinin ilerisine geçmiş ve modern portföy teorisinin temellerini oluşturmuştur. MPT'ye göre çeşitlendirme ile farklı varlıklar seçilerek oluşturulmuş portföyün riskinin düşürülmesi için varlıklar arasındaki korelasyona bakılması gerekmektedir. (Markowitz, 1952; Liu & Wu, 2006; LeCompte, 2008; Gökgöz & Atmaca, 2012). Portföy içerisinde aralarında düşük korelasyona sahip iki varlığa sahip olmanın marjinal yararı, portföy içerisinde aralarında yüksek korelasyona sahip iki varlığa sahip olmaktan daha büyüktür. Bu yaklaşım açısından değerlendirildiğinde getirileri arasında tam pozitif korelasyon olmayan finansal varlıklar ile oluşturulan portföyün beklenen getirisinde bir düşme olmadan, portföyün sistematik olmayan riski azaltılabilmektedir. MPT metodolojisine ait kabul edilmiş varsayımlar

aşağıda listelenmiştir (Defusco vd., 2004; Huang & Wu, 2016; Gökgöz & Erdoğan, 2021):

- İşlem yükü ve vergi bulunmamaktadır,
- Yatırım yapacaklar var olan tüm bilgilere sahip olup bu bilgileri benzer biçimde yorumlar,
- Yatırım yapacak olanlara risklerden kaçış olanağı sunar, benzer risk seviyesindeki iki farklı yatırım seçeneğinden daha fazla getiriye sahip olanı seçerler,
- Yatırım yapacaklar, yatırımlarına ilişkin kararlarını belirlerken sadece yatırımın amaçlanan getirisini ile oluşacak riski değerlendirirler,
- Varlıkların ürettiği getiriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır.

MPT metodolojisi, ortalama varyans optimizasyon (MV) yaklaşımını temel almaktadır. Riski minimize ederek hedeflenen getiriye veya hedeflenen risk için maksimum getiriye elde etmeyi amaçlar (Gökgöz & Atmaca, 2017a; LeCompte, 2008).

Belirli sayıda riskli varlık seçeneğini içeren portföy için MV optimizasyonu yapılarak elde edilen sonuç kapsamında yatırımcının yatırım yapabileceği fırsat kümesi ve etkin set elde edilmektedir. Belirli bir risk seviyesinde en yüksek getiriye ve belirli bir getiri seviyesinde en düşük riski sunan portföye etkin portföy denilmektedir. Bu etkin portföylerden oluşan sete ise etkin set (efficient frontier) denilmektedir (Copeland vd., 2005; Kardiye, 2008).



Şekil 3. MV Modelinde Etkin Portföyler

Şekil 3’de minimum risk ve maksimum getiri portföyleri, etkin sınır eğrisi (efficient frontier) gösterilmektedir. Etkin sınır üzerindeki her bir nokta etkin portföyleri, altındaki noktalar ise etkin olmayan portföyleri göstermektedir.

Markowitz MPT’de yatırım yapılması planlanan varlıklara ait getiri değerlerinin normal dağılıma sahip olması durumunda, bu varlıkların oluşturacağı olası portföy seçeneklerinin getiri dağılımlarının sadece ortalama getiri ve varyansları ile tanımlanabileceğini belirtmektedir. (King, 2007). Bu çerçevede, MV optimizasyonunun uygulanabilmesi amacıyla varlıkların beklenen getirileri, varyansları ile kovaryans matrisine ihtiyaç duyulmaktadır. (Huang & Wu, 2016; deLlano-Paz vd., 2017; Wattoo vd., 2020).

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i r_i \quad (1)$$

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Varyans – Kovaryans Matris} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{1,2} & \dots & \sigma_{1,n} \\ \sigma_{2,1} & \sigma_2^2 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ \sigma_{n,1} & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

n varlık sayısı, w_i i varlığının portföydeki ağırlığı, w_j j varlığının portföydeki ağırlığı, r_i i varlığının getirisi. σ_{ij} i ve j varlıkları arasındaki kovaryans değerini, $E(r_p)$ portföyün beklenen getirisini, σ_p^2 ise portföyün varyansını göstermektedir.

Bazı yatırımcılar riskten hoşlanmazlar ve minimum riskle bir portföye yatırım yapmayı tercih ederler. MV yaklaşımında minimum risk portföyünü hesaplayabilmek için aşağıdaki adımların gerçekleştirilmesi gerekir (Huang & Wu, 2016; Gökgöz & Atmaca, 2012; 2017a Kim & Kim, 2018):

$$\text{Min.}(\sigma_p^2) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i r_i = r_{\text{target}} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (6)$$

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (7)$$

Çalışmada üst yatırım limiti uygulanmıştır. Bundan dolayı MV yaklaşımında minimum risk portföyünü belirlenen bir üst yatırım limiti kısıtı ile hesaplayabilmek için Eş. 4, Eş. 5 ve Eş. 6'ya ek olarak aşağıda belirtilen Eş. 8 kısıtı hesaplamaya eklenmiştir (Gökgöz & Atmaca, 2017b).

$$0 \leq w_i \leq \phi, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (8)$$

ϕ üst yatırım limitini göstermektedir.

Çalışmada riskli varlıklara ek olarak risksiz varlık da eklenerek MV yaklaşımında minimum risk portföyü hesaplanmıştır. Eşitlik 4'te gösterilen amaç fonksiyonuna ek

olarak aşağıdaki kısıtlama denklemleri hesaplamaya eklenmiştir (Gökgöz & Atmaca, 2017b).

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i r_i + w_{rf} r_{rf} = r_{target} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (10)$$

$$0 \leq w_{rf} \leq 1 \text{ and } 0 \leq w_i \leq 1 \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (11)$$

r_{rf} risksiz varlığın getiri oranını, w_{rf} ise risksiz varlığın ağırlığını göstermektedir.

Bazı yatırımcılar faydaya odaklanır ve faydayı maksimize edecek portföyü tercih eder. Fayda yatırımcının riskten kaçınma seviyesine göre farklılık gösterir. Bu noktada yatırımcının riskten kaçınma faktörü (A) önem kazanmaktadır. Finansal literatürde riskten kaçınmanın ortalama sayısı üç olarak tanımlanmaktadır (Gökgöz & Atmaca, 2012; 2017; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022; 2023). Çalışmada fayda fonsiyonunu (U) maksimize edebilmek için ortalama yatırımcı yaklaşımı kullanılmıştır. Ortalama riskten kaçınan yatırımcıyı modellemek için $A=3$ olarak kabul edilir. MV modelinde fayda fonsiyonunu en üst düzeye çıkaran bir portföyü hesaplamak için aşağıdaki adımların uygulanması gerekmektedir (Gökgöz & Atmaca, 2017a; deLlano-Paz vd., 2017; Wattoo vd., 2020):

$$Max.(U) = E(r_p) - \frac{1}{2} A \sigma_p^2 \quad (12)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (13)$$

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (14)$$

MV yaklaşımında fayda fonksiyonunu maksimize eden portföyü üst yatırım limiti ile hesaplayabilmek için Eş. 12 ve Eş. 13'e ek olarak aşağıda belirtilen Eş. 15 kısıtı hesaplamaya dahil edilmiştir (Gökgöz & Atmaca, 2017b).

$$0 \leq w_i \leq \phi, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (15)$$

MV yaklaşımında risksiz varlık da optimizasyona dahil edildiğinde fayda fonksiyonunu maksimize eden portföy aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Gökgöz & Atmaca, 2017b):

$$Max.(U) = E(r_m) - \frac{1}{2} A \sigma_m^2 \quad (16)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (17)$$

$$0 \leq w_{rf} \leq 1 \text{ ve } 0 \leq w_i \leq 1 \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (18)$$

Olduğu durumda,

$$E(r_m) = w_{rf} r_{rf} + (1 - w_{rf}) E(r_p) \quad (19)$$

$$\sigma_m^2 = (1 - w_{rf})^2 \sigma_p^2 \quad (20)$$

Bazı yatırımcılar getiriye odaklanır ve maksimum return portföyüne yatırım yapmayı tercih ederler. MV modelinde getiriye maksimize edecek portföyü bulabilmek için aşağıdaki işlemlerin uygulanması gerekmektedir (Gökgöz, 2009; Ivanova & Dospatliev, 2017):

$$Max.E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i r_i \quad (21)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (22)$$

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (23)$$

MV yaklaşımında getiriye maksimize eden portföyü üst yatırım limiti ile hesaplayabilmek için Eş. 21 ve Eş. 22'ye ek olarak aşağıda belirtilen Eş. 24 kısıtı hesaplamaya dahil edilmiştir (Gökgöz & Atmaca, 2017b; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

$$0 \leq w_i \leq \phi, \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (24)$$

MV yaklaşımında risksiz varlık optimizasyona dahil edildiğinde getiriye maksimize eden portföy aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Max. E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i r_i + w_{rf} r_{rf} \quad (25)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (26)$$

$$0 \leq w_{rf} \leq 1 \text{ and } 0 \leq w_i \leq 1 \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (27)$$

2.3 Ortalama Mutlak Sapma Optimizasyon Modeli (MAD)

Markowitz (1952) 'in MPT'de ele aldığı MV optimizasyon modelindeki işlem zorluklarının önüne geçilebilmesi için 1991 yılında Konno ve Yamazaki MAD optimizasyon modelini literatüre kazandırmıştır (Konno & Yamazaki, 1991). MAD modelinde risk ölçüsü olarak kullanılan ortalama mutlak sapma ile optimizasyon modeli doğrusal programlamaya dönüşmüş bu sayede büyük portföylerdeki hesaplama zorluklarının önüne geçilmesi sağlanmıştır (Konno & Yamazaki, 1991; Simaan, 1997; Kardiyan, 2007; 2008; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

Konno ve Yamazaki'nin önerdiği modelde getirilerin normal dağılım göstermesine gerek yoktur, bundan dolayı etkin sınırdaki optimal çözüm dağılımdan bağımsız bir şekilde beklenen faydayı en büyük yapar (Mansini vd., 2003; Gökgöz &

Erdoğan, 2021; 2022). Portföy seçim problemi doğrusal programlama ile çözüldüğünden hesaplama daha kolay yapılmaktadır (Konno & Yamazaki, 1991, Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). Portföy genişletilmek istendiğinde optimizasyon modeli hızlı ve kolay bir şekilde yeniden organize edilebilmektedir (Kardiyen, 2007; 2008; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022). Bunların hepsi doğrusal programlanın avantajlarıdır. MAD yaklaşımında aynı periyot içerisinde varlıklara ait getiriler pozitif olmasa dahi çözüm üretilememe durumu söz konusu değildir (Kardiyen, 2007; 2008; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

MV ve MAD optimizasyon yaklaşımlarının karşılaştırılması Tablo 6'da gösterilmiştir:

Tablo 6. MV ve MAD Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

MV Optimizasyon Modeli	MAD Optimizasyon Modeli
Doğrusal olmayan programlama	Doğrusal programlama
Varlıkların normal dağıldığı varsayılır	Varlıklar arasında dağılım varsayımı yoktur
Varyans, kovaryans matrisleri oluşturulur	Varyans, kovaryans matrisleri oluşturulmasına gerek yoktur.
Modelin güncellenmesi zordur	Modelin güncellenmesi kolaydır
Portföy seçim problemini çözmek zordur	Portföy seçim problemini çözmek kolaydır

MV modelinde varlıkların normal dağılım göstermesi varsayımı bulunmaktayken, MAD modelinde normal dağılım da dahil olmak üzere hiçbir dağılım varsayımı bulunmamaktadır (Mansini vd., 2003). Bir MAD modeli oluşturmak için, MV yaklaşımında yapıldığı gibi varyans ve kovaryans matrislerin oluşturması gerekmez. Dolayısıyla, MAD ile portföy optimizasyonu, doğrusal programlama yöntemiyle daha kolay uygulanabilir ve portföy seçim probleminin çözümü daha kolay uygulanabilir. MAD modeline yeni bir varlık eklendiğinde, modelin güncellenmesi daha kolay yapılabilmektedir (Konno & Yamazaki, 1991; Kardiyen, 2007; 2008). MAD

yaklaşımında yer alan tüm varlık getirileri aynı dönemde negatif değer olsa bile, model her zaman optimal portföyü hesaplayabilir (Kardiyen, 2007; 2008). MAD modeli ile hesaplanan en uygun çözüm, beklenen faydayı en üst düzeye çıkarma özelliğine sahiptir. Beklenen faydayı en büyük yaparken, getirilere ait dağılım ile ilgilenmez (Kardiyen, 2007; 2008). MAD modeliyle yapılan optimizasyondan elde edilen optimum portföy çözümü, portföyün $2T+2$ 'den fazla varlık içermesine izin vermez. Bundan dolayı portföy içerisindeki varlık miktarının kısıtlanması istenirse, T kontrol değişkeni amacı ile kullanılabilir (Kardiyen, 2007; 2008).

Doğrusal programlama ile geliştirilmiş ve finans literatürüne kazandırılmış olan MAD yaklaşımında portföye ait risk ve getiri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır (Konno & Yamazaki, 1991; Konno & Koshizuka, 2005; Kardiyen, 2007; Kardiyen, 2008; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022).

$$w(x) = E \left[\left| \sum_{j=1}^n R_j x_j - E \left[\sum_{j=1}^n R_j x_j \right] \right| \right] \quad (28)$$

$$E(R(x)) = \sum_{j=1}^n R_j x_j \quad (29)$$

$w(x)$ portföye ait risk değerini (mean-absolute deviation), R_j j varlığına ait getiriyi, x_j j varlığının portföy içindeki ağırlığını ve $E(R(x))$ ise portföye ait beklenen getiriyi göstermektedir.

MAD yaklaşımında yatırım üst kısıtı ve risksiz varlık ile portföy riskini minimize eden formülizasyon aşağıdaki gibidir (Konno & Yamazaki, 1991; Konno & Koshizuka, 2005; Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022):

$$\text{Min. } w(x) = E \left[\left| \sum_{j=1}^n R_j x_j - E \left[\sum_{j=1}^n R_j x_j \right] \right| \right] \quad (30)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n E(R_j)x_j + w_{rf}r_{rf} = R_{target} \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j + w_{rf} = 1 \quad (32)$$

$$0 \leq x_j \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [j = 1, 2, \dots, n] \quad (33)$$

R_{target} hedeflenen minimum getiri oranını, $E(R_j)$ j varlığına ait beklenen getiri oranını, r_{rf} risksiz varlığın getiri oranını, w_{rf} ise risksiz varlığın ağırlığını, n riskli varlık sayısı, ϕ ise yatırım üst limitini belirtmektedir.

Eşitlik 30, 31, 32 ve 33 kullanılarak minimum riske sahip portföy hesaplanabilmektedir.

MAD optimizasyon modelinde üst yatırım kısıtı, risksiz varlık ve yatırımcının riskten kaçınma seviyesine göre faydayı maksimize edecek portföyü bulabilmek için maksimum fayda amaç fonksiyonu kullanılır. MAD yaklaşımında maksimum fayda portföyü aşağıda belirtilen eşitliklerin hesaplanması ile elde edilmektedir. Formülizasyon aşağıdaki gibidir (Gökgöz & Erdoğan, 2021; 2022):

$$Max.(U) = E(R(x)) - \frac{1}{2}Aw(x) \quad (34)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_j + w_{rf} = 1 \quad (35)$$

$$0 \leq x_j \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [j = 1, 2, \dots, n] \quad (36)$$

Formülizasyon içindeki U simgesi fayda fonksiyonunu, A simgesi ise riskten kaçınma katsayısını göstermektedir. A değeri 3'ten küçük olarak seçildiğinde yatırımcının riski sevdiği, büyük olarak seçildiğinde ise riski sevmediği anlaşılmaktadır

(Liu & Wu, 2007a; Gökğöz & Atmaca, 2012; Gökğöz & Erdoğan, 2021; 2022). A katsayısına bağlı olarak faydayı maksimize eden portföyü hesaplayabilmek için Eş.34, Eş.35 ve Eş.36 kullanılmalıdır.

MAD optimizasyon modeli, maksimum getiriye sahip bir portföy bulmak için maksimum getiri amaç fonksiyonunu kullanır. Riski seven yatırımcılar, maksimum getirili portföyleri tercih ederler. MAD modelinde maksimum getirili portföy aşağıdaki formüllerde belirtildiği gibi hesap edilmektedir (Gökğöz & Erdoğan, 2021; 2022):

$$Max. E(R(x)) = \sum_{j=1}^n R_j x_j + w_{rf} r_{rf} \quad (37)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_j + w_{rf} = 1 \quad (38)$$

$$0 \leq x_j \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [j = 1, 2, \dots, n] \quad (39)$$

Maksimum getirili portföy Eş.37, Eş.38 ve Eş.39 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

2.4 Alt-Taraf Risk Optimizasyon Modeli (DS)

Alt taraf risk ve yarı varyans risk optimizasyon yaklaşımları kısaca alt kısmi moment optimizasyonları (LPM) olarak adlandırılmaktadır (Gökğöz & Atmaca, 2017a). LPM’de beklenen getiri değerinden pozitif yöndeki sapmaların fırsat kümesi içinde olduğu kabul edilmiş ve pozitif sapmalar risk olarak kabul edilmemiştir. Beklenen getiri değerinden negatif yöndeki sapmaların kayba sebep olacağı kabulü ile negatif yöndeki sapmalar risk olarak kabul edilmiştir. LPM yaklaşımları getiri dağılımının sol tarafı ile ilgilenmektedir (Grootveld & Hallerbach, 1999; Gökğöz & Atmaca, 2017a; Gökğöz & Erdoğan, 2023).

LPM yaklaşımları Markowitz'in MPT temeline dayanmaktadır. MV optimizasyon modeli hedeflenen getiriden hem pozitif hem de negatif yöndeki sapmaları dikkate alırken, LPM yaklaşımı risk olarak gördüğü negatif yöndeki sapmalara odaklanmaktadır. LPM yaklaşımına ait genel formulizasyon aşağıdaki gibidir (Jasemi vd., 2019; Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$LPM_{\alpha}(\tau:r) = \int_{-\infty}^{\tau} (\tau - r)^{\alpha} dF(r) \quad (40)$$

Eş.40'ta α LPM'nin seviyesini, τ beklenen getiri değerini göstermektedir. $F(r)$ ise birikimli dağılım fonksiyonunu belirtmektedir. α 'nın 1'e eşit olması yatırımcının riske karşı nötr olduğunu, 1'den büyük olması riskten kaçındığını ve 0 ile 1 arasında olması ise riski sevdiğini göstermektedir. α yatırımcının risk algısı seviyesidir (Fishburn, 1977; Grootveld & Hallerbach, 1999; Yu, 2002; Gökgöz & Erdoğan, 2023).

DS optimizasyon modeli birinci derece LPM yaklaşımı olarak literatüre girmiştir. Yatırım üst kısıtı ve Formülizasyon aşağıda gösterilmiştir (Roy, 1952; Yu, 2002; Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$LPM_1(\tau:r) = \int_{-\infty}^{\tau} (\tau - r) dF(r) \quad (41)$$

Portföyün DS riskini minimize eden denklem aşağıdaki gibidir (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b):

$$\text{Min.} \sum_{j=1}^M p_j(d_j) = LPM_1(\tau:r) = \int_{-\infty}^{\tau} (\tau - r) dF(r) \quad (42)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i r_{ij} = r_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \text{ ve } \sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (43)$$

$$\sum_{j=1}^m p_j r_j + w_{rf} r_{rf} = R_{target} \text{ ve } d_j = \max[0, -(r_j - R_{target})] \quad (44)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (45)$$

p_j j senaryosunun gerçekleşme olasılığını, d_j j senaryo getirisinin hedef getiriden negatif yöndeki farkını, m toplam senaryo sayısını göstermektedir. r_j j varlığının getirisi, w_i ise i varlığının ağırlığını temsil etmektedir.

DS yaklaşımında maksimum getiri portföyünü hesaplayabilmek için aşağıdaki adımlar takip edilmelidir:

$$Max. E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i r_i + w_{rf} r_{rf} \quad (46)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (47)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (48)$$

Faydayı maksimize etmek isteyen yatırımcı için DS optimizasyonunda portföy aşağıdaki gibi yapılmaktadır (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b):

$$Max. (U_{DS}) = E(r_p) - \frac{1}{2} A. LPM_1(\tau; r) \quad (49)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (50)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [1 = 1, 2, \dots, n] \quad (51)$$

2.5 Yarı-Varyans Risk Optimizasyon Modeli (SV)

SV optimizasyon yaklaşımı ikinci seviye LPM uygulamasıdır. DS modelinde olduğu gibi SV yaklaşımında da pozitif sapmalar fırsat kümesi olarak görülmektedir. Negatif yönlü sapmalar kayba sebep olan unsurlardır. Bundan dolayı negatif yönlü sapmalar risk olarak kabul edilmektedir. SV modelinde portföy seçim problemi, MV yaklaşımında olduğu gibi karesel programlama ile çözülmektedir (Grootveld & Hallerbach, 1999; Yu, 2002; Gökgöz & Erdoğan, 2023).

SV optimazyonunda α değeri 2 olarak alınmaktadır (Fishburn, 1977). Bundan dolayı SV yaklaşımı DS yaklaşımına göre az riski tercih eden yatırımcılarca tercih edilmektedir. SV yaklaşımı sürekli formda aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b):

$$LPM_2(\tau:r) = \int_{-\infty}^{\tau} (\tau - r)^2 dF(r) \quad (52)$$

Portföye ait ikinci derece alt momenti en küçük değere getiren genel amaç fonksiyonu aşağıda gösterildiği biçimde oluşmaktadır (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b; Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$\text{Min.} \sum_{j=1}^m p_j (d_j)^2 = LPM_2(\tau:r) = \int_{-\infty}^{\tau} (\tau - r)^2 dF(r) \quad (53)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i r_{ij} = r_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \text{ and } \sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (54)$$

$$\sum_{j=1}^m p_j r_j + w_{rf} r_{rf} = R_{target} \text{ and } d_j = \max[0, -(r_j - R_{target})] \quad (55)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (56)$$

SV yaklaşımında fayda fonksiyonunu (U_{SV}) maksimize eden amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir (Gökgöz & Atmaca, 2017a; 2017b; Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$Max. (U_{SV}) = E(r_p) - \frac{1}{2} A. LPM_2(\tau; r) \quad (57)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (58)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (59)$$

SV optimizasyon modelinde getiriyi maksimize edecek amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$Max. E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i r_i + w_{rf} r_{rf} \quad (60)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (61)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (62)$$

2.6 Portföy Performans Ölçüm Modelleri

Finansal optimizasyon sonucu elde edilen optimal portföylerin performansının ölçülebilmesi birden çok portföy analiz modeli kullanılmakta ve performans karşılaştırması yapılmaktadır. Sharpe oranı, Sortino oranı, Treynor oranı, Omega oranı, Jensen oranı, riskten arındırılmış getiri oranı, vs. finans literatüründe portföy performans ölçümü için kullanılan analiz modellerindendir (Gökgöz ve Günel, 2012). Bu tez çalışmasında performans analiz modellerinden Sharpe oranı, Sortino oranı ve Omega oranı kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada portföy seçim probleminin çözümü için MAD

modeli de kullanıldığından MAD riskten arındırılmış getiri oranı (MRAG) performans analiz modeli olarak kullanılmıştır.

2.6.1 Sharpe Oranı Modeli

Sharpe oranı portföy performans modeli yatırımcılar tarafından en çok kullanılan modellerden biridir. Performansı bulanacak olan portföyün getirisinin, risksiz varlığın getirinden çıkartılması ile elde edilen değerin portföyün standart sapmasına bölünmesi ile elde edilir. Yatırımcı her bir portföyün Sharpe oranına bakar ve en yüksek olana yatırım yapmak ister (Sharpe, 1966; Gökgöz, 2009; Gökgöz & Günel, 2012; Cucchiella vd., 2016; Gökgöz & Erdoğan, 2021;2022;2023). Formülizasyon aşağıdaki gibidir:

$$\text{Sharpe oranı} = \frac{E(r_p) - r_{rf}}{\sigma_p} \quad (63)$$

“ σ_p ” portföyün standart sapmasını göstermektedir.

Tez çalışmasında riskten arındırılmış getiri oranı optimizasyonu yapılmıştır. MV yaklaşımında Sharpe oranını maksimize eden portföye maksimum Sharpe oranı portföyü denilmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Liu & Wu, 2007; Zhu vd., 2011; Cucchiella vd., 2016; deLlano-Paz vd., 2017; Gökgöz & Erdoğan, 2021;2022;2023):

$$\text{Maks. (Sharpe oranı)} = \text{Maks.} \left(\frac{E(r_p) - r_{rf}}{\sigma_p} \right) \quad (64)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (65)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (66)$$

2.6.2 Sortino Oranı Modeli

Sortino oranı Sharpe oranından türetilmiş, Sharpe oranının elden geçirilmiş farklı bir düzenlemesi kabul edilen portföy performans ölçüm modelidir. Sortino oranı hesabında portföye ait varyansın yönü dikkate alınmaktadır. Sharpe oranındaki standart sapma yerine, kısmi standart sapma kullanılmaktadır. Böylece pozitif standart sapma ile negatif standart sapma ayırt edilebilmektedir. Denklemin paydasında portföye ilişkin standart sapma yerine kabul edilebilir getiri seviyesi altında kalan getirilerin standart sapması hesaba katılmaktadır. Karşılaştırılan portföylerden Sortino oranı büyüdükçe başarı oranının yükseldiği kabul edilmektedir (Sortino & Price, 1994; Gökgöz & Günel, 2012). Sortino oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Sortino oranı} = \frac{E(r_p) - MARR}{\sigma_p - MARR} \quad (67)$$

"MARR" minimum kabul edilebilir getiri oranını göstermektedir. Tez çalışmasında MARR, risksiz varlığın getirisi (r_{rf}) olarak kabul edilmektedir.

SV optimizasyon modelinde Sortino oranını maksimize eden portföye maksimum Sortino oranı portföyü denilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Gökgöz & Erdoğan, 2023):

$$\text{Maks. (Sortino oranı)} = \text{Maks.} \left(\frac{E(r_p) - MARR}{\sigma_p - MARR} \right) \quad (68)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (69)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (70)$$

2.6.3 Omega Oranı Modeli

Omega oranı 2002 yılında oluşturulmuş ve finans literatüre girmiştir (Keating & Shadwick, 2002). Omega oranı performans ölçüm modeline göre sınır bir getiri değeri belirlenmektedir. Getiri dağılımının bu sınır değerini geçen kısımlarının dağılım fonksiyonunun altındaki alanın, bu sınırı geçemeyen kısımdaki dağılım fonksiyonunun oluşturduğu alana bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Omega oranı formülü aşağıdaki gibidir:

$$Omega\ oranı = \frac{\left(\int_r^b (1 - F(x)) dx \right)}{\left(\int_a^r F(x) dx \right)} \quad (71)$$

$F(x)$ birikimli getiri dağılımını, r sınır getiri değerini, a getiri dağılımının alt sınırını, b getiri dağılımının üst sınırını göstermektedir.

DS optimizasyon modelinde Omega oranını maksimize eden portföye maksimum Omega oranı portföyü denilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Maks. (Omega\ oranı) = Maks. \frac{\left(\int_r^b (1 - F(x)) dx \right)}{\left(\int_a^r F(x) dx \right)} \quad (72)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (73)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \ ve \ 0 \leq w_{rf} \leq \phi \ [i = 1, 2, \dots, n] \quad (74)$$

2.6.4 MAD Riskten Arındırılmış Getiri Oranı Modeli

Riskten arındırılmış portföy performans analiz modelinde seçilen optimizasyon yaklaşımında kullanılan risk ölçütü önemlidir (Bacon & Chairman, 2009; CFI, 2023). Ortalama-mutlak sapma risk ölçütünü kullanarak portföy performance analizi yapan

model çalışmada MRAG (MAD riskten arındırılmış getiri) oranı olarak adlandırılmıştır.

MRAG oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$MRAG \text{ oranı} = \frac{E(r_p) - r_{rf}}{w(x)} \quad (75)$$

MAD optimizasyon modelinde MRAG oranını maksimize eden portföyü hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılır:

$$Maks. (MRAG \text{ oranı}) = Maks. \left(\frac{E(r_p) - r_{rf}}{w(x)} \right) \quad (76)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n w_i + w_{rf} = 1 \quad (77)$$

$$0 \leq w_i \leq \phi \text{ ve } 0 \leq w_{rf} \leq \phi \quad [i = 1, 2, \dots, n] \quad (78)$$

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON UYGULAMALARI

3.1 Amaçlar, Veri Analizi, Varsayımlar ve Yöntem

3.1.1 Amaçlar

Elektrik, insanın günlük yaşamını devam ettirebilmesi için vazgeçilmez bir ürün olduğu gibi aynı zamanda sanayi, ticaret ve ülkelerin kalkınması için de kullanılan önemli bir üründür. Elektrik farklı piyasaları olan, alınıp satılabilen bir emtia olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektriğin anında üretim ve tüketim gerekliliği ve depolanamama gibi özellikleri nedeniyle diğer emtialardan ayrıldığı bilinmektedir. Bundan dolayı elektrik piyasaları diğer emtia piyasalarına benzememektedir.

Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarına (doğalgaz, kömür, su, petrol ürünleri, nükleer yakıtlar vs.) bakıldığında, bu kaynakların sınırsız olmadığı bilinmektedir. Bundan nedenle, bu sınırlı kaynakların verimli kullanılması gerekmektedir. Bu kısıtlar altında elektrik piyasası oyuncularının ve karar vericilerinin piyasa şartlarını ve risklerini dikkate alarak gerek kısa, gerek orta gerekse de uzun dönemde üretim, yatırım ve bunun yanında pazara ilişkin planlarını düşünmeleri gerekmektedir.

Çalışmada, problemin çözümü için finans alanında önemli kullanım ortamı olan risk yönetim tekniklerinden optimizasyon modellerinin elektrik piyasalarına uygulanması, ayrıca elektrik tedarikçilerinin karlarını maksimize edip piyasa risklerini en aza indirebileceği, verilecek kararlara destek olması açısından sistem geliştirilmesi ve literatüre değerli bir katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

3.1.2 Veri Analizi

Bu deneysel çalışmada dört farklı optimizasyon modeli (MV, DS, SV ve MAD) hidrolik, güneş, taş kömürü ve doğalgaz enerji santallerine uygulanmıştır. 21.07.2021 – 21.07.2023 arası son 2 yıla ait güncel gün öncesi piyasa takas fiyatları Türkiye elektrik enerjisi piyasasından sağlanmıştır (EPIAS, 2023). Gün içersindeki 24 saatlik fiyat verisi 24 riskli varlık olarak kabul edilmiştir. Ayrıca çalışmada ikili sözleşme piyasası sabit fiyatı risksiz varlık olarak ele alınmıştır. Yapılan optimizasyonlarda 24 riskli (24 saat) ve 1 risksiz (ikili sözleşme) ile 25 varlık kullanılmış, portföyü oluşturacak varlıklara yapılacak yatırımın %10'u geçmemesi için üst yatırım kısıtı eklenmiştir. Toplam 731 gün, 24 saatlik fiyat verisi ve ikili sözleşme fiyatı ile optimizasyonlarda 18.275 adet fiyat verisi kullanılmıştır.

Amprik çalışmada veriler son iki yılı kapsayacak şekilde günceldir. Güncel veriler üzerinden yapılan optimizasyonlar karar vericiler için daha doğru karar vermelerini sağlaması açısından oldukça önemlidir. Son 2 yıla ait güncel veriler incelendiğinde MW/h fiyatlarının 260\$ bandına kadar yükseldiği görülmektedir. (EPIAS, 2023). Enerji fiyatlarında son dönemde görülen yüksek artış ve dalgalanma, optimizasyonun enerji piyasalarında uygulanmasının önemini bir kez daha karşımıza çıkarmaktadır.

Her bir riskli varlık için minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık hesaplanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 7. 24 Riskli Varlığın İstatistiksel Analizi

Saat	Min. \$/MWh	Maks. \$/MWh	Ortalama \$/MWh	Std. Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Gün Sayısı
0	2,12	264,02	124,18	55,23	0,56	-0,57	731
1	1,69	264,02	114,46	47,89	0,62	-0,26	731
2	0,34	264,02	103,26	45,34	0,61	-0,17	731
3	0,05	255,8	100,66	45,86	0,57	-0,24	731
4	0,05	258,52	100,12	45,52	0,46	-0,45	731

5	0,05	233,27	101,73	46,46	0,46	-0,46	731
6	0,34	257,97	101,65	51,16	0,73	-0,09	731
7	0,07	257,54	102,74	53,85	0,63	-0,28	731
8	0	263,05	128,28	66,29	0,49	-0,61	731
9	0	264,17	130,80	66,45	0,44	-0,70	731
10	0	259,3	126,10	62,30	0,49	-0,58	731
11	0	264,17	124,77	60,16	0,42	-0,58	731
12	0	258,06	101,30	49,24	0,46	-0,07	731
13	0	258,66	109,10	54,54	0,54	-0,28	731
14	0	264,17	122,57	60,08	0,51	-0,49	731
15	0	264,17	123,99	62,06	0,61	-0,39	731
16	0,34	264,17	129,41	65,17	0,59	-0,61	731
17	1,7	264,17	137,55	64,82	0,58	-0,81	731
18	6,36	264,17	141,79	63,72	0,57	-0,87	731
19	13,66	264,17	143,35	60,16	0,60	-0,74	731
20	37,2	264,17	145,71	57,86	0,48	-0,89	731
21	50,73	264,17	141,98	55,82	0,40	-0,97	731
22	13,59	264,17	126,05	51,95	0,51	-0,66	731
23	1,61	264,17	111,32	47,97	0,50	-0,44	731

İstatistiksel analiz yapıldıktan sonra 24 riskli varlık konusunda korelasyon araştırması yapılmış olup elde edilen analiz sonuçları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. 24 Riskli Varlığın Korelasyon Analizi

Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	1																							
1	0,914	1																						
2	0,836	0,896	1																					
3	0,827	0,866	0,916	1																				
4	0,783	0,833	0,888	0,919	1																			
5	0,794	0,838	0,887	0,874	0,922	1																		
6	0,758	0,812	0,836	0,811	0,824	0,895	1																	
7	0,741	0,761	0,768	0,741	0,716	0,794	0,870	1																
8	0,707	0,690	0,672	0,647	0,610	0,700	0,738	0,872	1															
9	0,719	0,698	0,684	0,655	0,629	0,706	0,731	0,851	0,970	1														
10	0,731	0,725	0,706	0,685	0,661	0,732	0,749	0,856	0,934	0,964	1													
11	0,735	0,729	0,727	0,701	0,681	0,749	0,757	0,848	0,903	0,925	0,958	1												
12	0,690	0,710	0,734	0,705	0,705	0,762	0,749	0,823	0,817	0,837	0,883	0,915	1											
13	0,737	0,725	0,732	0,704	0,692	0,745	0,750	0,833	0,840	0,857	0,891	0,920	0,950	1										
14	0,749	0,715	0,713	0,692	0,675	0,729	0,747	0,836	0,880	0,894	0,905	0,932	0,880	0,927	1									
15	0,724	0,695	0,687	0,654	0,645	0,710	0,741	0,840	0,882	0,890	0,897	0,919	0,866	0,913	0,977	1								
16	0,753	0,722	0,705	0,670	0,646	0,719	0,765	0,857	0,890	0,892	0,897	0,896	0,832	0,886	0,941	0,956	1							
17	0,795	0,765	0,741	0,708	0,677	0,753	0,801	0,868	0,901	0,895	0,891	0,886	0,805	0,855	0,911	0,913	0,960	1						
18	0,804	0,779	0,750	0,722	0,687	0,760	0,818	0,838	0,871	0,860	0,850	0,841	0,757	0,803	0,860	0,855	0,903	0,958	1					
19	0,840	0,809	0,769	0,737	0,713	0,780	0,818	0,810	0,829	0,821	0,812	0,814	0,736	0,786	0,833	0,820	0,857	0,911	0,954	1				
20	0,871	0,820	0,787	0,757	0,737	0,797	0,786	0,778	0,797	0,803	0,802	0,813	0,739	0,790	0,829	0,814	0,836	0,883	0,906	0,959	1			

21	0,866	0,819	0,776	0,761	0,739	0,790	0,781	0,771	0,793	0,802	0,811	0,814	0,740	0,782	0,819	0,804	0,831	0,877	0,890	0,940	0,970	1		
22	0,848	0,813	0,780	0,759	0,746	0,803	0,786	0,797	0,801	0,802	0,816	0,835	0,790	0,825	0,845	0,829	0,842	0,870	0,868	0,904	0,928	0,938	1	
23	0,802	0,781	0,768	0,741	0,743	0,800	0,770	0,790	0,783	0,777	0,778	0,804	0,800	0,820	0,825	0,811	0,814	0,828	0,814	0,851	0,883	0,873	0,941	1

Korelasyon analizinde de görüleceği gibi her saatin, bir önceki saat ile korelasyonu oldukça yüksektir.

Finansal piyasalardan farklı olarak, enerji piyasalarında saatlik getiri oranını hesaplayabilmek için enerji üretim maliyetleri kullanılmaktadır (Liu & Wu, 2007a; deLlano-Paz vd., 2017; Gökgöz & Erdogan, 2021;2022;2023). Çalışmada güneş, hidrolik, taş kömürü ve doğalgaz enerji santrallerine ait birim üretim maliyetlerim kullanılarak her bir santral tipi için saatlik getiri oranları hesaplanmıştır. Hesaplama aşağıdaki formülizasyona göre yapılmıştır:

$$r_{n,m} = \frac{(a_{n,m} - C_{g,h,t,d})}{C_{g,h,t,d}} \quad (79)$$

$a_{n,m}$ m 'inci günün n 'inci saatinin gün öncesi fiyatını, $C_{g,h,t,d}$ güneş, hidrolik, taş kömürü ve doğalgaz enerji santralleri için birim elektrik üretim maliyetini ve $r_{n,m}$ elektrik piyasası için saatlik getiri oranını temsil etmektedir.

$$\vec{r}_1 = \begin{bmatrix} r_{1,1} \\ r_{1,2} \\ \vdots \\ r_{1,731} \end{bmatrix}, \vec{r}_2 = \begin{bmatrix} r_{2,1} \\ r_{2,2} \\ \vdots \\ r_{2,731} \end{bmatrix}, \dots \dots \dots, \vec{r}_n = \begin{bmatrix} r_{25,1} \\ r_{25,2} \\ \vdots \\ r_{25,731} \end{bmatrix} \quad (80)$$

$\vec{r}_n$ her bir saat için getiri oranı vektörünü temsil etmektedir.

Finans literatüründen farklı olarak elektrik spot piyasalarındaki getiri oranı, yukarıdaki denklemlerde de gösterildiği gibi gerçek satış fiyatları ve üretim maliyeti kullanarak hesaplanmıştır. Her saat için beklenen getiri oranı, standart sapma ve kovaryans matrisi sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Gökgöz & Atmaca, 2012; Gökgöz & Atmaca, 2017):

$$\bar{r}_n = \frac{1}{731} \left(\sum_{m=1}^{731} r_{n,m} \right) \quad (81)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{731} \sum_{m=1}^{731} (r_{n,m} - \bar{r}_n)^2} \quad (82)$$

$$\sigma_{x,y} = \frac{1}{731} \sum_{m=1}^{731} (r_{x,m} - \bar{r}_x)(r_{y,m} - \bar{r}_y) \quad (83)$$

$$Kovaryans\ Matriks = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{1,2} & \dots & \sigma_{1,25} \\ \sigma_{2,1} & \sigma_2^2 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ \sigma_{25,1} & & & \sigma_{25}^2 \end{bmatrix} \quad (84)$$

$\bar{r}_n$ [$x = 1, \dots, 25$] beklenen getiri oranını ve σ_n standart sapmayı göstermektedir.

3.1.3 Varsayımlar ve Kısıtlar

Bu tez çalışmasında güneş, hidrolik, taş kömürü ve doğalgaz enerji santrallerine MV, MAD, DS ve SV finansal optimizasyon modeli uygulanmıştır. Optimizasyon modellerine yatırım üst limit kısıtı eklenmiştir. Her bir optimizasyon modeline 4 farklı (minimum risk, maksimum getiri, maksimum riskten arındırılmış getiri oranı ve maksimum fayda A=3) amaç fonksiyonları uygulanmış ve toplamda 64 optimal portföy hesap edilmiştir. Hesaplanan portföylerin performansları Sharpe, Sortino oranı ve MRAG modelleri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak enerji piyasası tedarikçilerine önerilerde bulunulmuştur. Çalışmadaki varsayımlar aşağıda belirtilmiştir:

- Bu çalışmada Türkiye elektrik piyasası güneş, hidrolik, taş kömürü ve doğalgaz güç santralleri optimizasyon için kullanılmıştır.

- Her saat için satış fiyatı farklı olduğundan 24 saat 24 riskli varlık, ikili sözleşme fiyatı ise sabit olduğundan risksiz varlık olarak kabul edilmiştir. Optimizasyonlarda toplam 25 varlık kullanılmıştır.
- Çalışmada Türkiye elektrik piyasası gün öncesi piyasa takas fiyat verileri kullanılmıştır.
- Portföy seçim probleminin çözümü karar vericilerin belirlediği amaç fonksiyonuna göre değişebilmektedir.
- Optimal portföy hesaplanırken yatırım üst kısıtı kullanılmıştır ve varlıklara yatırım yapılacak üst seviye %10 olarak varsayılmıştır.
- Hidrolik, güneş, doğalgaz ve taş kömürü enerji santrallerinin birim elektrik üretim maliyetleri sırasıyla 68 \$/MWh, 60 \$/MWh, 82 \$/MWh ve 91 \$/MWh olarak kabul edilmiştir (Lazard, 2023; Kabeyi & Olanrewaju, 2023). Ayrıca risksiz varlık (ikili sözleşme) fiyatı, her bir santral tipi için elektrik üretim maliyetinin %30 fazlası olarak kabul edilmiştir. İkili sözleşme fiyatları hidrolik enerji santrali için 88,4 \$/MWh, güneş enerji santrali için 78 \$/MWh, doğalgaz enerji santrali için 106,6 \$/MWh ve taş kömürü enerji santrali için 118,3 \$/MWh olarak belirlenmiştir.
- Enerji piyasasında her an elektrik alınıp satılabilmektedir.
- Piyasa teklifleri sınırsız parçaya bölünebilmektedir.
- Piyasa tarafından tüm teklifler kabul edilmektedir.

Deneylerde gerçekleştirdiğimiz optimizasyonlarda belirli bir tarih aralığı içindeki enerji fiyat verilerinin kullanılması ve optimizasyon sonuçlarımızın kabul edilen

varsayımlara ve metodolojilere bağılı olması, çalışmamızın kısıtlarındandır. Farklı yöntem ve varsayımlar ile yapılacak çalışma sonuçları farklılık gösterebilir.

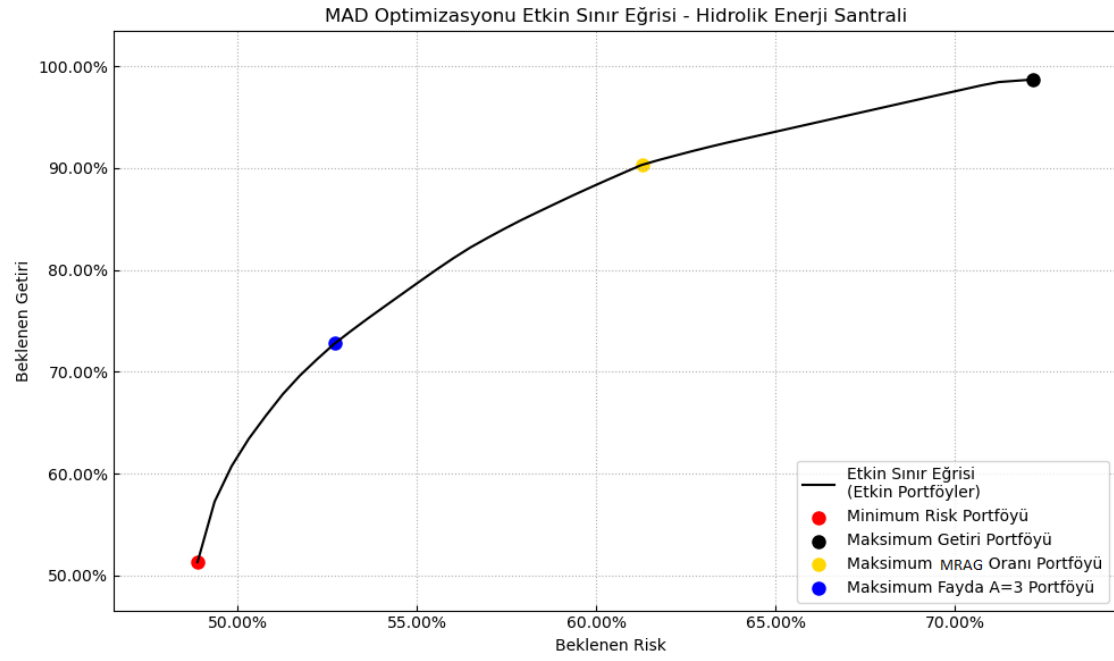
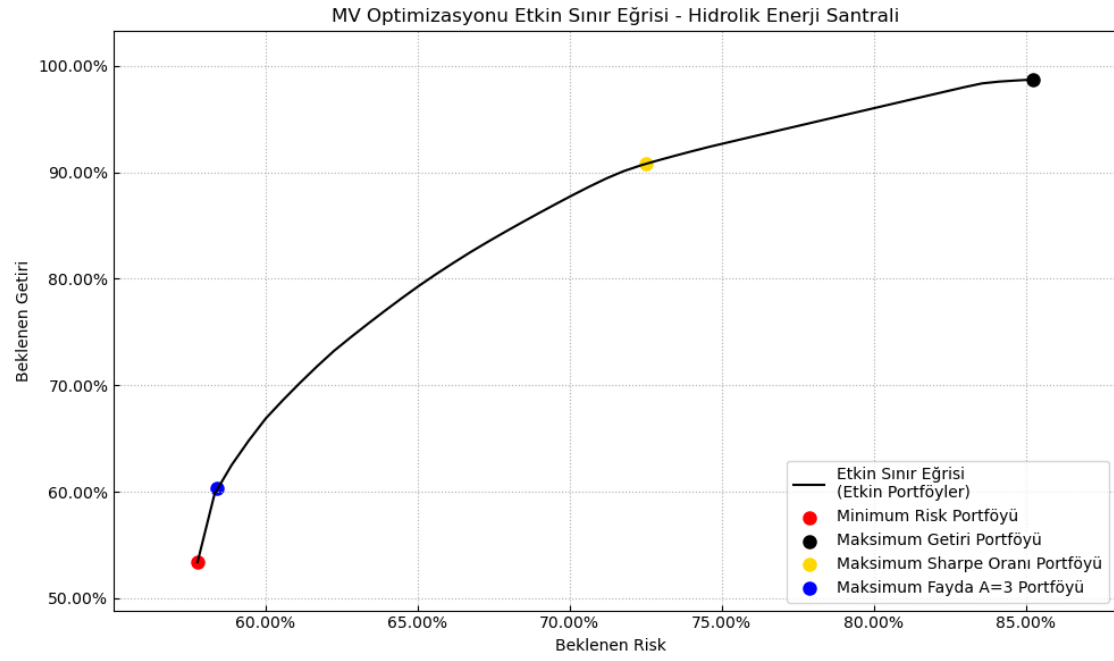
3.1.4 Yöntem

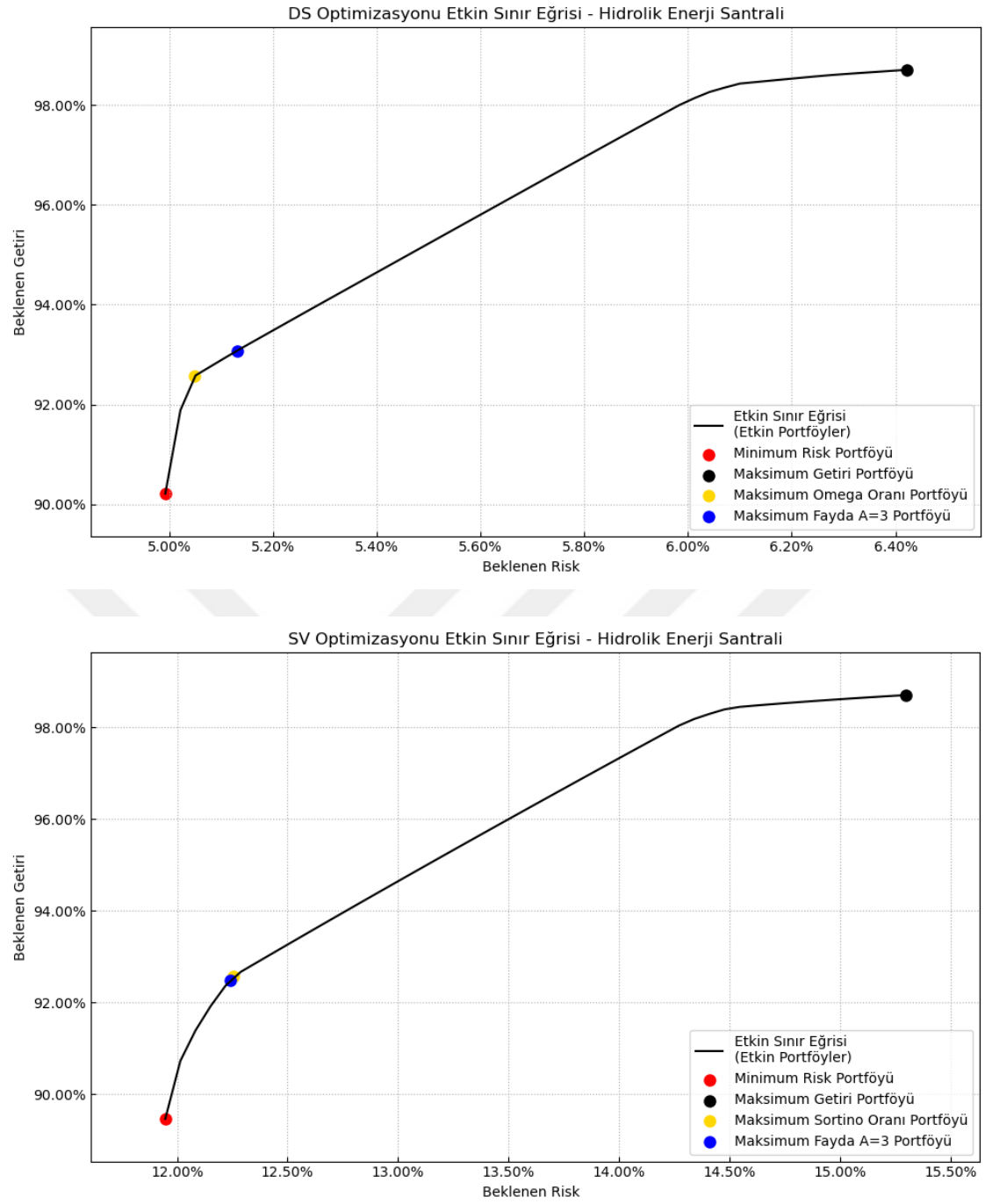
Çalışmada ilk olarak enerji piyasalarına uygulanabilecek optimizasyon yöntemleri araştırılmıştır. Bu yöntemler için derin bir literatür araştırması yapılmış ve yöntemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları tartışılmıştır. Daha sonra Türkiye enerji piyasasına ait gün öncesi piyasa takas fiyatları elde edilmiştir. Optimizasyonlarda kullanılacak veriler üzerinde Knime Analytics programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında optimizasyon modelleri Türkiye enerji piyasasına uygulanmıştır.

Optimizasyon modellerinin enerji piyasalarına uygulanabilmesi için Python yazılım dili ile uygulamalar geliştirilmiştir. Tüm optimizasyon modellerinde minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda ve maksimum riskten arındırılmış getiri oranı olmak üzere dört adet amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Optimizasyonlar sonrası elde edilen optimum portföylerin performansları Sharpe oranı, Sortino oranı, Omega oranı ve MRAG oranı ile hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları kıyaslanmış ve piyasa oyuncularına karar destek sistemlerini kurmaları için fikirler verilmiştir.

3.2 Türkiye Hidrolik Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal Portföylere Ait Performanslar

Çalışma kapsamında kabul edilen varsayımlar doğrultusunda Türkiye hidrolik enerji piyasasına MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda $A=3$ ve maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonları ile uygulanmıştır. Her bir optimizasyon modeli için elde edilen etkin sınır eğrileri üzerindeki optimal portföylere ait görüntüler Şekil 4'te gösterilmiştir.





Şekil 4. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Hidrolik Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri

Hidrolik enerji piyasasına dört farklı amaç fonksiyonu ile dört farklı optimizasyon modeli uygulanmış ve Şekil 4'te gösterildiği gibi 16 optimal portföy elde edilmiştir. Her bir optimizasyon modeli için minimum risk portföyü (MinRiskPort), maksimum getiri portföyü (MaxGetiriPort), maksimum fayda A=3 portföyü (MaxFaydaPort (A=3)) ve maksimum riskten arındırılmış getiri oranı portföyü (MaxRAGOPort) hesaplanmıştır.

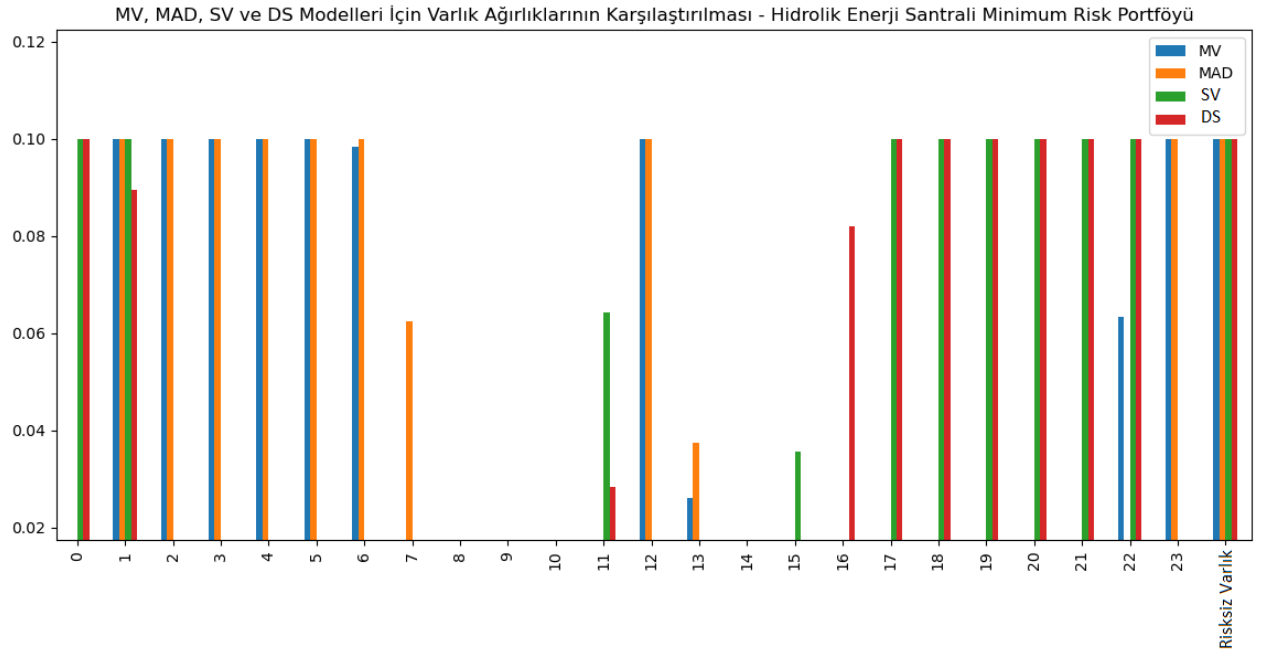
MaxRAGOPort, modellerin risk ölçütlerine göre çalışmada farklı isimlendirilmiştir. MV optimizasyon modelinde maksimum Sharpe oranı portföyü (MaxSharpeOranıPort), MAD optimizasyon modelinde maksimum MRAG oranı portföyü (MaxMRAGOranıPort), DS optimizasyon modelinde maksimum Omega oranı portföyü (MaxOmegaOranıPort), SV optimizasyon modelinde maksimum Sortino oranı portföyü (MaxSortinoOranıPort) olarak isimlendirilmiştir.

Hidrolik enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline minimum risk amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 9’da gösterilmiştir:

Tablo 9. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MinRiskPort Varlık Dağılımları

Saat	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	10.00%	8.96%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
6	9.85%	10.00%	0.00%	0.00%
7	1.18%	6.25%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	6.43%	2.84%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	2.62%	3.75%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	3.57%	0.00%
16	0.00%	0.00%	0.00%	8.20%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
21	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
22	6.35%	0.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Hidrolik enerji santrali MinRiskPort'ların varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir:



Şekil 5. Hidrolik Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Hidrolik enerji piyasasında MinRiskPort'a yatırım yapacak yatırımcı Tablo 9 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi her dört model için de 8., 9., 10. ve 14. saatlere yatırım yapmamalıdır. Seçim yaptığı model için hangi varlığa yüzde kaç yatırım yapması gerektiği Tablo 8'de gösterilmiştir. MinRiskPort'un MV optimizasyonunda riski 0.5777, getirisi 0.5338; MAD optimizasyonunda riski 0.4888, getirisi 0.5131; DS optimizasyonunda riski 0.0499, getirisi 0.9021; SV optimizasyonunda riski 0.1194, getirisi 0.8945 olarak ölçülmüştür. Hidrolik enerji santrali MinRiskPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür.

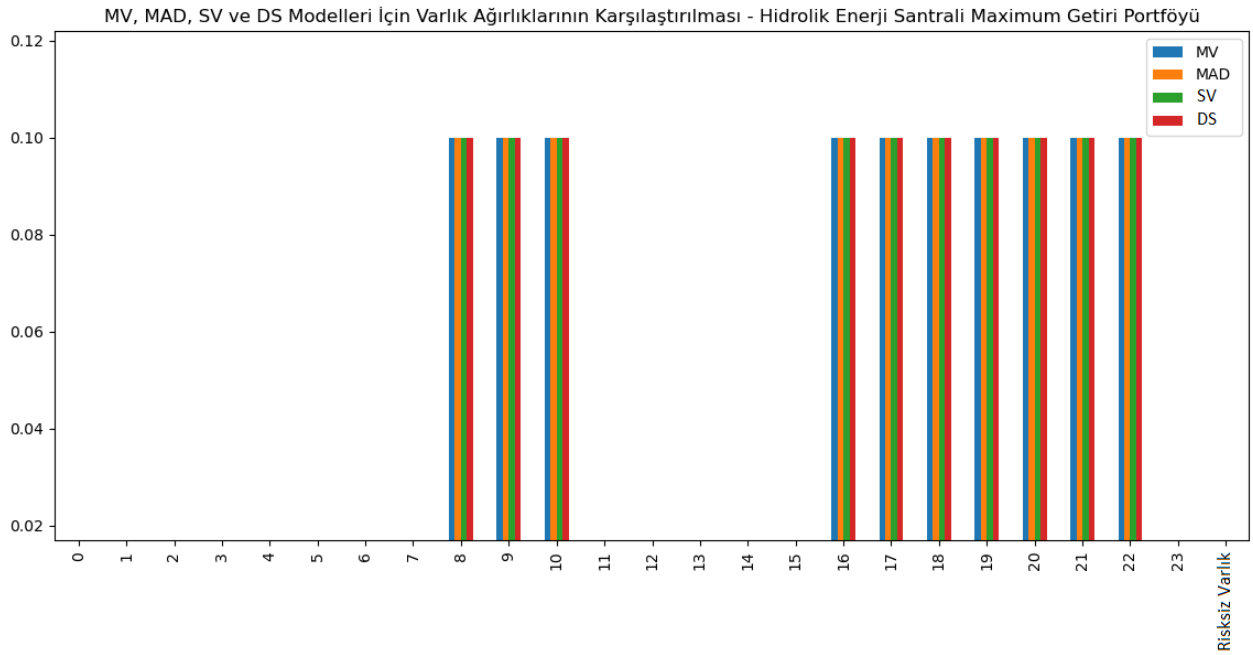
Hidrolik enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum getiri amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 10'da gösterilmiştir:

Tablo 10. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları

Varlık Dağılımları

Saat	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Hidrolik enerji santrali MaxGetiriPort'larının varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 6'da gösterilmiştir:



Şekil 6. Hidrolik Enerji Santrali MaxGetiriPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 10 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi dört optimizasyon modelinde de MaxGetiriPortlarını oluşturan varlıklar aynıdır ve 8., 9., 10., 16., 17., 18., 19., 20., 21. ve 22. saatlere %10'luk yatırım yapılarak maksimum getiriye ulaşabilmektedir. Bu varlıklar haricindeki diğer varlıklara yatırım yapılmamaktadır. Hidrolik enerji piyasasında MaxGetiriPort'unun MV optimizasyonunda riski 0.8523, getirisi 0.9870; MAD optimizasyonunda riski 0.7218, getirisi 0.9870; DS optimizasyonunda riski 0.0642, getirisi 0.9870; SV optimizasyonunda riski 0.1529, getirisi 0.9870 olarak ölçülmüştür. Hidrolik enerji santrali MaxGetiriPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. Her dört modelde MaxGetiriPort'unun varlık dağılımı aynı olduğu için getiri değerleri aynı ölçülmüştür ($DS = SV = MV = MAD$).

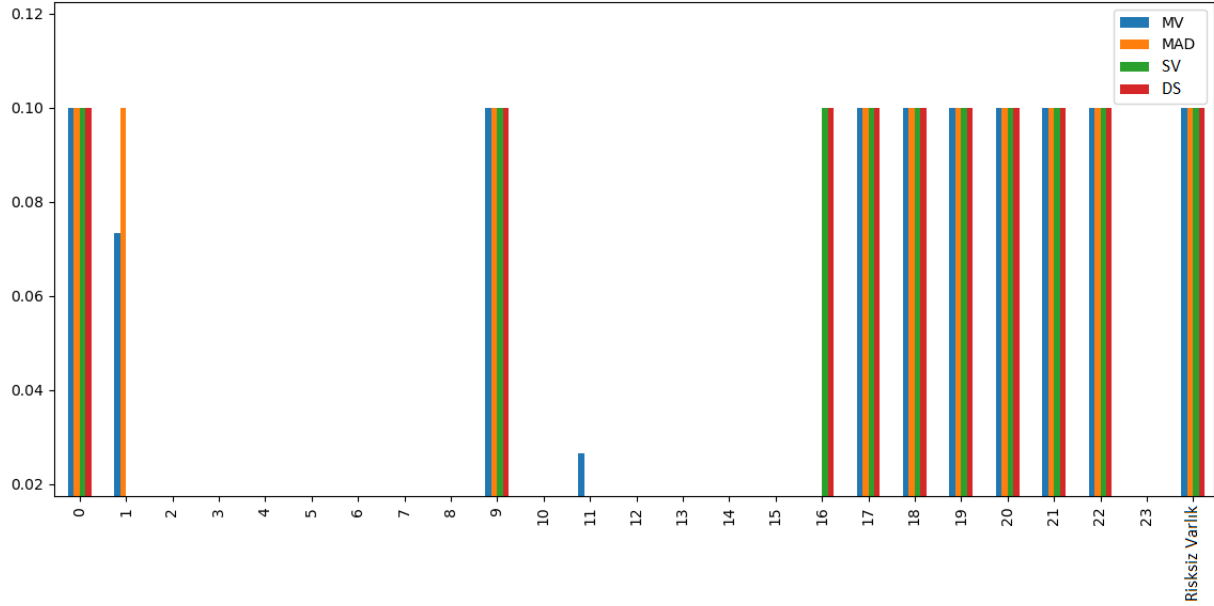
Hidrolik enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 11'de gösterilmiştir:

Tablo 11. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali

MaxRAGOPort'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
1	7.35%	10.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	2.65%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Hidrolik enerji santrali MaxRAGOPort'larının varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 6'da gösterilmiştir:



Şekil 7. Hidrolik Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 11 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxRAGOPort'larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 10., 12., 13., 14., 15. ve 23. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. MV optimizasyonundaki MaxSharpeOranıPort'unun riski 0.7249, getirisi 0.9078; MAD optimizasyonundaki MaxMRAGOranıPort'unun riski 0.6130, getirisi 0.9038; DS optimizasyonundaki MaxOmegaOranıPort'unun riski 0.0504, getirisi 0.9256; SV optimizasyonundaki MaxSortinoOranıPort'unun riski 0.1225, getirisi 0.9256 olarak ölçülmüştür. Hidrolik enerji santrali MaxRAGOPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. SV ve DS modellerindeki portföy dağılımları aynı olduğundan getiri oranları da aynı çıkmıştır. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS = SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür.

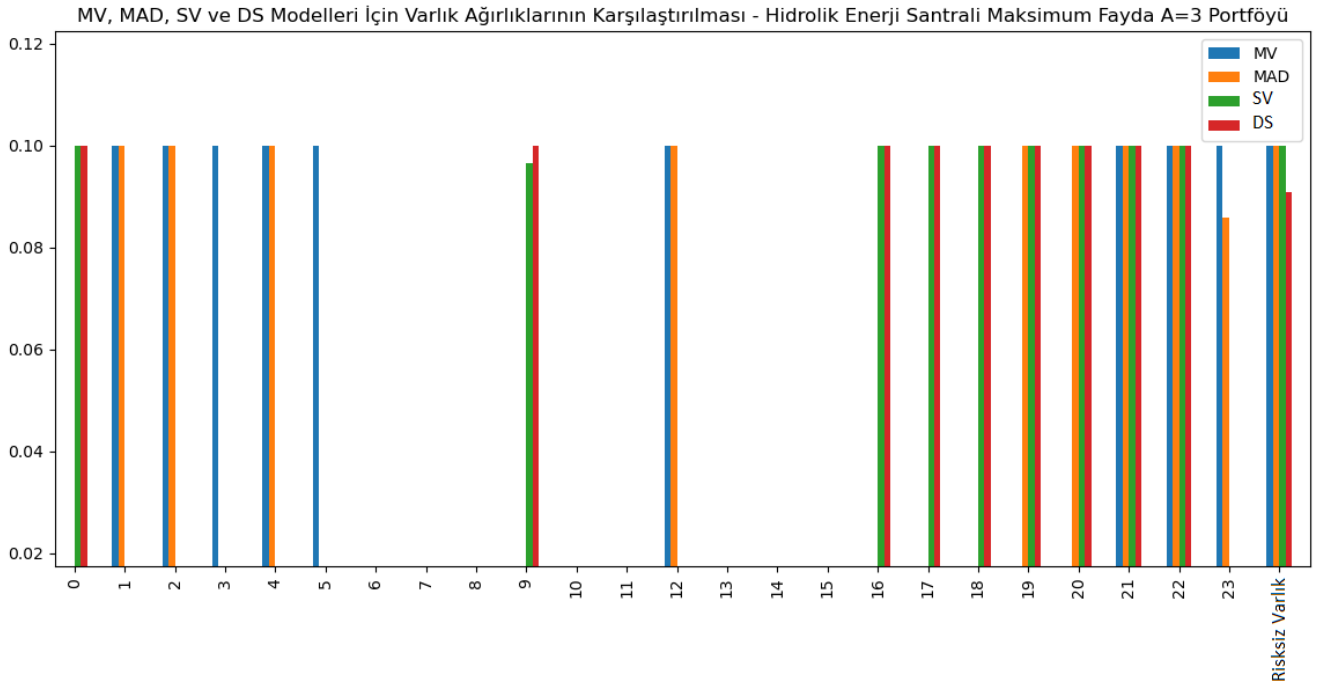
Hidrolik enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV yaklaşımlarına maksimum fayda $A=3$ amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 12'de gösterilmiştir:

Tablo 12. Optimizasyon Modellerinde Hidrolik Enerji Santrali MaxFaydaPort

(A=3)'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	0.35%	0.00%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	1.41%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	9.65%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.92%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	8.59%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	9.08%

Hidrolik enerji santrali maksimum getiri portföylerinin varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 8’de gösterilmiştir:

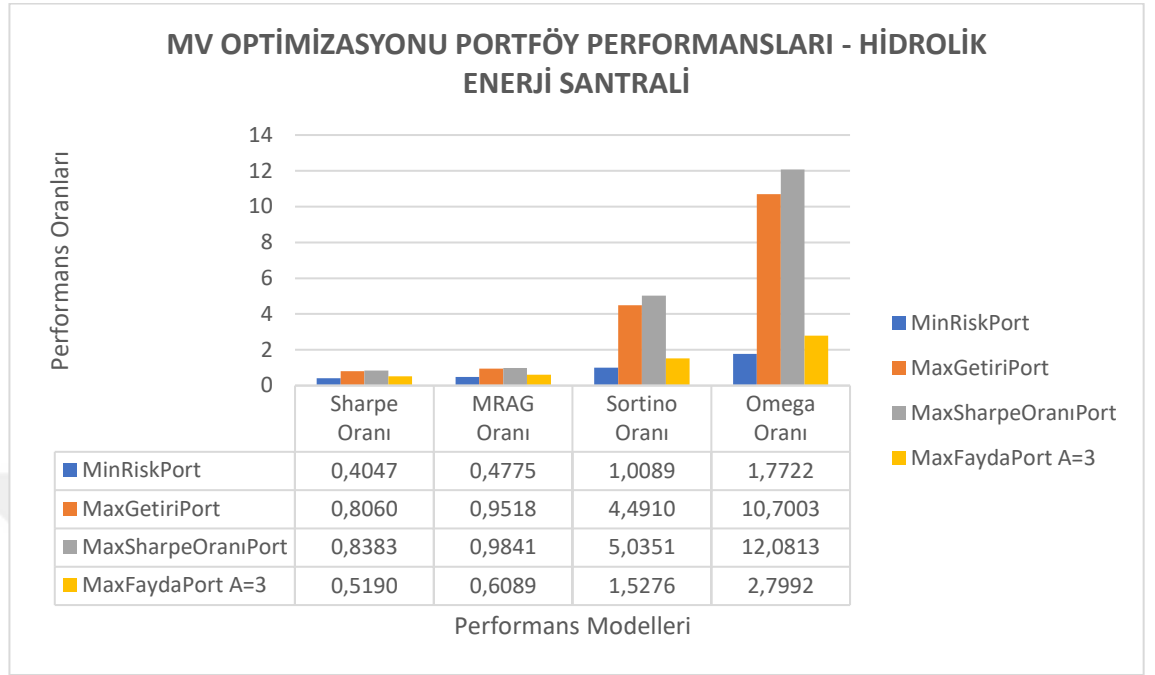


Şekil 8. Hidrolik Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 12 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxFaydaPort (A=3)'larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 6., 7., 8., 10., 11., 13., 14. ve 15. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. Hidrolik enerji piyasasında MaxFaydaPort (A=3)'un MV optimizasyonunda riski 0.5840, getirisi 0.6031; MAD optimizasyonunda riski 0.5271, getirisi 0.7281; DS optimizasyonunda riski 0.0513, getirisi 0.9307; SV optimizasyonunda riski 0.1223, getirisi 0.9248 olarak ölçülmüştür. Hidrolik enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür.

Piyasa oyuncularının portföy seçimlerinde, karar alma süreçlerine destek olmak amacıyla hidrolik enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV modelleri ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföylerin performansları Sharpe, Sortino,

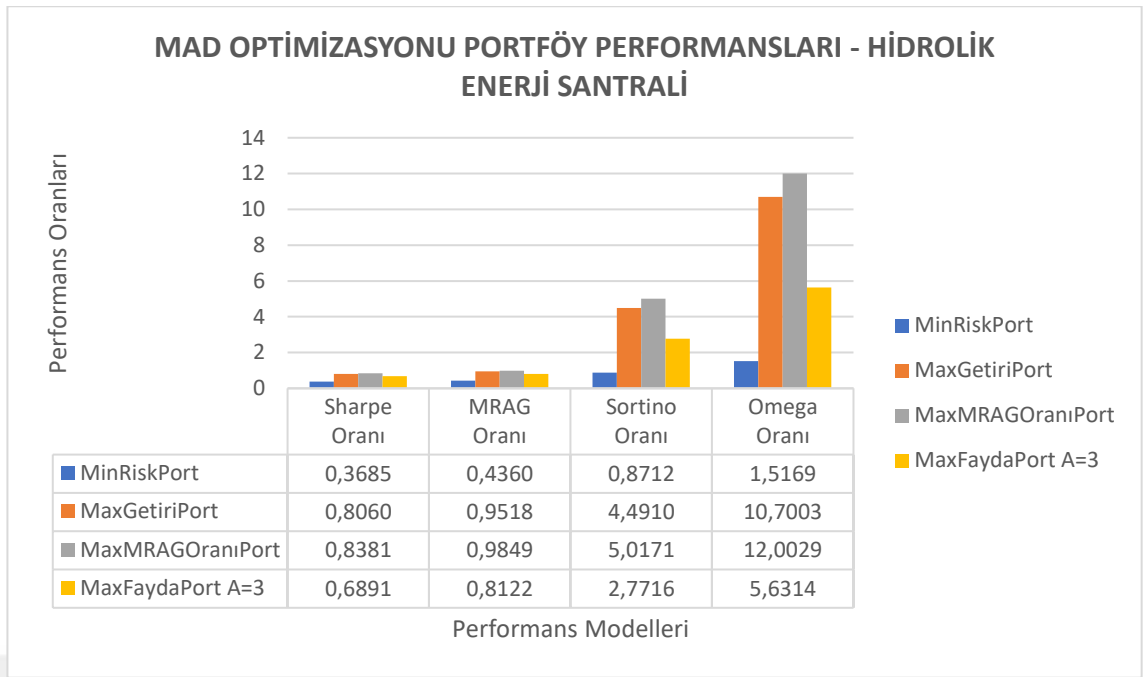
MRAG ve Omega oranları ile ölçülmüş ve birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Şekil 9’da MV optimizasyonu portföy performansları gösterilmiştir.



Şekil 9. Hidrolik Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları

MV optimizasyon modelinde Sharpe oranı en yüksek portföy beklenildiği gibi MaxSharpeOranıPort’tur. MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde de en yüksek performansı MaxSharpeOranıPort göstermiştir. Optimal portföylerin performans değerleri karşılaştırıldığında en yüksek performans Omega oranı performans modeli ile yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. MinRiskPort’a ait performanslar tüm performans ölçüm modellerinde en düşük olarak hesaplanmıştır. Optimal portföylerin performansları sıralandığında Omega oranı > Sortino oranı > MRAG oranı > Sharpe oranı olarak sıralanmıştır.

Hidrolik enerji piyasasında MAD yaklaşımı ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 10’da gösterilmiştir.

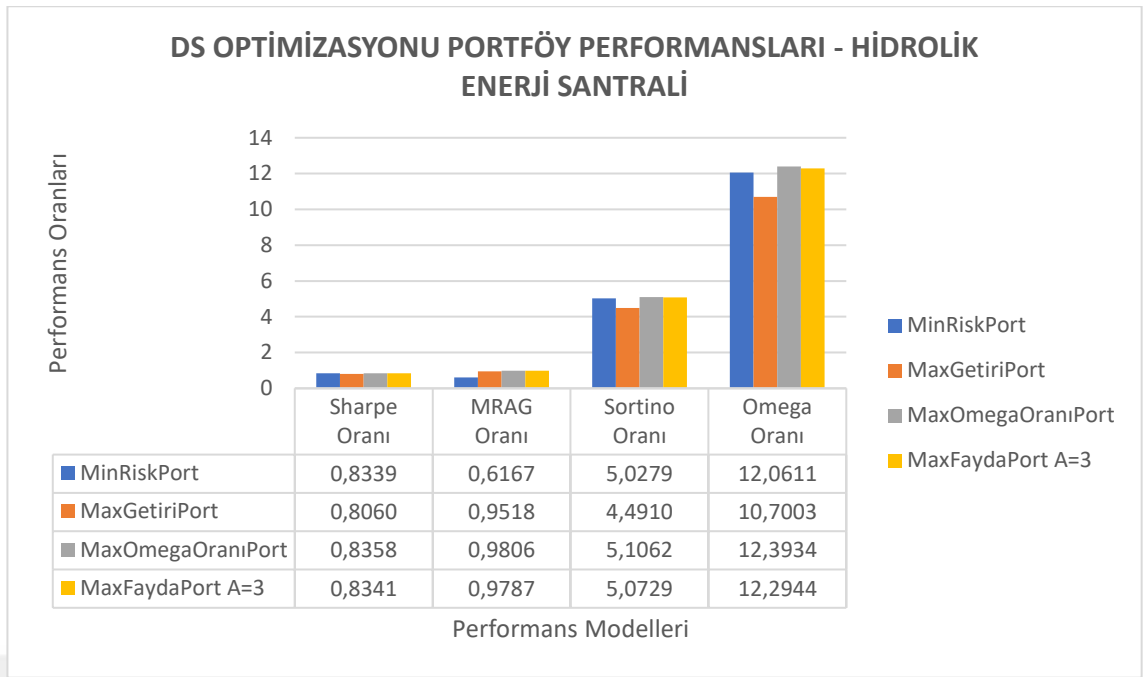


Şekil 10. Hidrolik Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy

Performansları

MAD yaklaşımında, MV yaklaşımında olduğu gibi MinRiskPort'a ait performanslar Sharpe, MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde en düşük çıkmıştır. MV, MAD, DS ve SV için performansı en yüksek portföy MaxMRAGOranıPort'tur. Optimal portföylerin Omega oranı ile yapılan ölçüm sonuçları, diğer performans modelleriyle kıyaslandığında en yüksek çıkmıştır. Optimum portföylerin Sharpe oranları incelendiğinde en düşük performanslara sahip oldukları görülmüştür.

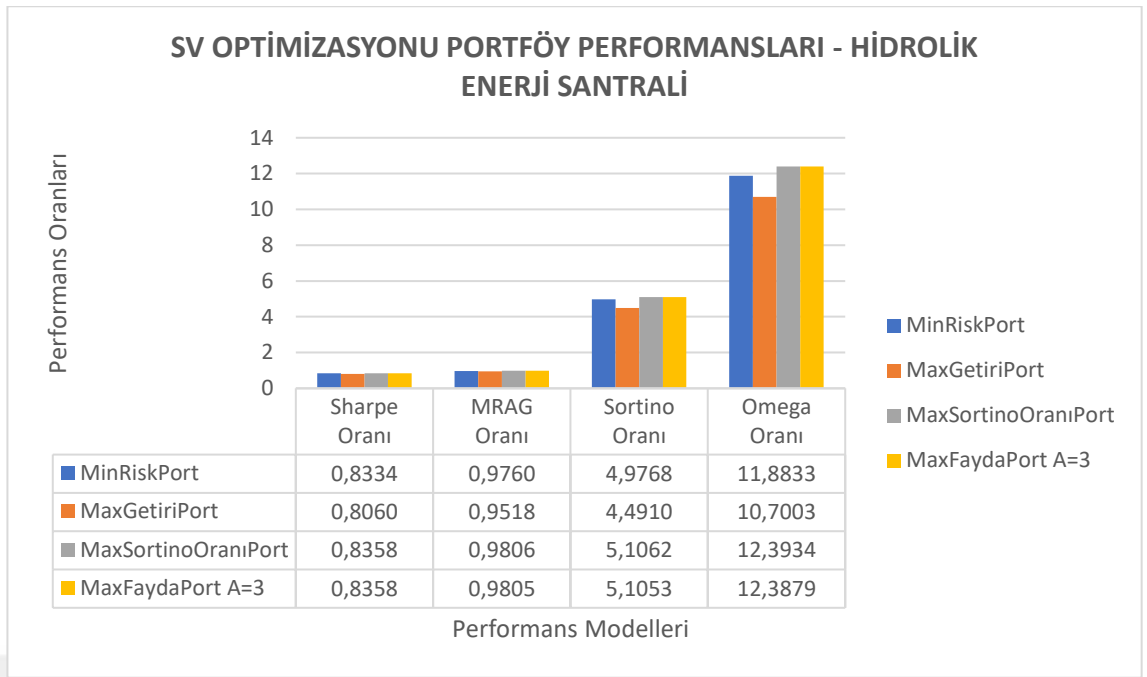
Hidrolik enerji piyasasında DS tekniği ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Hidrolik Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları

DS yaklaşımında tüm performans modeli ölçümleri ile yapılan hesaplamalarda en performanslı portföy MaxOmegaOranıPort olarak ölçülmüştür. MV, MAD, DS ve SV için performansı en düşük portföy MinRiskPort'tur. Tüm performans modellerinde performansı en düşük portföy MinRiskPort olarak hesaplanmıştır. Optimal portföyler için Omega oranı performansları, diğer performans modellerine göre en yüksek çıkmıştır.

Hidrolik enerji piyasasında SV finansal optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performans ölçümleri Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Hidrolik Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları

SV optimizasyon modelinde optimal portföylere ait performanslar incelendiğinde en yüksek performansa ait portföy Omega oranı modelinde MaxSortinoOranıPort için ölçülmüştür. Sharpe, MRAG ve Sortino oranı modelleri için de en yüksek performansa sahip portföy MaxSortinoOranıPort'tur. Sharpe, MRAG, Sortino ve Omega oranı modelleri ile en düşük performanslı portföy MaxGetiriPort olarak hesaplanmıştır.

Hidrolik enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri ile elde edilen optimal portföylerin performansları en yüksek Omega oranı ile ölçülmüştür. İkinci sırada en yüksek ölçüm Sortino oranı sonuçlarından elde edilmiştir. MRAG ve Sharpe oranı sonuçları birbirlerine yakın olmak ile beraber, MRAG oranı sonuçları Sharpe oranı sonuçlarına göre daha yüksektir.

MAD optimizasyon modeli ile hesaplanan MinRiskPort'un performansı Sharpe oranı portföy performans ölçüm modeline göre 0,3685 olarak hesaplanmıştır. Hidrolik enerji piyasasında yapılan optimizasyonlarda en düşük performansa sahip portföydür.

MAD modelinde hesaplanan MinRiskPort'a ait portföy 1., 2., 3., 4., 5., 6., 12., 23. saatlere ve risksiz varlığa %10'luk, 7. saate %6,25 ve 13. saate %3,75 yatırım yapılarak oluşturulmuştur.

Hidrolik enerji piyasasında DS optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxOmegaOranıPort ve SV optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxSortinoOranıPort portföylerinin performansları en yüksektir ve 12,3938 olarak hesaplanmıştır. Her iki portföyün ağırlıkları aynı çıkmıştır. Elektrik tedarikçisi bu iki portföye yatırım yapmak istediğinde üretiminin %10'luk kısmını 1., 9., 16., 17., 18., 19., 20., 21., 22. saate ve risksiz varlığa yatırmalıdır.

3.2.1 Türkiye Hidrolik Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi ve Karşılaştırılması

Hidrolik enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD optimizasyon modelleri ile optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföyün Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı ve Omega oranı ile performans ölçüm sonuçları Tablo 13, 14, 15 ve 16'da gösterilmiştir.

Tablo 13. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sharpe Oranı
MV Optimizasyonu	0,4047	0,8060	0,8383	0,5190	0,6420
DS Optimizasyonu	0,8339	0,8060	0,8358	0,8341	0,8275
SV Optimizasyonu	0,8334	0,806	0,8358	0,8358	0,8278
MAD Optimizasyonu	0,3685	0,8060	0,8381	0,6891	0,6754

Tablo 13'te hidrolik enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylere ait Sharpe oranı değerleri ve optimizasyon modelleri bazlı ortalama Sharpe oranları gösterilmiştir. Sharpe oranı en yüksek portföy MV – MaxRAGOPort (0,8383) olarak hesaplanmıştır. En düşük Sharpe oranına sahip portföy MAD optimizasyon modeli ile

hesaplanan MinRiskPort portföyüdür (0,3685). SV yaklaşımının ortalama Sharpe oranı 0,8278'dir. Sharpe oranı portföy performans ölçüm modeline göre en iyi performansı SV optimizasyon modeli göstermiştir.

Tablo 14. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sortino Oranı
MV Optimizasyonu	1,0089	4,4910	5,0351	1,5276	3,0157
DS Optimizasyonu	5,0279	4,4910	5,1062	5,0729	4,9245
SV Optimizasyonu	4,9768	4,4910	5,1062	5,1053	4,9198
MAD Optimizasyonu	0,8712	4,4910	5,0171	2,7716	3,2877

Tablo 14'de hidrolik enerji piyasasında elde edilen 16 optimal portföye ait Sortino oranları gösterilmiştir. En iyi performansı 4,9245 ortalama Sortino oranı ile DS optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük Sortino oranı (1,0089) MV optimizasyon modeli ile elde edilen MinRiskPort portföyünde hesaplanmıştır. SV – MaxRAGOPort ve DS – MaxRAGOPort portföyleri en yüksek Sortino oranına (5,1062) sahiptir.

Tablo 15. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Omega Oranı
MV Optimizasyonu	1,7722	10,7003	12,0813	2,7992	6,8383
DS Optimizasyonu	12,0611	10,7003	12,3934	12,2944	11,8623
SV Optimizasyonu	11,8833	10,7003	12,3934	12,3879	11,8412
MAD Optimizasyonu	1,5169	10,7003	12,0029	5,6314	7,4629

Tablo 15'te hidrolik enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD yaklaşımları ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen portföylere ait Omega oranları gösterilmiştir. DS optimizasyon modelinin ortalama Omega oranı 11,8623 olarak diğer optimizasyon modellerine göre en yüksek ölçülmüştür. Omega modelinde en iyi performansı DS optimizasyon yaklaşımı göstermiştir. DS ve SV optimizasyon modelleri MaxRAGOPort Omega oranı modeline göre en iyi performansı gösteren portföylerdir. Omega oranı

portföy performans modelinde MV – MinRiskPort (1,7722) en düşük performansı gösteren portföydür. En düşük performansı gösteren optimizasyon modeli MV'dir.

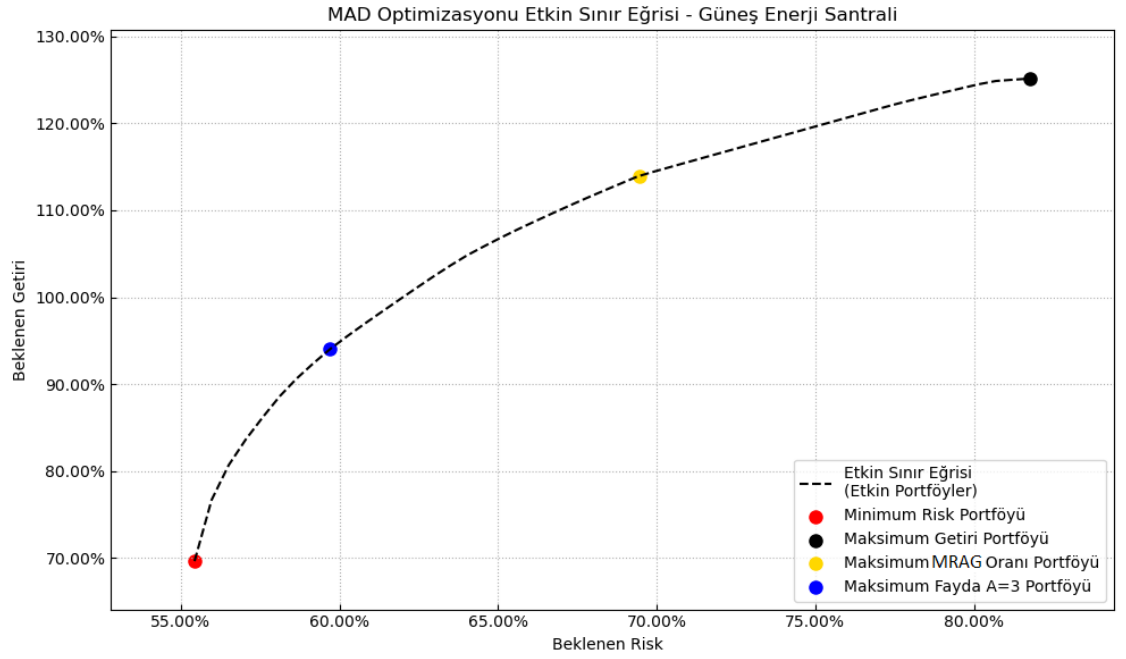
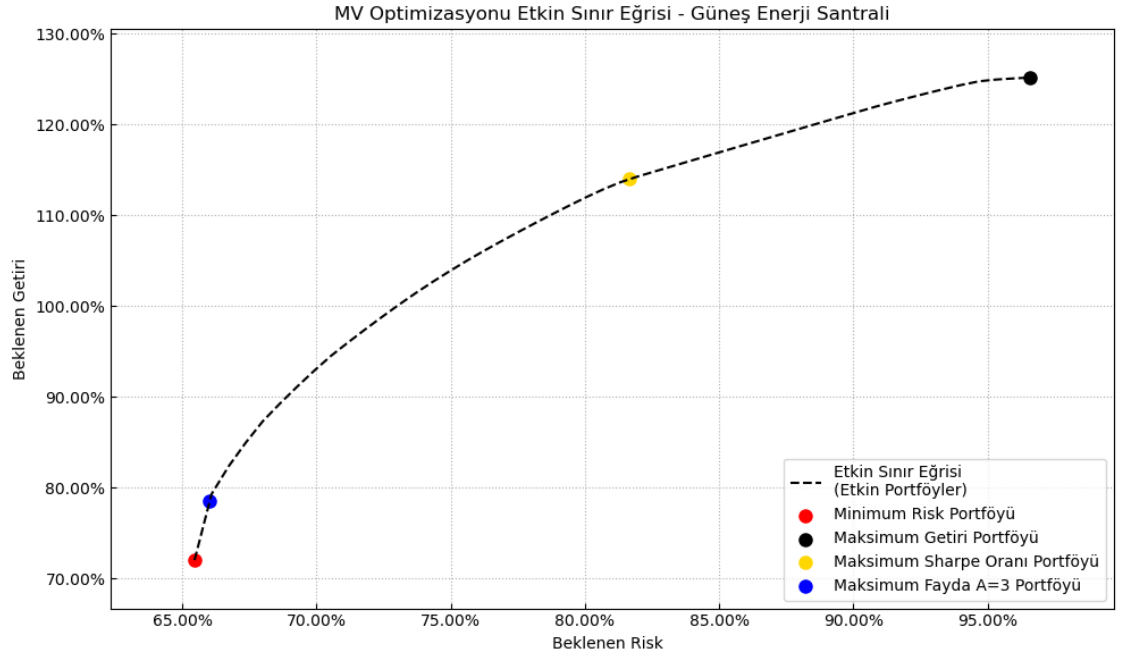
Tablo 16. Hidrolik Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları

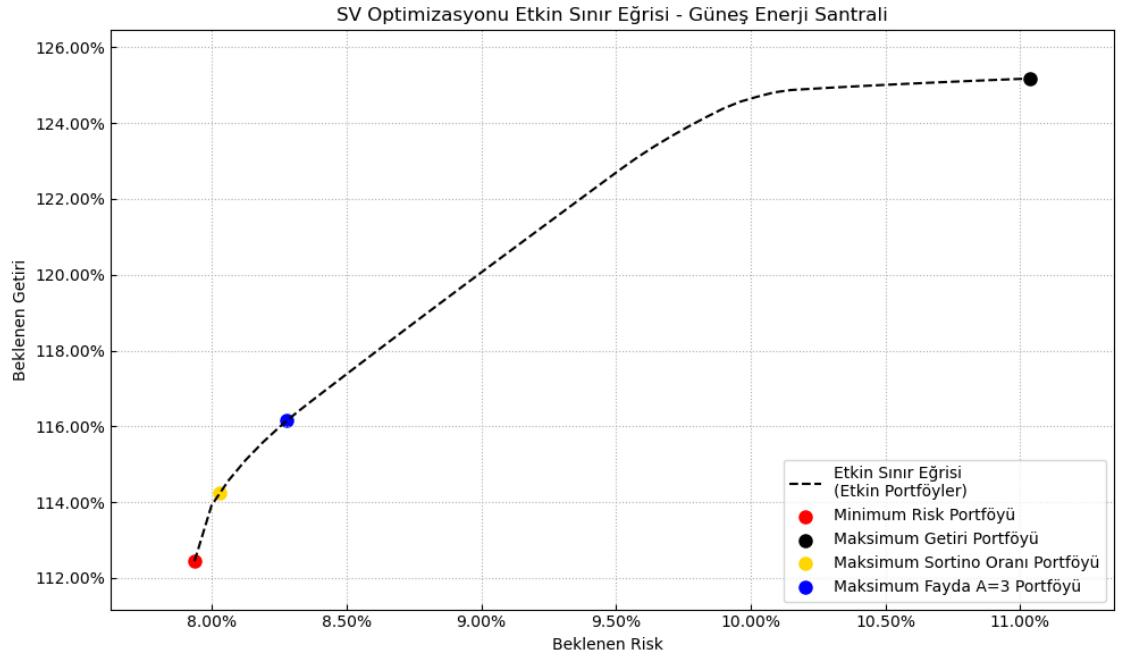
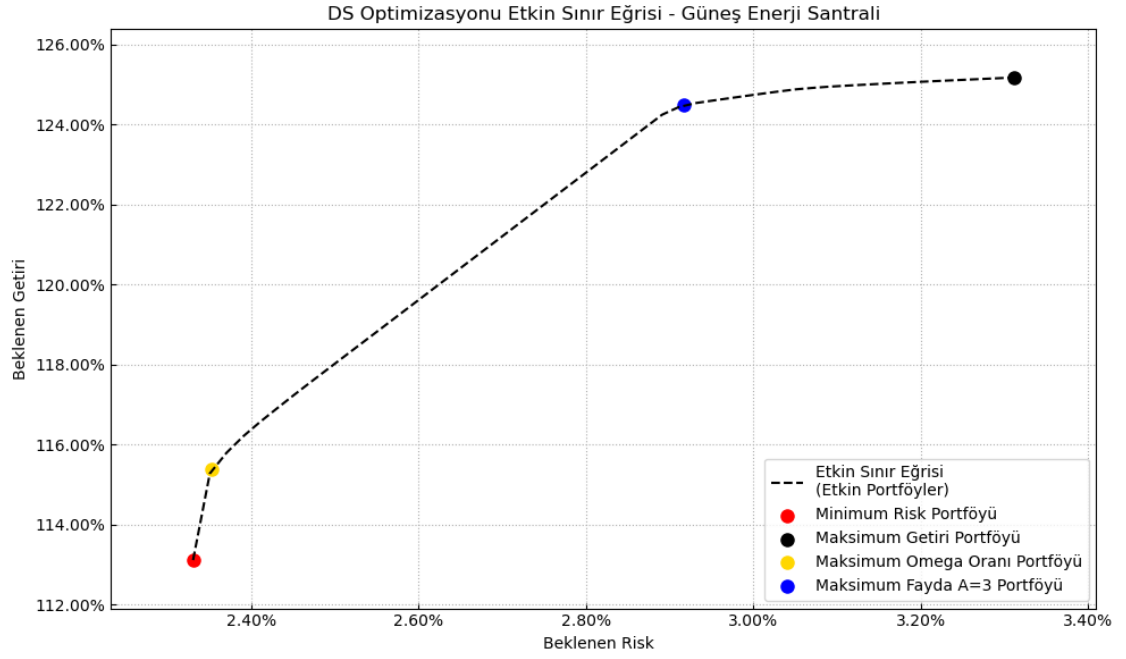
Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama MRAG Oranı
MV Optimizasyonu	0,4775	0,9518	0,9841	0,6089	0,7556
DS Optimizasyonu	0,9761	0,9518	0,9806	0,9787	0,9718
SV Optimizasyonu	0,9760	0,9518	0,9806	0,9805	0,9722
MAD Optimizasyonu	0,4360	0,9518	0,9849	0,8122	0,7962

Tablo 16'da hidrolik enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylerin MRAG oranları gösterilmiştir. MRAG oranına göre en yüksek performansı MAD - MaxRAGOPort (0,9849) göstermiştir. En düşük performansı MAD optimizasyonu ile hesaplanan MinRiskPort (0,4360) göstermiştir. Ortalama MRAG oranı en yüksek model SV yaklaşımıdır (0,9722). MRAG oranı portföy performans modeline göre en iyi performansı SV optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük performanslı portföyler MV yaklaşımında hesaplanmıştır (0,7556).

3.3 Türkiye Güneş Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal Portföylere Ait Performanslar

Kabul edilen varsayımlar ve birim elektrik üretim maliyeti ile Türkiye güneş enerji piyasasına MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri dört farklı amaç fonksiyonu ile uygulanmıştır. Her bir optimizasyon modeli için elde edilen etkin sınır eğrileri üzerindeki optimal portföylere ait görüntüler Şekil 13'te gösterilmiştir.





Şekil 13. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Güneş Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri

Güneş enerjisi piyasasına minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda $A=3$, maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonları ile MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri uygulanmış ve Şekil 13'te gösterildiği gibi 16 optimal

portföy elde edilmiştir. Her bir optimizasyon modeli için MinRiskPort, MaxGetiriPort, MaxFaydaPort (A=3) ve MaxRAGOPort hesaplanmıştır.

Güneş enerjisi piyasasında her bir optimizasyon modeline minimum risk amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 17’de gösterilmiştir:

Tablo 17. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MinRiskPort

Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	10.00%	9.64%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
6	9.76%	10.00%	0.00%	0.00%
7	1.10%	6.29%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	7.64%	9.47%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	2.66%	3.71%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	0.00%	0.89%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
21	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
22	6.47%	0.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	10.00%	2.36%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Güneş enerji santrali MinRiskPort'ların varlık ağırlıklarının optimizaayon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 14'te gösterilmiştir:



Şekil 14. Güneş Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

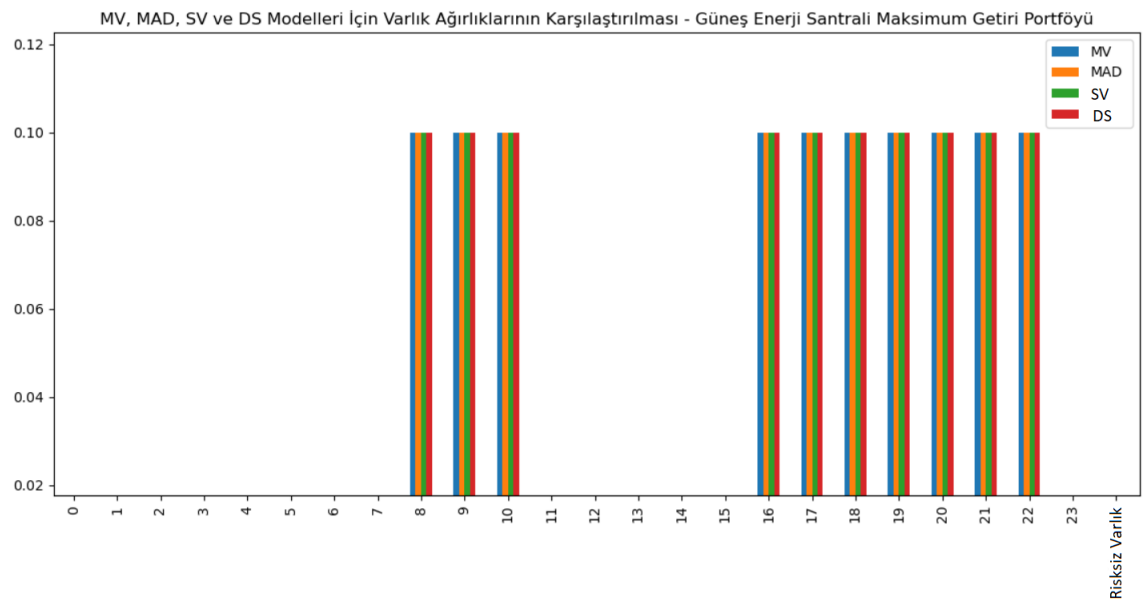
Güneş enerjisi piyasasında MinRiskPort'a yatırım yapacak yatırımcı Tablo 17 ve Şekil 14' te görüldüğü gibi her dört model için de 8., 9., 10., 14., 15., ve 16. saatlere yatırım yapmamalıdır. Her dört modelde de risksiz varlığa yatırım yapıldığı görülmektedir. Seçim yaptığı model için hangi varlığa yüzde kaç yatırım yapması gerektiği Tablo 17'de gösterilmiştir. MinRiskPort'un MV optimizasyonunda riski 0.6546, getirisi 0.7202; MAD optimizasyonunda riski 0.5542, getirisi 0.6961; DS optimizasyonunda riski 0.0233, getirisi 1.1310; SV optimizasyonunda riski 0.0793, getirisi 1.1244 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi santrali MinRiskPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür. Güneş enerji piyasasında MinRiskPort için en verimli model DS'dir.

Güneş enerjisi piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum getiri amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 18’de gösterilmiştir:

Tablo 18. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxGetiriPort’ları
Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Güneş enerji santrali MaxGetiriPort’larının varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 15’te gösterilmiştir:



Şekil 15. Güneş Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

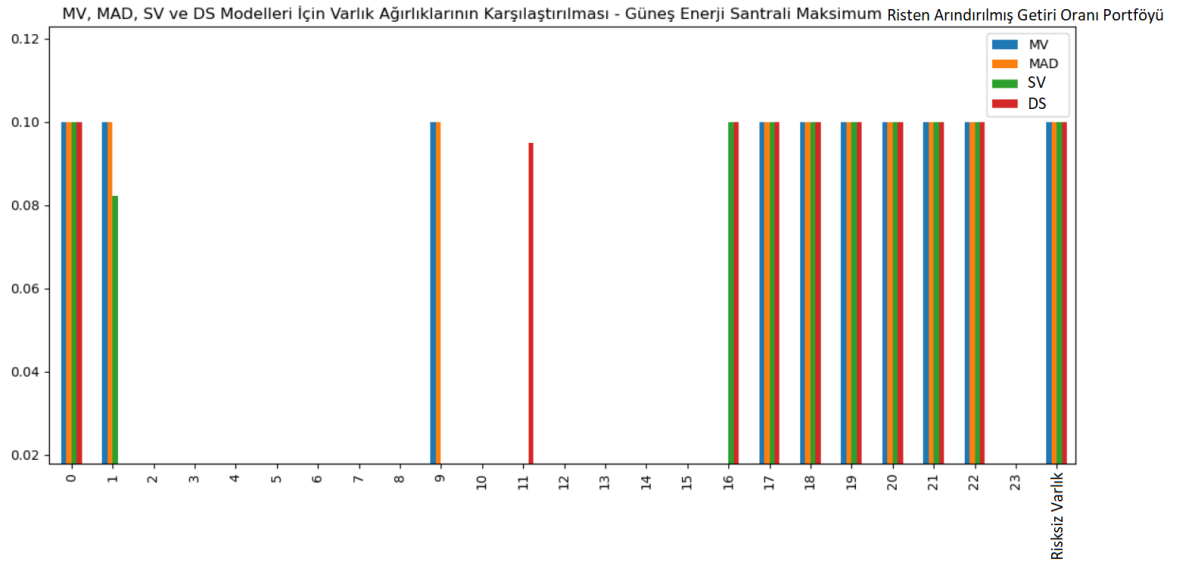
Tablo 18 ve Şekil 15'te görüldüğü gibi güneş enerjisi piyasasında dört optimizasyon modelinde de MaxGetiriPortlarını oluşturan varlıklar aynıdır ve 8., 9., 10., 16., 17., 18., 19., 20., 21. ve 22. saatlere %10'luk yatırım yapılarak maksimum getiriye ulaşılabilmektedir. Risksiz varlığın getirisi düşük olduğu için portföyde yer almamaktadır. Güneş enerjisi piyasasında MaxGetiriPort'unun MV optimizasyonunda riski 0.9658, getirisi 1.2517; MAD optimizasyonunda riski 0.8128, getirisi 1.2517; DS optimizasyonunda riski 0.0331, getirisi 1.2517; SV optimizasyonunda riski 0.1103, getirisi 1.2517 olarak ölçülmüştür. Güneş enerji santrali MaxGetiriPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. Her dört modelde MaxGetiriPort'unun varlık dağılımı aynı olduğu için getiri değerleri aynı ölçülmüştür ($DS = SV = MV = MAD$). Güneş enerji piyasasında MaxGetiriPort için en verimli model DS'dir.

Güneş enerjisi piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 19’da gösterilmiştir:

Tablo 19. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları**Varlık Dağılımları**

	MV	MAD	SV	DS
0	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	8.23%	0.50%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	10.00%	10.00%	1.77%	0.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	9.50%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Güneş enerji santrali MaxRAGOPort'larının varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 16'da gösterilmiştir:



Şekil 16. Güneş Enerji Santrali MaxRAGOPort'ları Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Güneş enerjisi piyasasında Tablo 19 ve Şekil 16'da görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxRAGOPort'larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 10., 12., 13., 14., 15. ve 23. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. MV optimizasyonundaki MaxSharpeOranıPort'unun riski 0.8164, getirisi 1.1398; MAD optimizasyonundaki MaxMRAGOranıPort'unun riski 0.6945, getirisi 1.1398; DS optimizasyonundaki MaxOmegaOranıPort'unun riski 0.0235, getirisi 1.1538; SV optimizasyonundaki MaxSortinoOranıPort'unun riski 0.0802, getirisi 1.1423 olarak ölçülmüştür. Güneş enerji santrali MaxRAGOPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. MV ve MAD modellerindeki portföy dağılımları aynı olduğundan getiri oranları da aynı çıkmıştır. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV = MAD$ olarak ölçülmüştür.

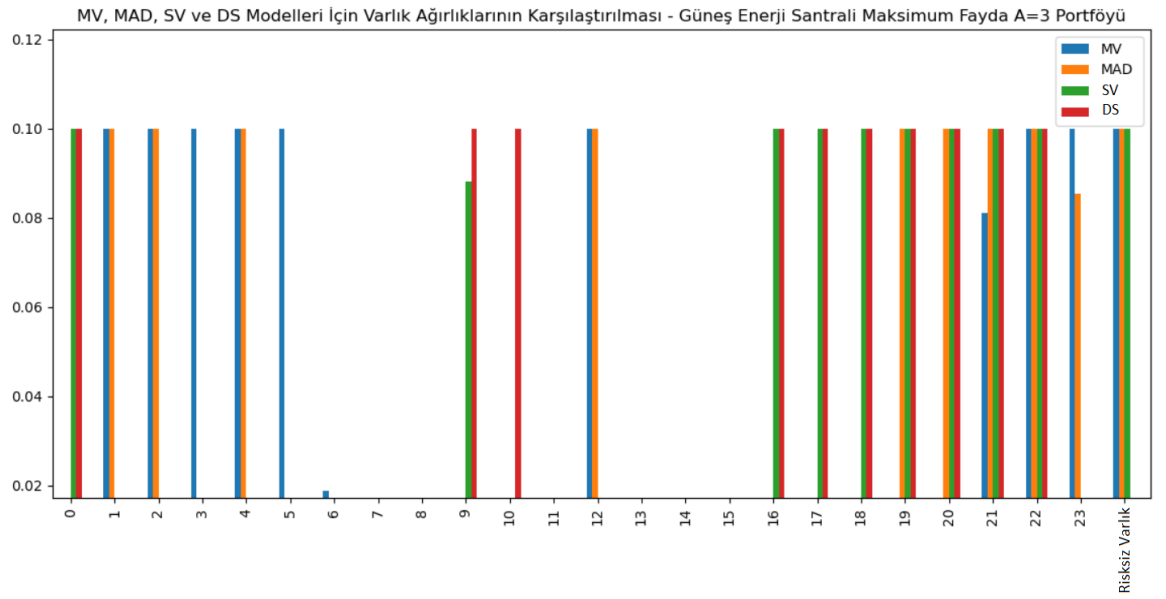
Güneş enerjisi piyasasında MV, MAD, DS ve SV yaklaşımlarına maksimum fayda $A=3$ amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 20'de gösterilmiştir:

Tablo 20. Optimizasyon Modellerinde Güneş Enerji Santrali MaxFaydaPort

(A=3)'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	1.19%	0.00%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	1.46%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	1.89%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	8.81%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	10.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	8.11%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	8.54%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	0.00%

Güneş enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)'larının varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 17'de gösterilmiştir:



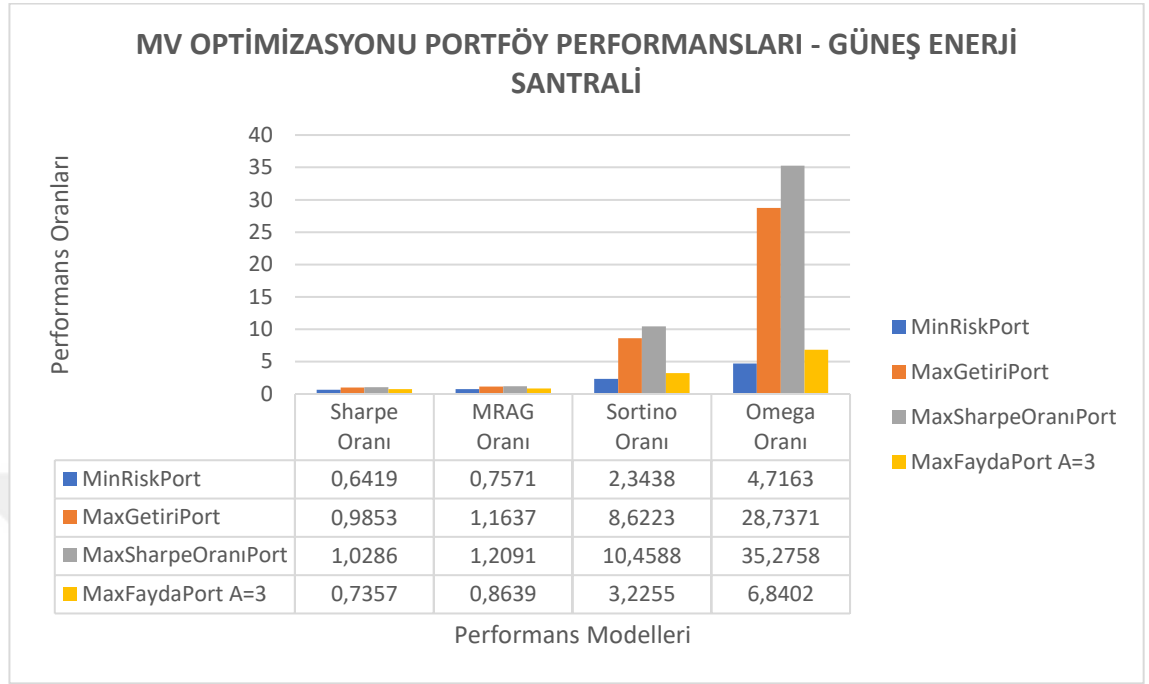
Şekil 17. Güneş Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları Varlık

Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 20 ve Şekil 17’de görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxFaydaPort (A=3)’larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 7., 8., 11., 13., 14. ve 15. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. Güneş enerjisi piyasasında MaxFaydaPort (A=3)’un MV optimizasyonunda riski 0.6599, getirisi 0.7856; MAD optimizasyonunda riski 0.5969, getirisi 0.9401; DS optimizasyonunda riski 0.0291, getirisi 1.2448; SV optimizasyonunda riski 0.0827, getirisi 1.1614 olarak ölçülmüştür. Güneş enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)’ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi piyasasında en verimli model DS olarak ölçülmüştür.

Piyasa oyuncularının portföy seçimlerinde, karar alma süreçlerine destek olmak amacıyla güneş enerjisi piyasasında MV, MAD, DS ve SV modelleri ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföylerin performansları Sharpe, Sortino, MRAG ve Omega oranları ile ölçülmüş ve birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Şekil

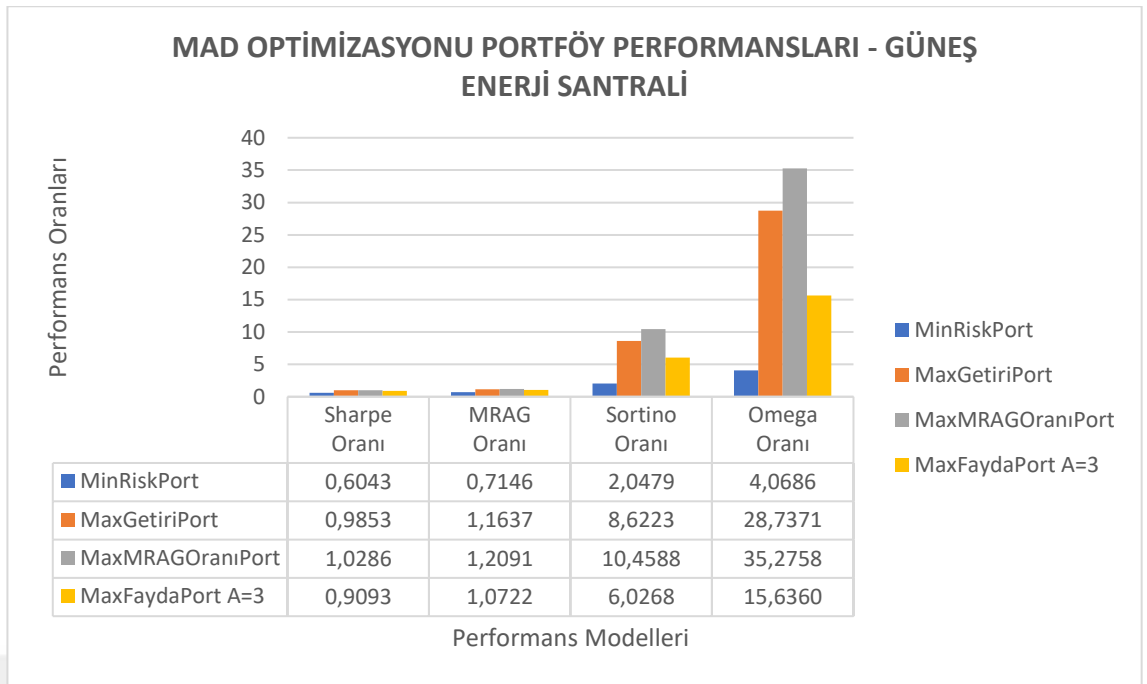
18’de güneş enerjisi piyasasında MV optimizasyonu portföy performansları gösterilmiştir.



Şekil 18. Güneş Enerjisi Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları

Güneş enerji piyasası MV optimizasyon modelinde Sharpe oranı en yüksek portföy beklenildiği gibi MaxSharpeOranıPort’tur. MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde de en yüksek performansı MaxSharpeOranıPort göstermiştir. Optimal portföylerin performans değerleri karşılaştırıldığında en yüksek performans Omega oranı performans modeli ile yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. MinRiskPort’a ait performanslar tüm performans ölçüm modellerinde en düşük olarak hesaplanmıştır. Optimal portföylerin performansları sıralandığında Omega oranı > Sortino oranı > MRAG oranı > Sharpe oranı olarak sıralanmıştır.

Güneş enerjisi piyasasında MAD yaklaşımı ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 19’da gösterilmiştir.

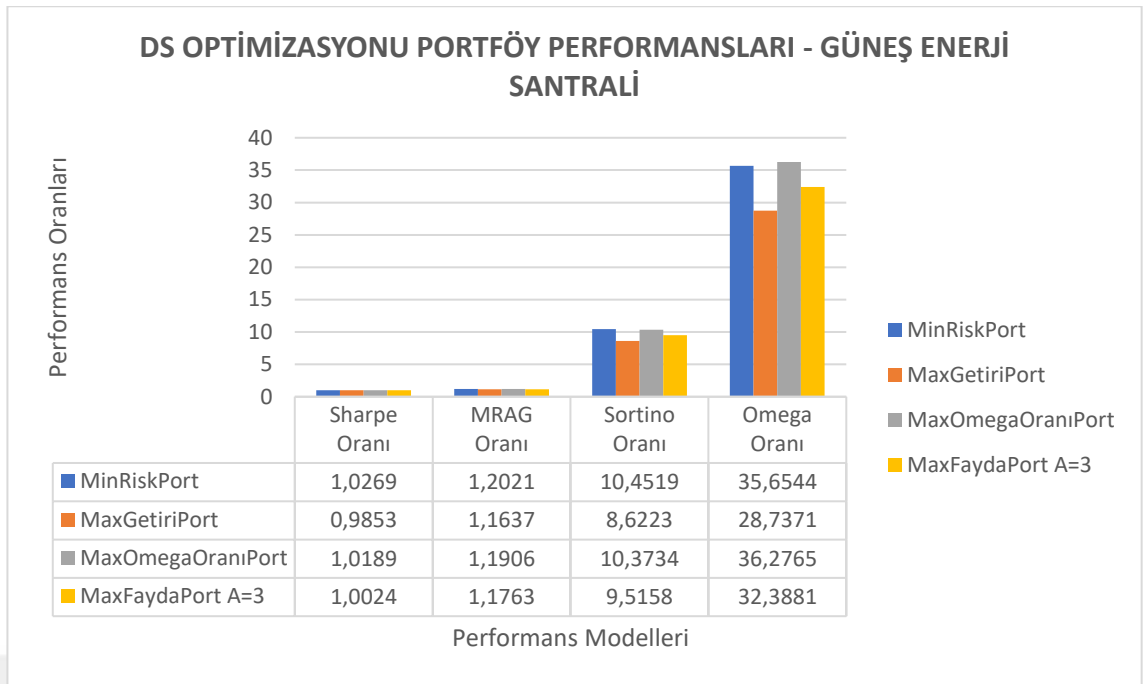


Şekil 19. Güneş Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy

Performansları

MAD yaklaşımında, MV yaklaşımında olduğu gibi MinRiskPort'a ait performanslar Sharpe, MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde en düşük çıkmıştır. Portföy performans ölçüm yaklaşımları arasında en performanslı portföy MaxMRAGOranıPort'tur. Optimal portföylerin Omega oranı ile yapılan ölçüm sonuçları, diğer performans modelleriyle kıyaslandığında en yüksek çıkmıştır. Optimum portföylerin en düşük performansları ise Sharpe oranı yaklaşımında hesaplanmıştır.

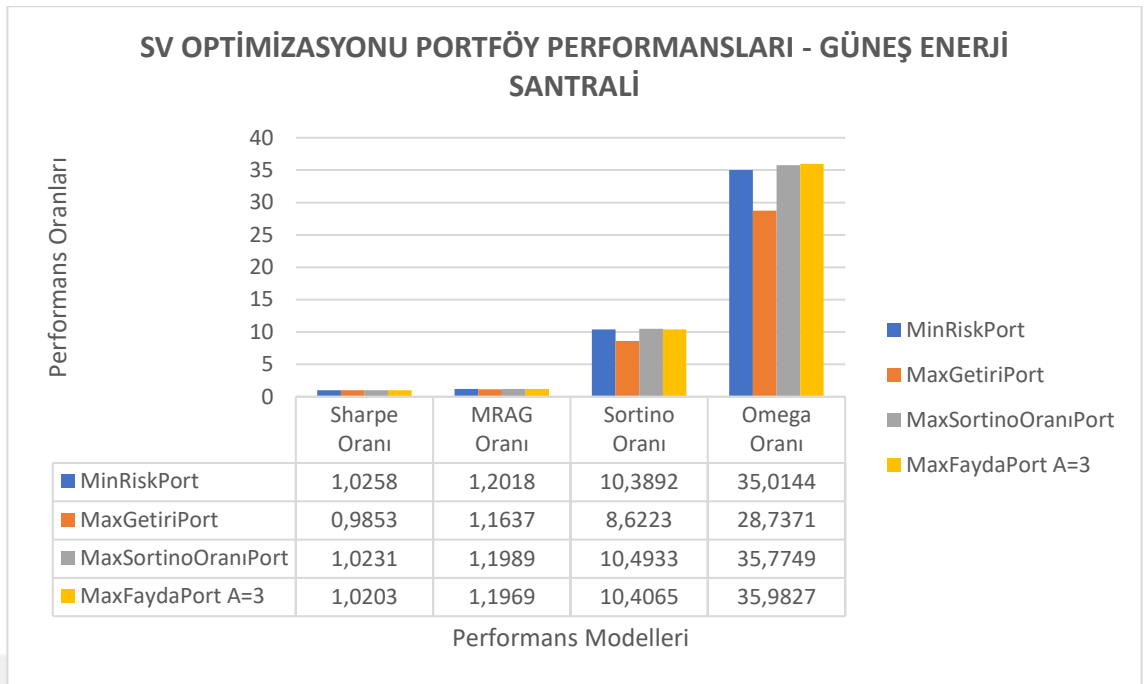
Güneş enerjisi piyasasında DS optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Güneş Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları

DS yaklaşımında Sharpe oranı performans modeli ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföy MinRiskPort olarak ölçülmüştür. MRAG ve Sortino oranı modellerinde de en iyi performanslı portföy MinRiskPort'tur. Omega oranına göre ise en iyi performansı MaxOmegaOranıPort göstermiştir. En düşük performansı tüm performans modellerinde MaxGetiriPort göstermiştir.

Güneş enerji piyasasında SV optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performans ölçümleri Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Güneş Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları

SV finansal optimizasyon modelinde Sharpe oranı ve MRAG oranı performans modelleri ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföy MinRiskPort olarak ölçülmüştür. Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde en iyi performansı beklenildiği gibi MaxSortinoOranıPort göstermiştir. Omega oranı portföy performans modelinde ise en iyi performansa sahip portföy MaxFaydaPort A=3 olarak hesaplanmıştır. Tüm performans modellerinde en düşük performansı MaxGetiriPort göstermiştir.

Güneş enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri ile elde edilen optimal portföylerin performansları büyükten küçüğe Omega oranı > Sortino Oranı > MRAG oranı > Sharpe oranı olarak sıralanmıştır.

Güneş enerjisi piyasasında yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföyler içerisinde en düşük performansa sahip portföy Sharpe oranı portföy performans ölçüm modelinde MAD – MinRiskPort’tur. MAD – MinRiskPort’un Sharpe oranı 0,6043 olarak ölçülmüştür. MAD modelinde hesaplanan MinRiskPort’a ait portföy 1., 2., 3., 4.,

5., 6., 12., 23. saatlere ve risksiz varlığa %10'luk, 7. saate %6,29 ve 13. saate %3,71 yatırım yapılarak oluşturulmuştur.

Güneş enerjisi piyasasında DS optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxOmegaOranıPort'un performansı Omega oranı modeline göre en yüksektir ve 36,2765 olarak hesaplanmıştır. Piyasa karar vericisi DS – MaxOmegaOranıPort'a yatırım yapmak istediğinde üretiminin %10'luk kısmını 0., 16., 17., 18., 19., 20., 21., 22. saate ve risksiz varlığa, %9,5'luk kısmını 11. saate ve %0,5'lik kısmını 1. saate yatırmalıdır.

3.3.1 Türkiye Güneş Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi ve Karşılaştırılması

Güneş enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD optimizasyon modelleri ile optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföyün Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı ve Omega oranı ile performans ölçüm sonuçları Tablo 21, 22, 23 ve 24'de gösterilmiştir.

Tablo 21. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sharpe Oranı
MV Optimizasyonu	0,6419	0,9853	1,0286	0,7357	0,8479
DS Optimizasyonu	1,0269	0,9853	1,0189	1,0024	1,0084
SV Optimizasyonu	1,0257	0,9853	1,0231	1,0203	1,0136
MAD Optimizasyonu	0,6043	0,9853	1,0286	0,9093	0,8819

Tablo 21'de güneş enerjisi piyasasında hesaplanan optimal portföylere ait Sharpe oranı değerleri ve optimizasyon modelleri bazlı ortalama Sharpe oranları gösterilmiştir. Sharpe oranı en yüksek portföyler MV – MaxRAGOPort (1,0286) ve MAD – MaxRAGOPort (1,0286) olarak hesaplanmıştır. Her iki portföyün varlık dağılımları aynı olduğundan Sharpe oranları da aynı çıkmıştır. En düşük Sharpe oranına sahip portföy MAD optimizasyon modeli ile hesaplanan MinRiskPort portföyüdür (0,6043). SV

yaklaşımının ortalama Sharpe oranı 1,0136'dır. Sharpe oranı portföy performans ölçüm modeline göre en iyi performansı SV optimizasyon modeli göstermiştir.

Tablo 22. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sortino Oranı
MV Optimizasyonu	2,3438	8,6223	10,4588	3,2255	6,1626
DS Optimizasyonu	10,4519	8,6223	10,3734	9,5158	9,7409
SV Optimizasyonu	10,3892	8,6223	10,4933	10,4065	9,9778
MAD Optimizasyonu	2,0479	8,6223	10,4588	6,0268	6,7890

Tablo 22'de güneş enerji piyasasında elde edilen 16 optimal portföye ait Sortino oranları gösterilmiştir. En iyi performansı 9,9778 ortalama Sortino oranı ile SV optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük Sortino oranı (2,0479) MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MinRiskPort portföyünde hesaplanmıştır. SV – MaxRAGOPort en yüksek Sortino oranına (10,4933) sahiptir.

Tablo 23. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Omega Oranı
MV Optimizasyonu	4,7163	28,7371	35,2758	6,8402	18,8924
DS Optimizasyonu	35,6544	28,7371	36,2765	32,3881	33,2640
SV Optimizasyonu	35,0144	28,7371	35,7749	35,9827	33,8773
MAD Optimizasyonu	4,0686	28,7371	35,2758	15,6360	20,9294

Tablo-23'te güneş enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD yaklaşımları ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen portföylere ait Omega oranları gösterilmiştir. SV optimizasyon modelinin ortalama Omega oranı 33,8773 olarak diğer optimizasyon modellerine göre en yüksek ölçülmüştür. Omega modelinde en iyi performansı SV optimizasyon yaklaşımı göstermiştir. SV optimizasyon modelleri MaxRAGOPort Omega oranı modeline göre en iyi performansı gösteren portföydür (35,9827). Omega oranı modeline göre en düşük performansı gösteren portföy MAD – MinRiskPort'tur (4,0686).

En düşük performansı gösteren optimizasyon modeli MV'dir, ortalama Omega oranı 18,8924 olarak ölçülmüştür.

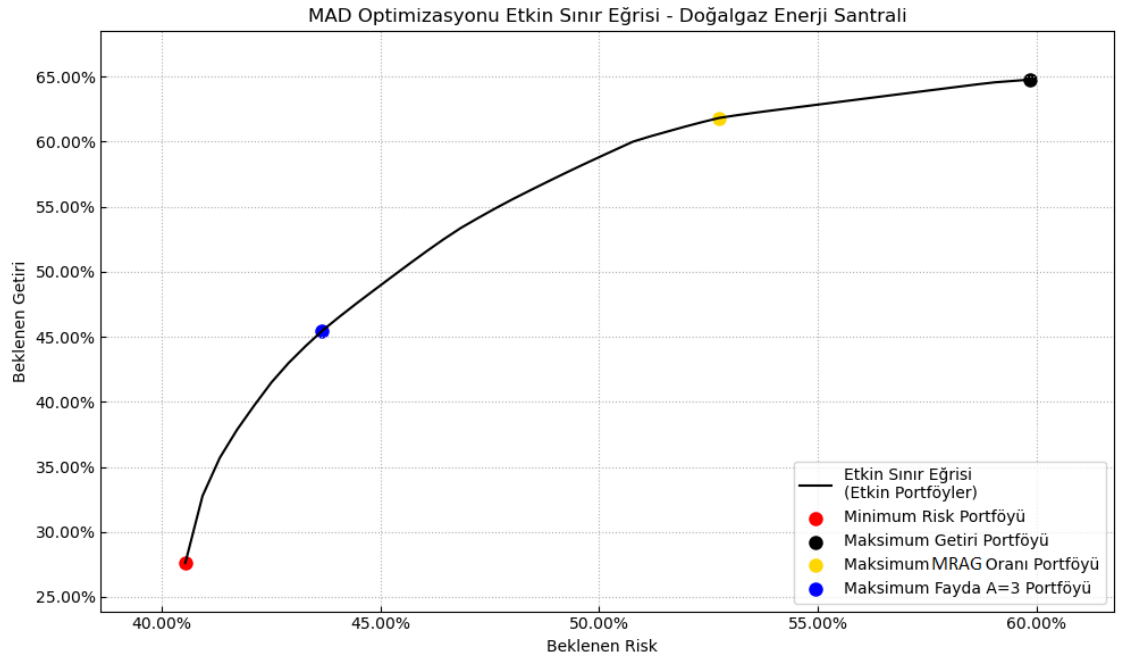
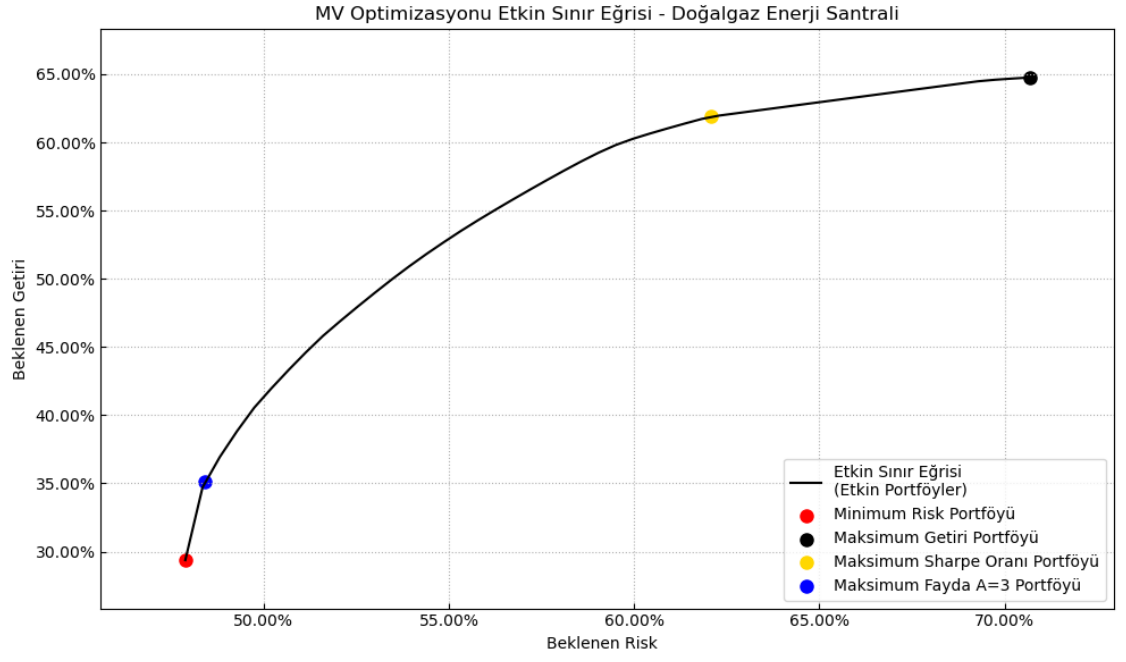
Tablo 24. Güneş Enerjisi Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları

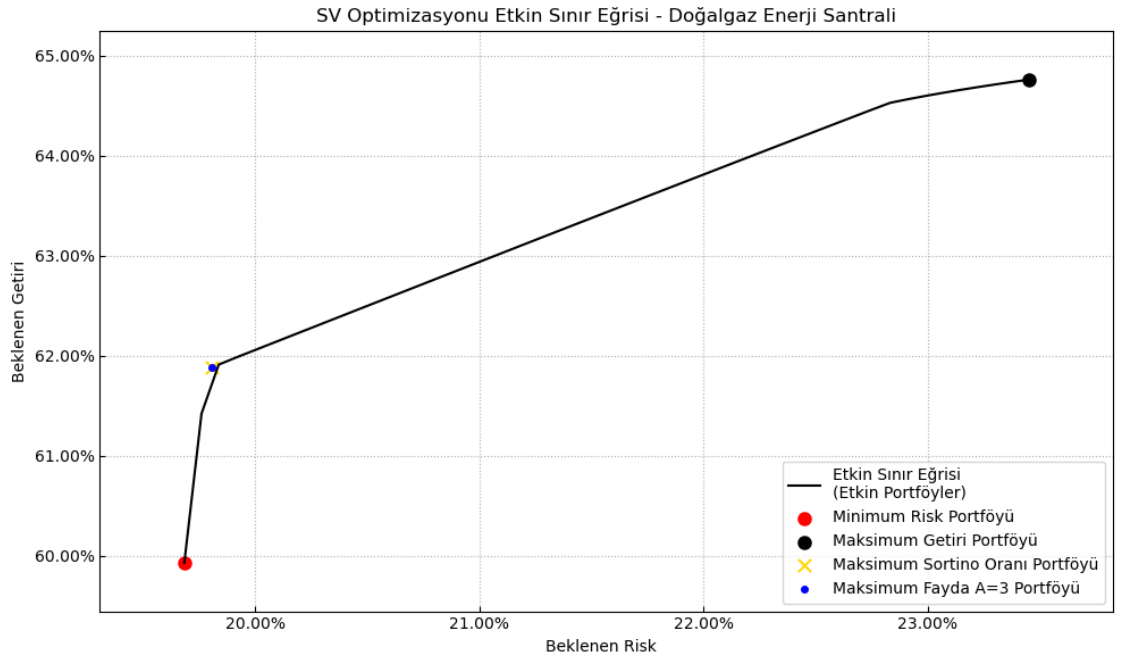
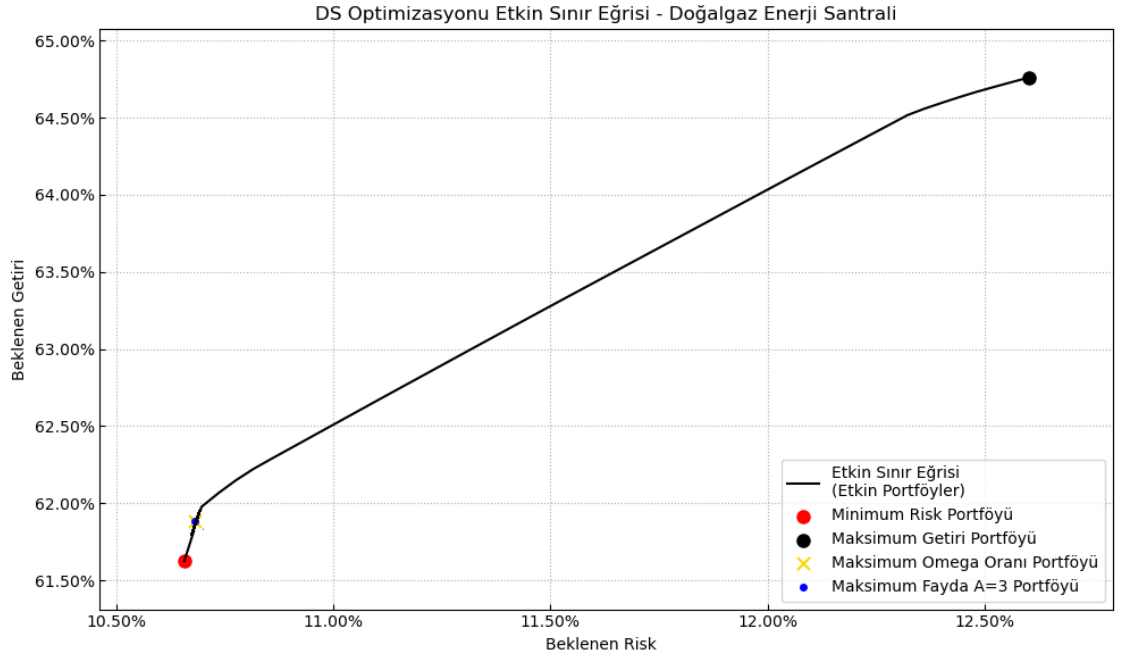
Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama MRAG Oranı
MV Optimizasyonu	0,7571	1,1637	1,2091	0,8639	0,9985
DS Optimizasyonu	1,2021	1,1637	1,1906	1,1763	1,1832
SV Optimizasyonu	1,2018	1,1637	1,1989	1,1969	1,1903
MAD Optimizasyonu	0,7146	1,1637	1,2091	1,0722	1,0399

Tablo-24'de güneş enerjisi piyasasında hesaplanan optimal portföylerin MRAG oranları gösterilmiştir. MRAG oranına göre en yüksek performansı MAD – MaxRAGOPort (1,2091) ve MV - MaxRAGOPort (1,2091) göstermiştir. En düşük performansı MAD optimizasyonu ile hesaplanan MinRiskPort (0,7146) göstermiştir. Ortalama MRAG oranı en yüksek model SV yaklaşımıdır (1,1903). MRAG oranı portföy performans modeline göre en iyi performansı SV optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük performans MV yaklaşımında hesaplanmıştır (0,9985).

3.4 Türkiye Doğalgaz Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal Portföylere Ait Performanslar

Çalışma kapsamında kabul edilen varsayımlar doğrultusunda Türkiye doğalgaz enerji piyasasına MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda A=3 ve maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonları ile uygulanmıştır. Her bir optimizasyon modeli için elde edilen etkin sınır eğrileri üzerindeki optimal portföylere ait görüntüler Şekil 22'de gösterilmiştir.





Şekil 22. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Doğalgaz Enerji Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri

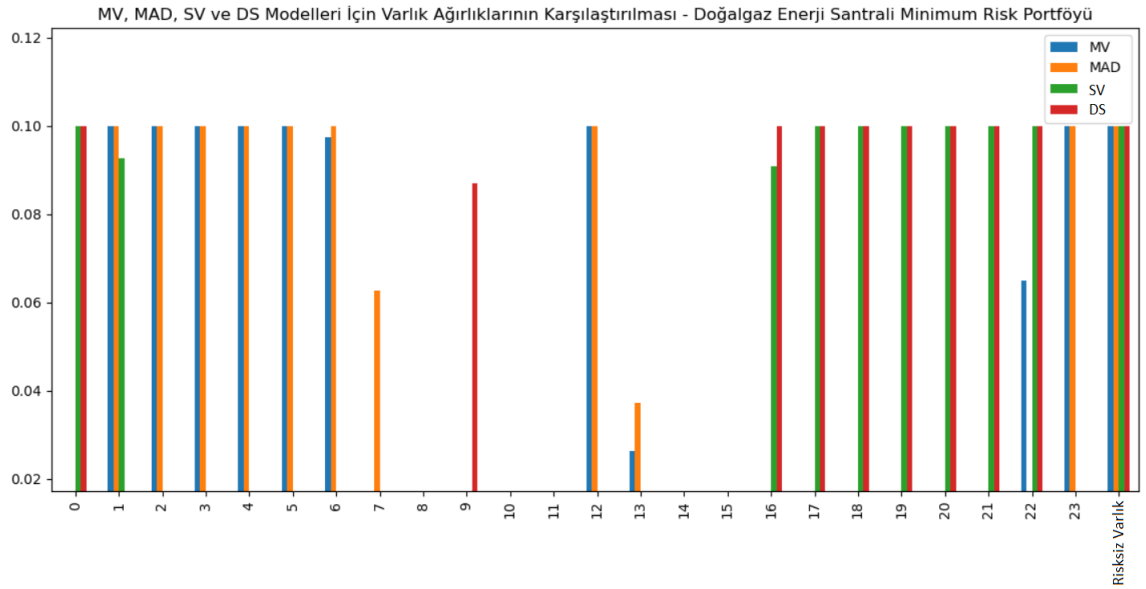
Doğalgaz enerji piyasasına dört farklı amaç fonksiyonu ile dört farklı optimizasyon modeli uygulanmış ve Şekil 22’de gösterildiği gibi 16 optimal portföy elde edilmiştir. MV, MAD, DS ve SV finansal optimizasyon modeli için MinRiskPort, MaxGetiriPort, MaxFaydaPort A=3 ve MaxRAGOPort hesaplanmıştır.

Doğalgaz enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline minimum risk amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 25'te gösterilmiştir:

**Tablo 25. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali
MinRiskPort Varlık Dağılımları**

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	9.27%	1.29%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
6	9.76%	10.00%	0.00%	0.00%
7	1.11%	6.27%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	0.00%	8.71%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	1.63%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	2.64%	3.73%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	9.09%	10.00%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
21	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
22	6.49%	0.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Doğalgaz enerji santrali MinRiskPort'ların varlık ağırlıklarının optimizaayon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 23'de gösterilmiştir:



Şekil 23. Doğalgaz Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 25 ve Şekil 23'de görüldüğü gibi doğalgaz enerji piyasasında MinRiskPort'a yatırım yapacak yatırımcı MV, MAD, DS ve SV modelleri için 8., 10., 11., 14., ve 15. saatlere yatırım yapmamalıdır. Her dört modelde de minimum riskli portföy oluşturulduğu için risksiz varlığa yatırım yapıldığı görülmektedir. Karar vericinin seçim yapacağı model için hangi varlığa yüzde kaç yatırım yapması gerektiği Tablo 25'te gösterilmiştir. MinRiskPort'un MV optimizasyonunda riski 0.4788, getirisi 0.2937; MAD optimizasyonunda riski 0.4054, getirisi 0.2761; DS optimizasyonunda riski 0.1065, getirisi 0.6162; SV optimizasyonunda riski 0.1968, getirisi 0.5992 olarak hesaplanmıştır. Doğalgaz enerji santrali MinRiskPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür. Doğalgaz enerji piyasasında MinRiskPort için en verimli model DS'dir.

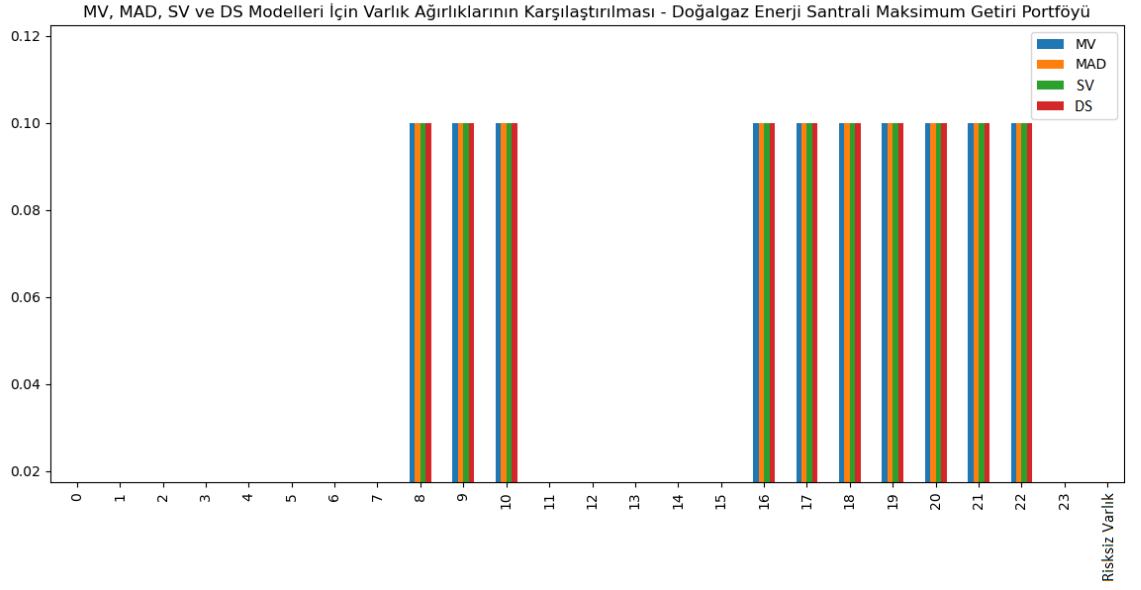
Doğalgaz enerji piyasasında maksimum getirili portföyü hedefleyen yatırımcılar için MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxGetiriPort'lar hesap edilmiştir. Bu portföylere ait varlık dağılımları Tablo 26'da gösterilmiştir:

Tablo 26. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali

MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Doğalgaz enerji santrali MaxGetiriPort'ların varlık ağırlıklarının optimizaayon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 24'te gösterilmiştir:



Şekil 24. Doğalgaz Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

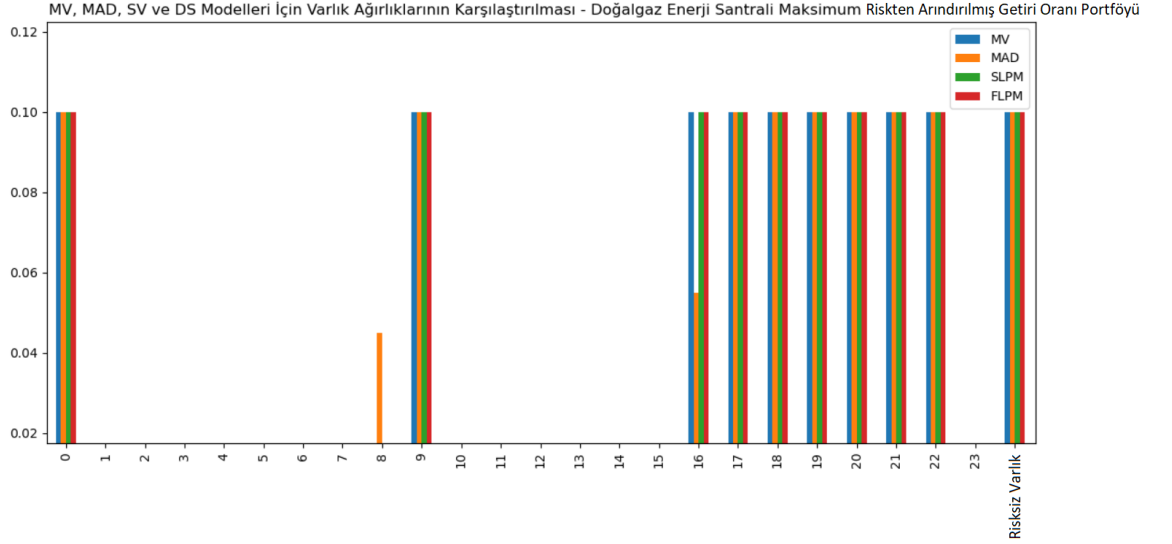
Tablo 26 ve Şekil 24'te görüldüğü gibi doğalgaz enerji piyasasında dört optimizasyon modelinde de MaxGetiriPort'larını oluşturan varlıklar aynıdır ve 8., 9., 10., 16., 17., 18., 19., 20., 21. ve 22. saatlere %10'luk yatırım yapılarak maksimum getiriye ulaşılabilir. Risksiz varlığın getirisi düşük olduğu için portföyde yer almamaktadır. Doğalgaz enerji piyasasında MaxGetiriPort'unun MV optimizasyonunda riski 0.7067, getirisi 0.6476; MAD optimizasyonunda riski 0.5984, getirisi 0.6476; DS optimizasyonunda riski 0.1260, getirisi 0.6476; SV optimizasyonunda riski 0.2344, getirisi 0.6476 olarak ölçülmüştür. Doğalgaz enerji santrali MaxGetiriPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Büyükten küçüğe risk değeri $MV > MAD > SV > DS$ olarak sıralanmıştır. Her dört modelde MaxGetiriPort'unun varlık dağılımı aynı olduğu için getiri değerleri aynı ölçülmüştür ($DS = SV = MV = MAD$). Doğalgaz enerji piyasasında MaxGetiriPort için en verimli model DS'dir. En verimsiz model ise MV'dir.

Doğalgaz enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 27’de gösterilmiştir:

**Tablo 27. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali
MaxRAGOPort’ları Varlık Dağılımları**

	MV	MAD	SV	DS
0	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	4.51%	0.00%	0.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	5.49%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Doğalgaz enerji santrali MaxRAGOPort’ların varlık ağırlıklarının optimizaayon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 25’te gösterilmiştir:



Şekil 25. Doğalgaz Enerji Santrali MaxRAGOPort’larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Doğalgaz enerji piyasasında Tablo 27 ve Şekil 25’te görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxRAGOPort’larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 10., 11., 12., 13., 14., 15. ve 23. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. MV optimizasyonundaki MaxSharpeOranıPort’unun riski 0.6206, getirisi 0.6188; MAD optimizasyonundaki MaxMRAGOranıPort’unun riski 0.5275, getirisi 0.6182; DS optimizasyonundaki MaxOmegaOranıPort’unun riski 0.1065, getirisi 0.6188; SV optimizasyonundaki MaxSortinoOranıPort’unun riski 0.1980, getirisi 0.6188 olarak ölçülmüştür. Doğalgaz enerji santrali MaxRAGOPort’ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. MV, DS ve SV modellerindeki portföy dağılımları aynı olduğundan getiri oranları da aynı çıkmıştır. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS = SV = MV > MAD$ olarak ölçülmüştür.

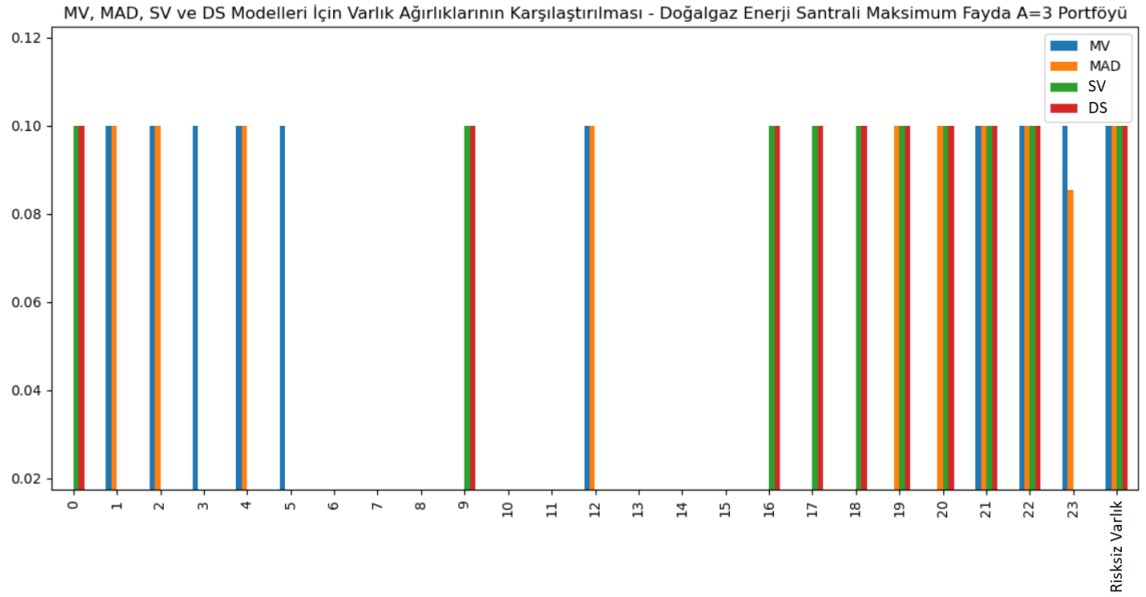
Doğalgaz enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV yaklaşımlarına maksimum fayda $A=3$ amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 28’de gösterilmiştir:

Tablo 28. Optimizasyon Modellerinde Doğalgaz Enerji Santrali MaxFaydaPort

(A=3)'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	1.45%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	8.55%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Doğalgaz enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)'ların varlık ağırlıklarının optimizasyon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 26'da gösterilmiştir:

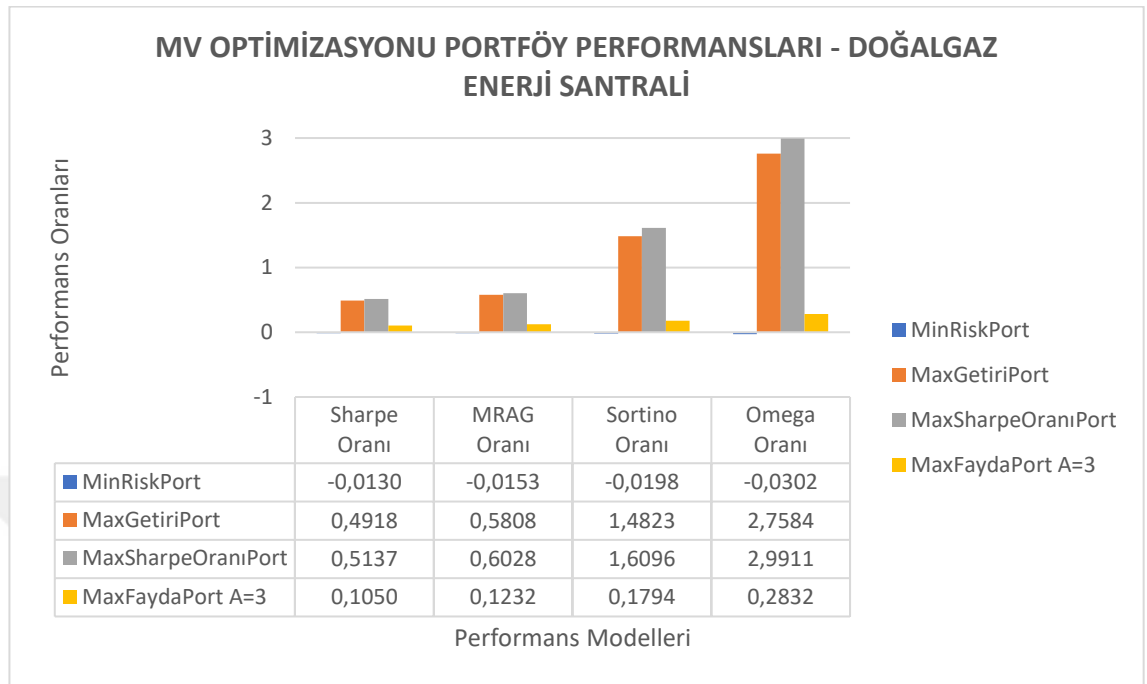


Şekil 26. Doğalgaz Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 28 ve Şekil 26'da görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxFaydaPort (A=3)'lerini oluşturan varlıklar incelendiğinde 6., 7., 8., 10., 11., 13., 14. ve 15. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. Doğalgaz enerji piyasasında MaxFaydaPort (A=3)'un MV optimizasyonunda riski 0.4840, getirisi 0.3508; MAD optimizasyonunda riski 0.4367, getirisi 0.4545; DS optimizasyonunda riski 0.1065, getirisi 0.6188; SV optimizasyonunda riski 0.1980, getirisi 0.6188 olarak ölçülmüştür. Doğalgaz enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise DS ve SV modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS = SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür. Doğalgaz enerji piyasasında en küçük risk ve en büyük getiriye sahip olan DS modeli en verimli model olarak ölçülmüştür.

Elektrik piyasası karar vericileri portföy seçimlerinde, karar alma süreçlerine destek olmak amacıyla doğalgaz enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV modelleri ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföylerin performansları Sharpe, Sortino, MRAG ve Omega oranları ile ölçülmüş ve birbirleri arasında karşılaştırılmıştır.

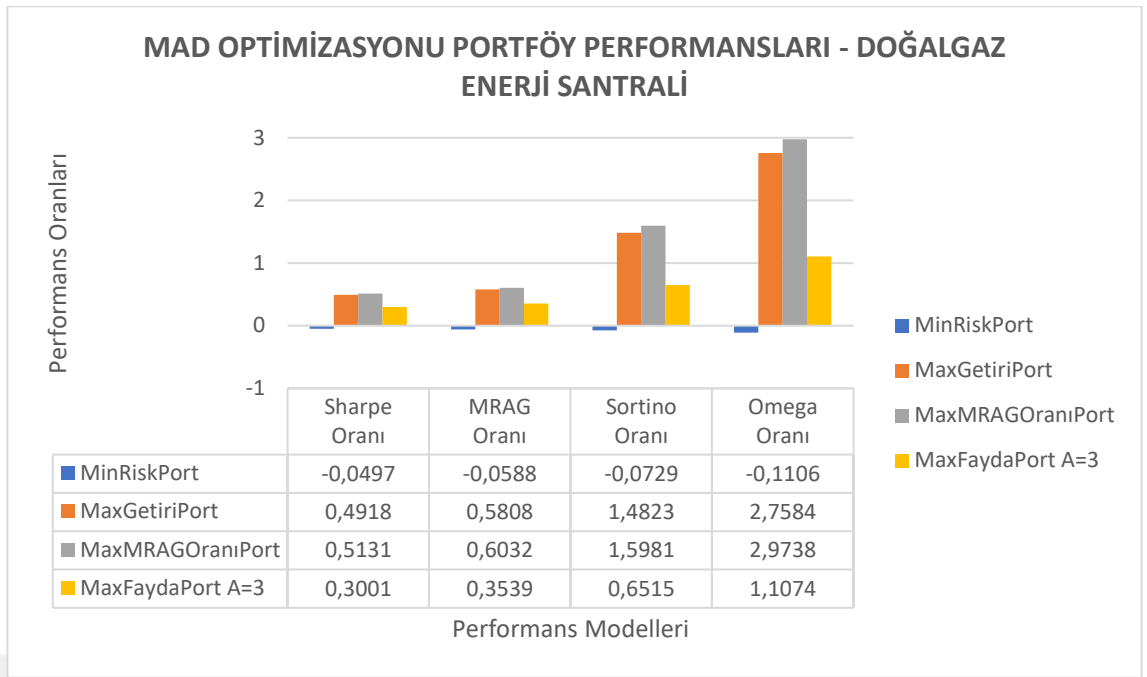
Şekil 27’de doğalgaz enerji piyasasında MV optimizasyonu portföy performansları gösterilmiştir.



Şekil 27. Doğalgaz Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları

Doğalgaz enerji piyasası MV optimizasyon modelinde Sharpe oranı en yüksek portföy beklenildiği gibi MaxSharpeOranıPort’tur. MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde de en yüksek performansı MaxSharpeOranıPort göstermiştir. Optimal portföylerin performans değerleri karşılaştırıldığında en yüksek performans Omega oranı performans modeli ile yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. MinRiskPort’a ait performanslar tüm performans ölçüm modellerinde negatif değer almıştır. Performans ölçüm modelinin negatif çıkması portföyün getirisinin risksiz varlığın getirisinden düşük çıkması demektir. MV optimizasyon modelinde hesaplanan MinRiskPort’un getirisi risksiz varlığın getirisinden (0,30) düşük hesaplanmıştır.

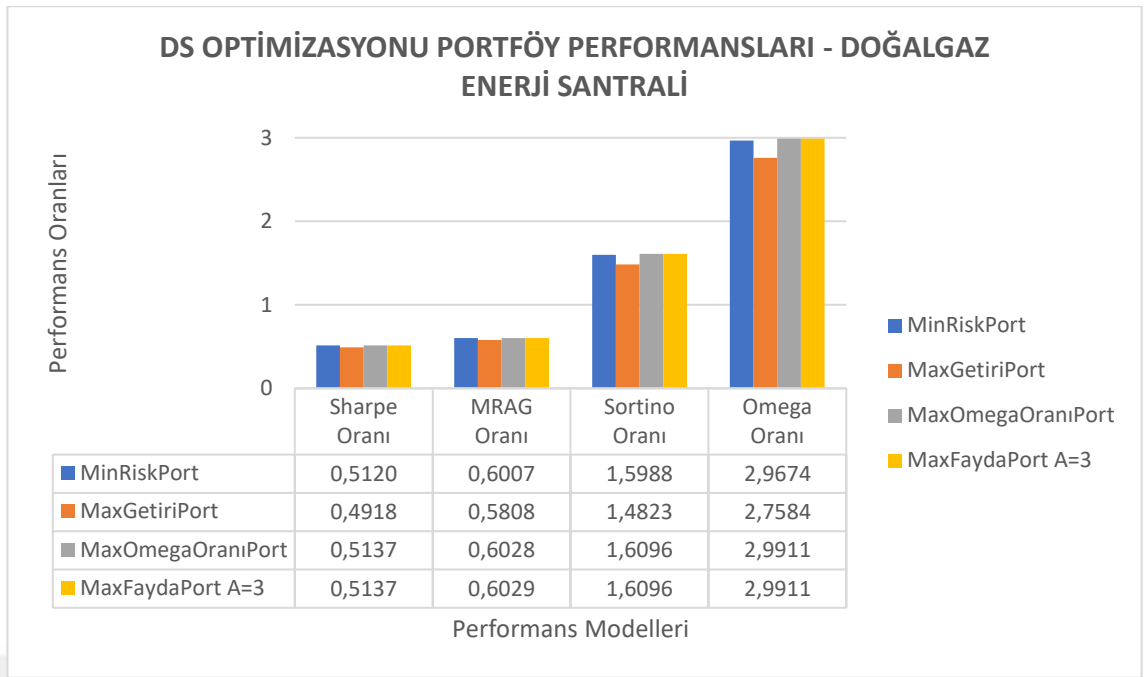
Doğalgaz enerji piyasasında MAD optimizasyon modeli ile elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28. Doğalgaz Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy Performansları

Şekil 28’de görüldüğü gibi MAD yaklaşımında, MV yaklaşımında olduğu gibi MinRiskPort’a ait performansları negatif hesaplanmıştır. MAD optimizasyon modelinde hesaplanan MinRiskPort’un getirisi risksiz varlığın getirisinden (0,30) düşük hesaplanmıştır. Tüm portföy performans ölçüm yaklaşımları arasında en yüksek performansa sahip portföy MaxMRAGOranıPort’tur. Optimal portföylerin Omega oranı ile yapılan ölçüm sonuçları, diğer performans modelleriyle kıyaslandığında en yüksek çıkmıştır. Doğalgaz enerji piyasasında MAD optimizasyon modeli performans sonuçlarına göre elektrik tedarikçisi yatırımını MaxMRAGOranıPort’a yapmalıdır.

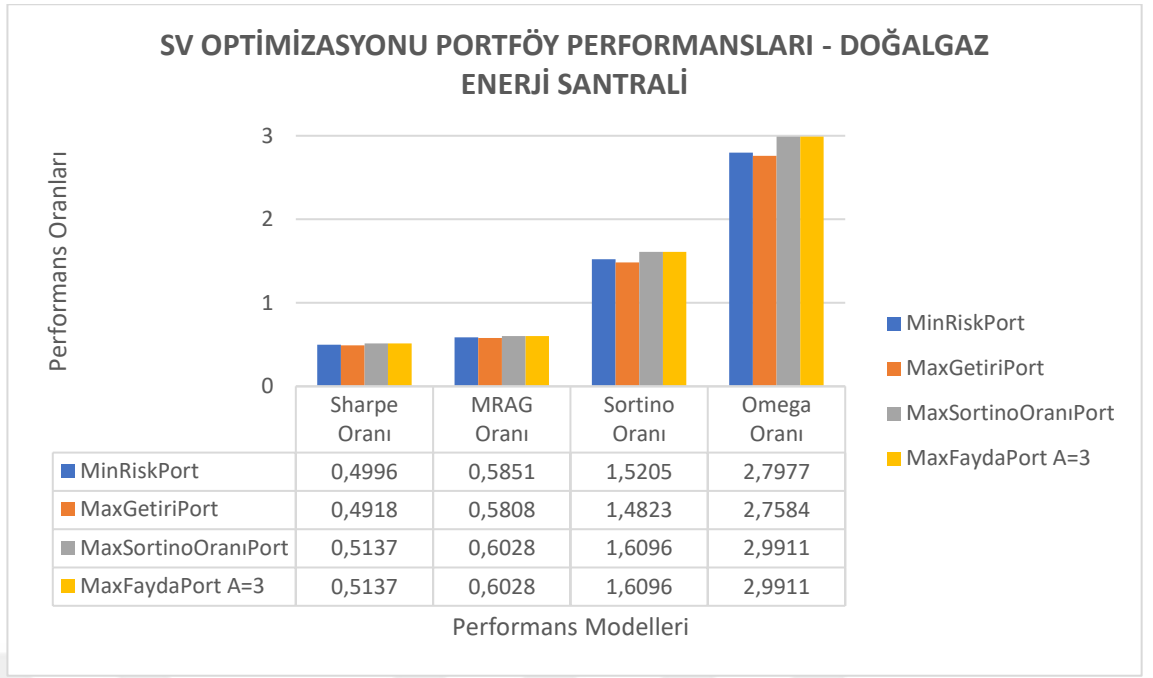
Doğalgaz enerjisi piyasasında DS optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 29’da gösterilmiştir.



Şekil 29. Doğalgaz Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları

DS yaklaşımında Sharpe oranı, Sortino oranı ve Omega oranı performans modelleri ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföyler MaxOmegaOranıPort ve MaxFaydaPort A=3 olarak ölçülmüştür. MRAG oranı modelinde ise en iyi performanslı portföy MaxFaydaPort A=3'tür. En düşük performansı tüm performans modellerinde MaxGetiriPort göstermiştir.

Doğalgaz enerji piyasasında SV optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performans ölçümleri Şekil 30'da gösterilmiştir.



**Şekil 30. Doğalgaz Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy
Performansları**

SV finansal optimizasyon modelinde tüm portföy performans modelleri ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföyler MaxSortinoOranıPort ve MaxFaydaPort A=3 olarak ölçülmüştür. Tüm performans modellerinde en düşük performansı MaxGetiriPort göstermiştir. MaxSortinoOranıPort ve MaxFaydaPort A=3 portföylerinin varlık dağılımları aynı olduğundan tüm performans ölçütleri için performanslar aynı hesaplanmıştır. SV modelinde elektrik tedarikçisi MaxSortinoOranıPort ve MaxFaydaPort A=3 portföylerine yatırım yapmalıdır. En düşük performanslı portföy MaxGetiriPort olarak bulunmuştur.

Doğalgaz enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri ile elde edilen optimal portföylerin performansları büyükten küçüğe Omega oranı > Sortino Oranı > MRAG oranı > Sharpe oranı olarak sıralanmıştır.

Doğalgaz enerjisi piyasasında yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföyler içerisinde en düşük performansa sahip portföy Omega oranı portföy performans

ölçüm modelinde MAD – MinRiskPort’tur. MAD – MinRiskPort’un Omega oranı -0,1106 olarak ölçülmüştür. MAD modelinde hesaplanan MinRiskPort’a ait portföy 1., 2., 3., 4., 5., 6., 12., 23. saatlere ve risksiz varlığa %10’luk, 7. saate %6,27 ve 13. saate %3,73 yatırım yapılarak oluşturulmuştur.

Doğalgaz enerji piyasasında DS optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxOmegaOranıPort ve MaxFaydaPort A=3, SV optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxSortinoPort ve MaxFaydaPort A=3 portföylerinin performansları Omega oranı modeline göre en yüksektir ve 2,9911 olarak ölçülmüştür. Bu dört portföyün performanslarının aynı çıkması portföy varlık dağılımlarının aynı çıkmasından kaynaklanmaktadır. Elektrik üreticisi bu portföylere yatırım yapmak istediğinde üretiminin %10’luk kısmını 0., 9., 16., 17., 18., 19., 20., 21., 22. saate ve risksiz varlığa yatırmalıdır.

3.4.1 Türkiye Doğalgaz Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi ve Karşılaştırılması

Doğalgaz enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD optimizasyon modelleri ile optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföyün Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı ve Omega oranı ile performans ölçüm sonuçları Tablo 29, 30, 31 ve 32’de gösterilmiştir.

Tablo 29. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sharpe Oranı
MV Optimizasyonu	-0,0130	0,4918	0,5137	0,1050	0,2744
DS Optimizasyonu	0,5120	0,4918	0,5137	0,5137	0,5078
SV Optimizasyonu	0,4996	0,4918	0,5137	0,5137	0,5047
MAD Optimizasyonu	-0,0497	0,4918	0,5131	0,3001	0,3138

Tablo 29’da doğalgaz enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylere ait Sharpe oranı değerleri ve optimizasyon modelleri bazlı ortalama Sharpe oranları

gösterilmiştir. Sharpe oranı en yüksek portföyler MV – MaxRAGOPort (0,5137), DS – MaxRAGOPort (0,5137), SV – MaxRAGOPort (0,5137), DS – MaxFaydaPort (0,5137) ve SV – MaxFaydaPort A=3 (0,5137) olarak hesaplanmıştır. Bu beş portföyün varlık dağılımları aynı olduğundan Sharpe oranları da aynı çıkmıştır. En düşük Sharpe oranına sahip portföy MAD optimizasyon modeli ile hesaplanan MinRiskPort portföyüdür (-0,0497). DS yaklaşımının ortalama Sharpe oranı 0,5078’dir. Sharpe oranı portföy performans ölçüm modeline göre en iyi performansı DS optimizasyon modeli göstermiştir.

Tablo 30. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sortino Oranı
MV Optimizasyonu	-0,0197	1,4823	1,6096	0,1794	0,8129
DS Optimizasyonu	1,5988	1,4823	1,6096	1,6096	1,5751
SV Optimizasyonu	1,5205	1,4823	1,6096	1,6096	1,5555
MAD Optimizasyonu	-0,0729	1,4823	1,5981	0,6515	0,9148

Tablo 30’da doğalgaz enerji piyasasında elde edilen 16 optimal portföye ait Sortino oranları gösterilmiştir. En iyi performansı 1,5751 ortalama Sortino oranı ile DS optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük Sortino oranı (-0,0729) MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MinRiskPort portföyünde hesaplanmıştır. MV – MaxRAGOPort, SV – MaxRAGOPort, DS – MaxRAGOPort, SV – MaxFaydaPort A=3 ve DS – MaxFaydaPort A=3 en yüksek Sortino oranına (1,6096) sahiptir. Ortalama Sortino oranı (0,8129) en düşük optimizasyon modeli MV’dir.

Tablo 31. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Omega Oranı
MV Optimizasyonu	-0,0302	2,7584	2,9911	0,2832	1,5006
DS Optimizasyonu	2,9674	2,7584	2,9911	2,9911	2,9270
SV Optimizasyonu	2,7977	2,7584	2,9911	2,9911	2,8846
MAD Optimizasyonu	-0,1106	2,7584	2,9738	1,1074	1,6823

Tablo 31’de doğalgaz enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD yaklaşımları ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen portföylere ait Omega oranları gösterilmiştir. DS optimizasyon modelinin ortalama Omega oranı 2,9270 olarak diğer optimizasyon modellerine göre en yüksek ölçülmüştür. Omega modelinde en iyi performansı DS optimizasyon yaklaşımı göstermiştir. MV – MaxRAGOPort, SV – MaxRAGOPort, DS – MaxRAGOPort, SV – MaxFaydaPort A=3 ve DS – MaxFaydaPort A=3 portföyleri omega modeline göre en iyi performansı gösteren portföylerdir (2,9911). Omega oranı modeline göre en düşük performansı gösteren portföy MAD – MinRiskPort’tur (-0,1106). Ortalama Omega oranına göre en düşük performansı gösteren optimizasyon modeli MAD’dır, ortalama Omega oranı 1,6823 olarak ölçülmüştür.

Tablo 32. Doğalgaz Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları

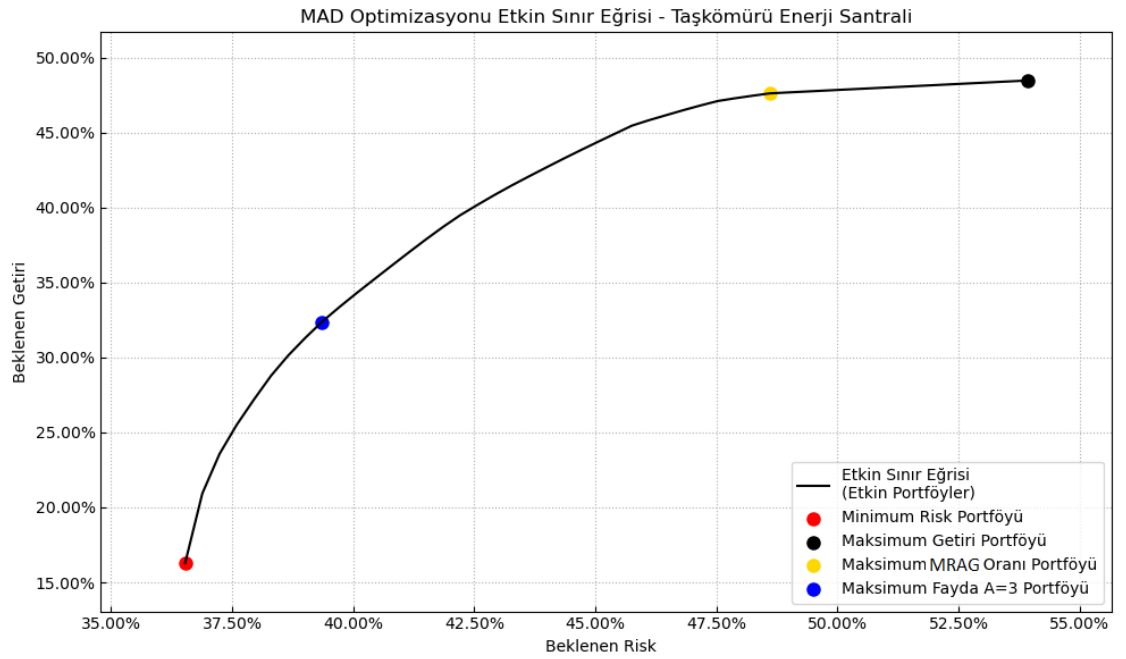
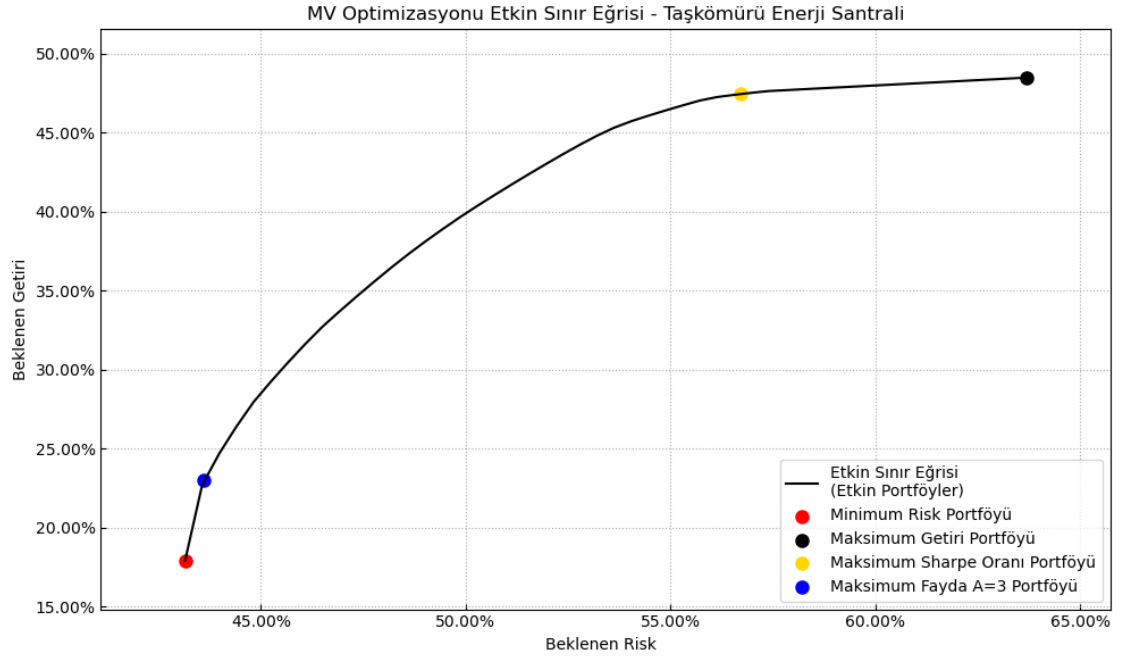
Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama MRAG Oranı
MV Optimizasyonu	-0,0153	0,5808	0,6028	0,1232	0,3229
DS Optimizasyonu	0,6007	0,5808	0,6028	0,6028	0,5968
SV Optimizasyonu	0,5851	0,5808	0,6028	0,6028	0,5929
MAD Optimizasyonu	-0,0588	0,5808	0,6032	0,3539	0,3698

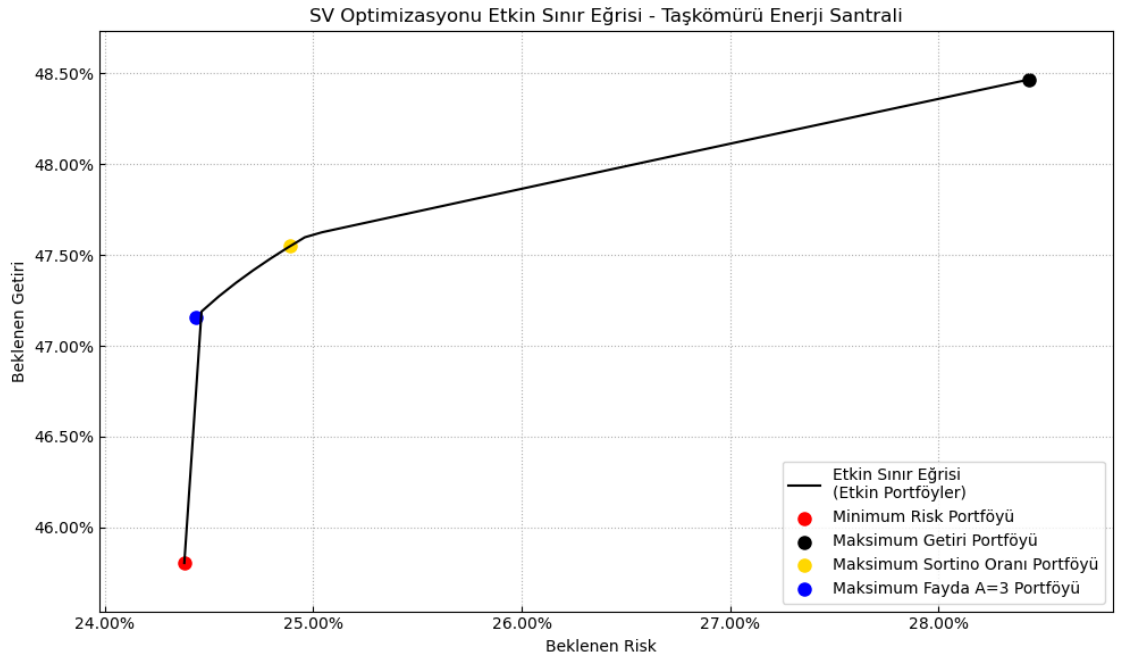
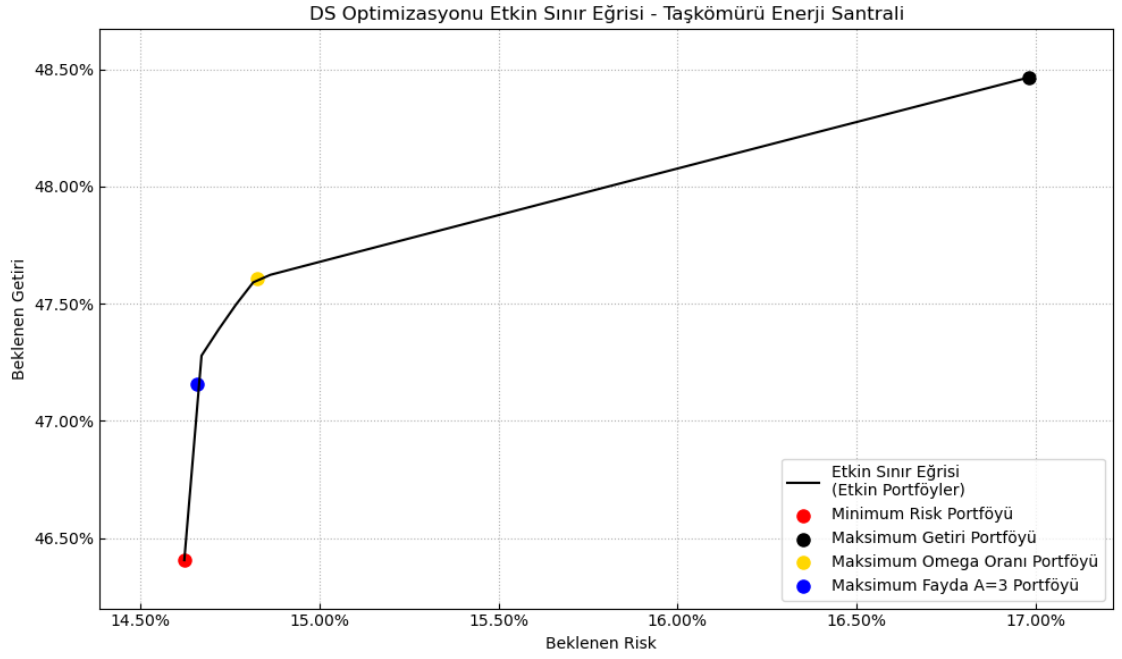
Tablo 32’de doğalgaz enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylerin MRAG oranları gösterilmiştir. MRAG oranına göre en yüksek performansı MAD – MaxFaydaPort A=3 (0,6032) göstermiştir. En düşük performansı MAD optimizasyonu ile hesaplanan MinRiskPort (-0,0588) göstermiştir. Ortalama MRAG oranı en yüksek model DS yaklaşımıdır (0,5968). MRAG oranı portföy performans modeline göre en iyi performansı DS optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük performanslar MV yaklaşımında hesaplanmıştır (0,3229).

3.5 Türkiye Taşkömürü Enerji Santrali Optimizasyon Sonuçları ve Optimal Portföylere Ait Performanslar

Çalışma kapsamında kabul edilen varsayımlar doğrultusunda Türkiye taşkömürü enerji piyasasına finansal optimizasyon modellerinden MV, MAD, DS ve SV

optimizasyon modelleri minimum risk, maksimum getiri, maksimum fayda $A=3$ ve maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonları ile uygulanmıştır. Her bir optimizasyon modeli için elde edilen etkin sınır eğrileri üzerindeki optimal portföylere ait görüntüler Şekil 31’de gösterilmiştir.





Şekil 31. MV, MAD, DS ve SV Optimizasyon Modellerinin Taşkömürü Enerji

Santrali İçin Etkin Sınır Eğrileri

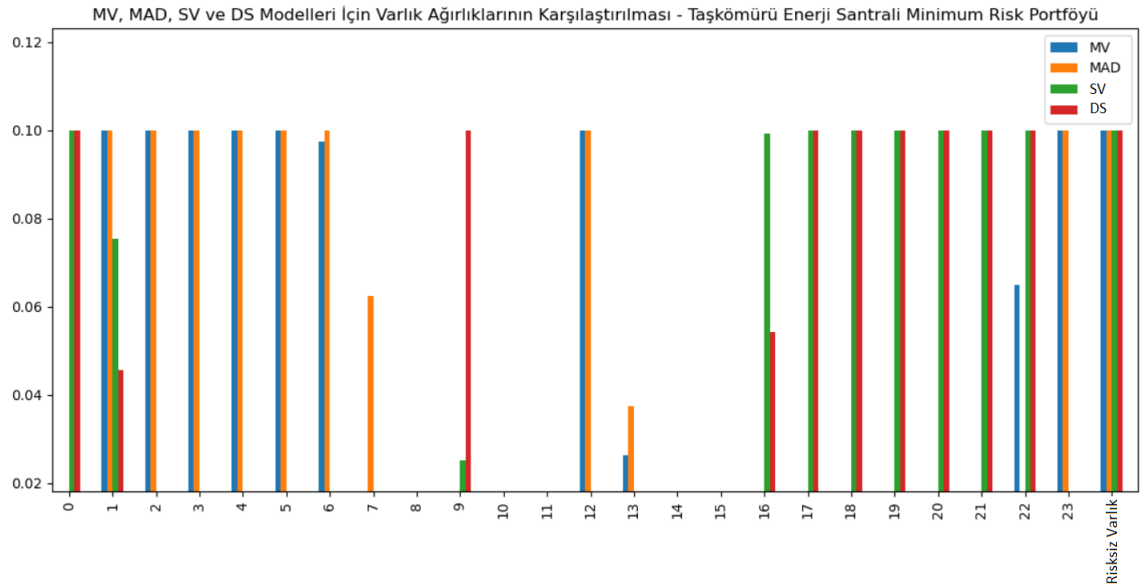
Taşkömürü enerji piyasasına dört farklı amaç fonksiyonu ile dört farklı optimizasyon modeli uygulanmış ve Şekil 31’de gösterildiği gibi 16 optimal portföy elde edilmiştir. MV, MAD, DS ve SV finansal optimizasyon modeli için MinRiskPort, MaxGetiriPort, MaxFaydaPort A=3 ve MaxRAGOPort hesaplanmıştır.

Taşkömürü enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline minimum risk amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 33'te gösterilmiştir:

**Tablo 33. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali
MinRiskPort Varlık Dağılımları**

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	7.54%	4.57%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
6	9.76%	10.00%	0.00%	0.00%
7	1.11%	6.26%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	2.53%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	2.64%	3.74%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	9.93%	5.43%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
21	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
22	6.50%	0.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Taşkömürü enerji santrali MinRiskPort'ların varlık ağırlıklarının modeller arası karşılaştırılması Şekil 32'de gösterilmiştir:



Şekil 32. Taşkömürü Enerji Santrali MinRiskPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Taşkömürü enerji piyasasında MinRiskPort'a yatırım yapacak yatırımcı Tablo 33 ve Şekil 32' de görüldüğü gibi her dört model için de 8., 10., 11., 14. ve 15. saatlere yatırım yapmamalıdır. Seçim yaptığı optimizasyon modeli için hangi varlığa yüzde kaç yatırım yapması gerektiği Tablo 33'de gösterilmiştir. MinRiskPort'un MV optimizasyonunda riski 0.4314, getirisi 0.1787; MAD optimizasyonunda riski 0.3653, getirisi 0.1628; DS optimizasyonunda riski 0.1462, getirisi 0.4640; SV optimizasyonunda riski 0.2438, getirisi 0.4582 olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji santrali MinRiskPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise yine DS modelinde elde edilmiştir. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS > SV > MV > MAD$ olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji piyasasında MinRiskPort için en verimli model DS'dir.

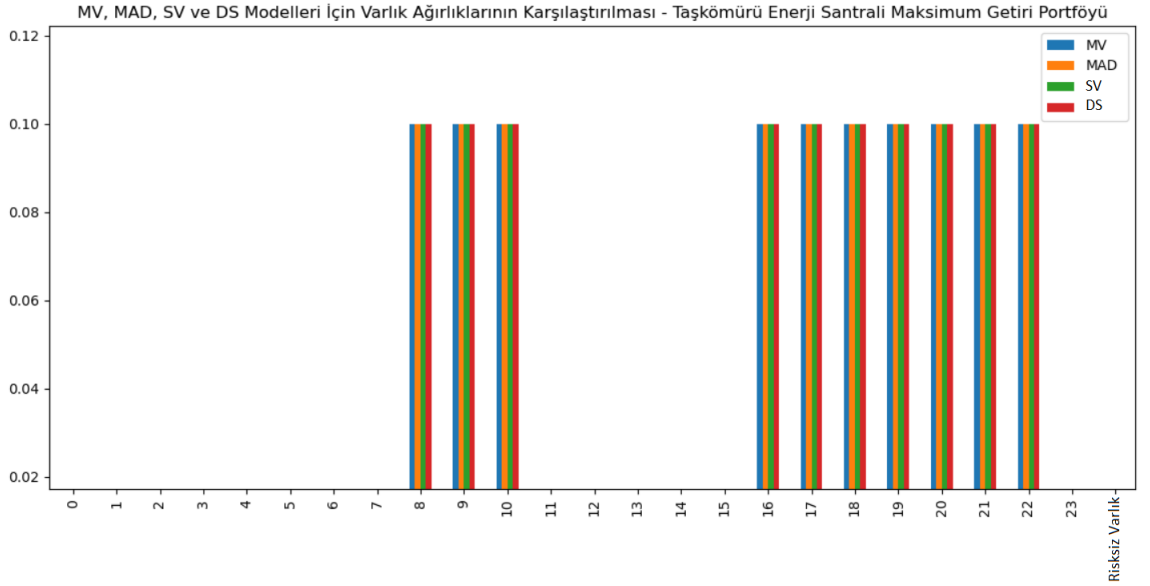
Taşkömürü enerjisi piyasasında MV, MAD, DS ve SV modellerine maksimum getiri amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 34'de gösterilmiştir:

Tablo 34. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali

MaxGetiriPort'ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Taşkömürü enerji santrali MaxGetiriPort'ların varlık ağırlıklarının optimizasyon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 33'te gösterilmiştir:



Şekil 33. Taşkömürü Enerji Santrali MaxGetiriPort'larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 34 ve Şekil 33'de görüldüğü gibi taşkömürü enerji piyasasında dört optimizasyon modelinde de MaxGetiriPort'larını oluşturan varlıklar aynıdır ve 8., 9., 10., 16., 17., 18., 19., 20., 21. ve 22. saatlere %10'luk yatırım yapılarak maksimum getiriye ulaşılabilmektedir. Risksiz varlığın getirisi düşük olduğu için portföyde yer almamaktadır. Taşkömürü enerji piyasasında MaxGetiriPort'unun MV optimizasyonunda riski 0.6368, getirisi 0.4846; MAD optimizasyonunda riski 0.5392, getirisi 0.4846; DS optimizasyonunda riski 0.1698, getirisi 0.4846; SV optimizasyonunda riski 0.2843, getirisi 0.4846 olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji santrali MaxGetiriPort'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxGetiriPort'unun varlık dağılımı aynı olduğu için getiri değerleri aynı ölçülmüştür ($DS = SV = MV = MAD$). Taşkömürü enerji piyasasında MaxGetiriPort için en verimli model DS'dir. En verimsiz model ise MV olarak ölçülmüştür.

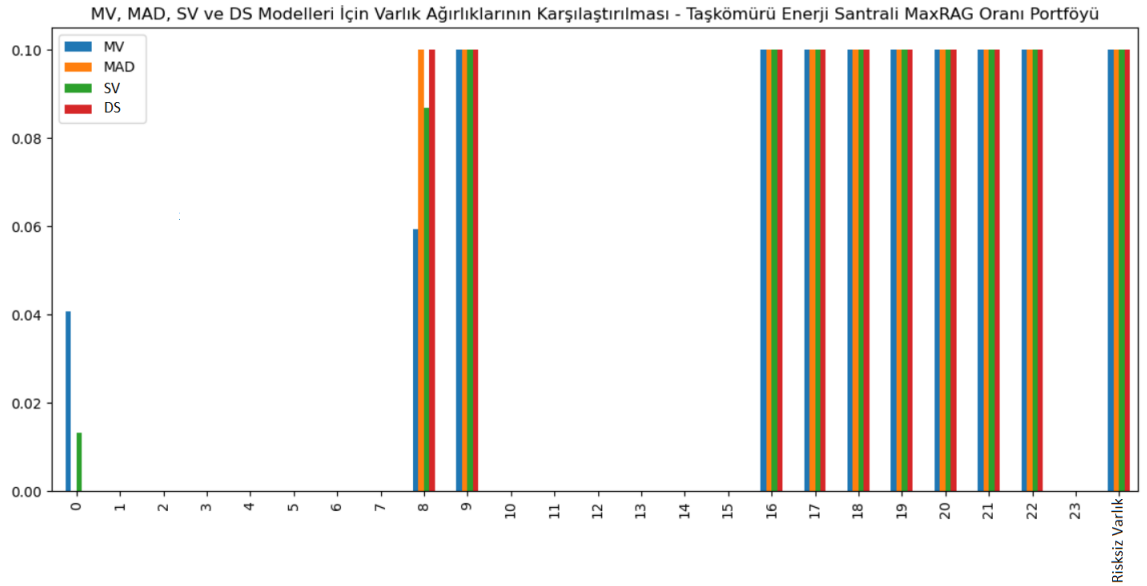
Taşkömürü enerji piyasasında her bir optimizasyon modeline maksimum riskten arındırılmış getiri oranı amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 35'te gösterilmiştir:

Tablo 35. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali

MaxRAGOPort’ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	4.07%	0.00%	1.32%	0.00%
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	5.93%	10.00%	8.68%	10.00%
9	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
17	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
18	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
19	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Taşkömürü enerji santrali MaxRAGOPort’ların varlık ağırlıklarının optimizasyon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 34’de gösterilmiştir:



Şekil 34. Taşkömürü Enerji Santrali MaxRAGOPort’larının Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

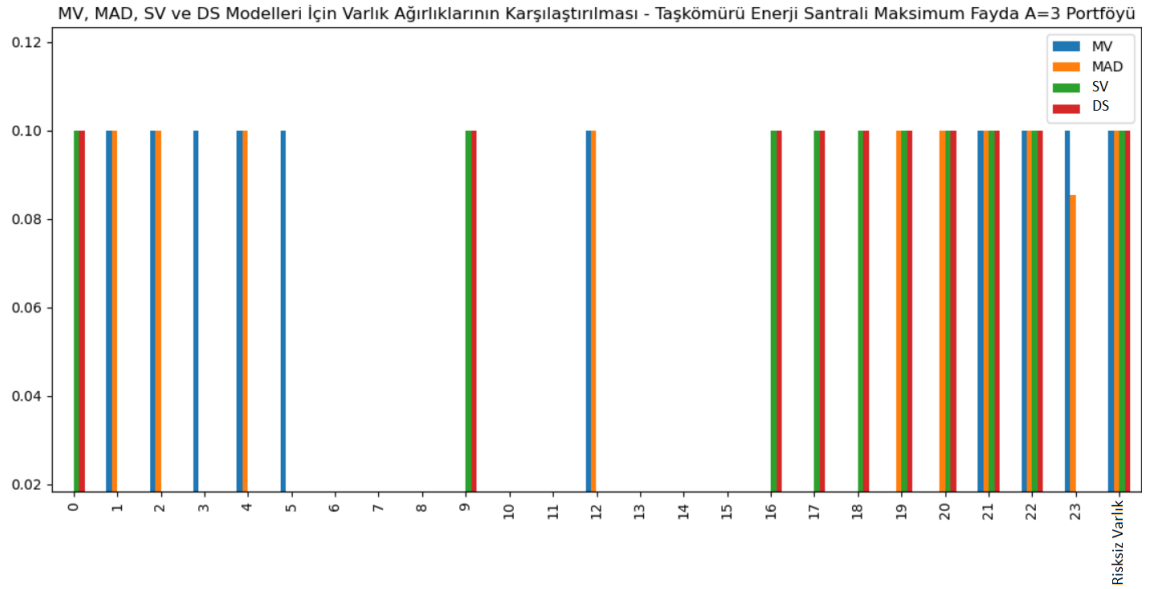
Taşkömürü enerji piyasasında Tablo 35 ve Şekil 34’de görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxRAGOPort’larını oluşturan varlıklar incelendiğinde 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 10., 11., 12., 13., 14., 15. ve 23. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. MV optimizasyonundaki MaxSharpeOranıPort’unun riski 0.5671, getirisi 0.4742; MAD optimizasyonundaki MaxMRAGOranıPort’unun riski 0.4860, getirisi 0.4760; DS optimizasyonundaki MaxOmegaOranıPort’unun riski 0.1482, getirisi 0.4760; SV optimizasyonundaki MaxSortinoOranıPort’unun riski 0.2488, getirisi 0.4754 olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji santrali MaxRAGOPort’ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. MAD ve DS modellerindeki portföy dağılımları aynı olduğundan getiri oranları da aynı çıkmıştır. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS = MAD > SV > MV$ olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji piyasasında MaxRAGOPort için en verimli modeller MAD ve DS’dir. En verimsiz model ise MV olarak ölçülmüştür.

Taşkömürü enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV yaklaşımlarına maksimum fayda A=3 amaç fonksiyonu uygulandığında elde edilen portföylerin varlık dağılımları Tablo 36’da gösterilmiştir:

Tablo 36. Optimizasyon Modellerinde Taşkömürü Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)’ları Varlık Dağılımları

	MV	MAD	SV	DS
0	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
1	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
2	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
3	10.00%	1.45%	0.00%	0.00%
4	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
5	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	10.00%	10.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
16	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
17	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
18	0.00%	0.00%	10.00%	10.00%
19	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
20	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%
21	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
22	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
23	10.00%	8.55%	0.00%	0.00%
Risksiz Varlık	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Taşkömürü enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)’ların varlık ağırlıklarının optimizasyon modelleri arası karşılaştırılması Şekil 35’te gösterilmiştir:

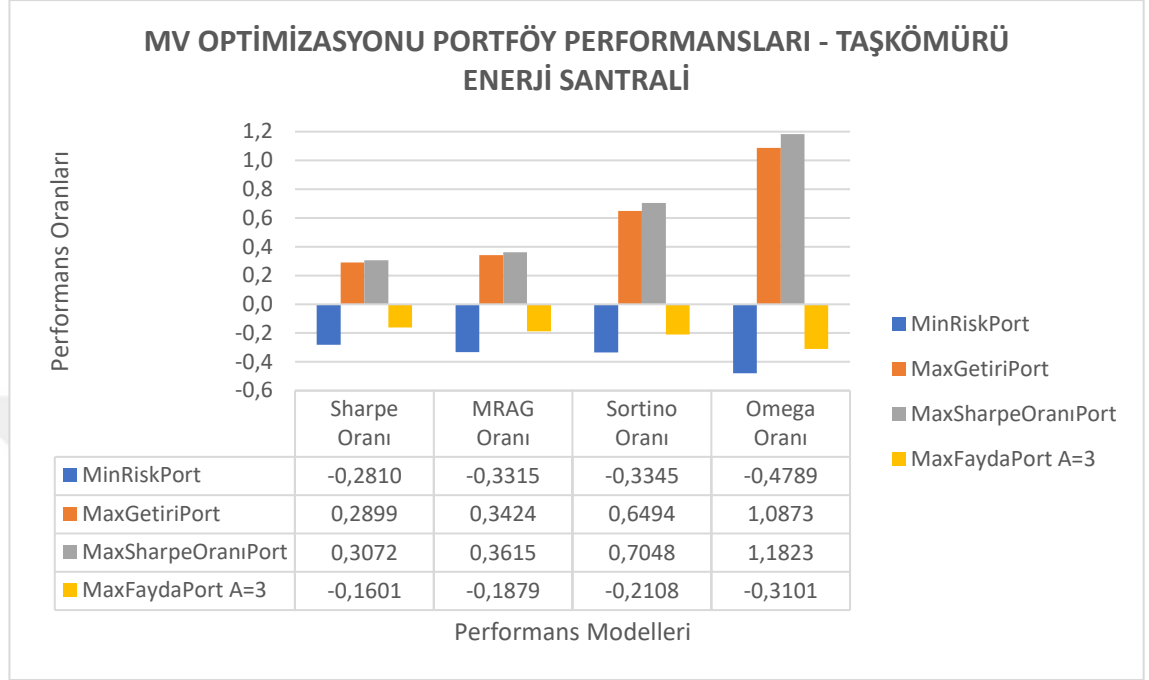


Şekil 35. Taşkömürü Enerji Santrali MaxFaydaPort (A=3)'lerinin Varlık Ağırlıklarının Karşılaştırılması

Tablo 36 ve Şekil 35'te görüldüğü gibi MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modellerinde MaxFaydaPort (A=3)'lerini oluşturan varlıklar incelendiğinde 6., 7., 8., 10., 11., 13., 14. ve 15. saatlere yatırım yapılmadığı görülmektedir. Taşkömürü enerji piyasasında MaxFaydaPort (A=3)'un MV optimizasyonunda riski 0.4361, getirisi 0.2301; MAD optimizasyonunda riski 0.3935, getirisi 0.3236; DS optimizasyonunda riski 0.1462, getirisi 0.4715; SV optimizasyonunda riski 0.2443, getirisi 0.4715 olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerji santrali MaxFaydaPort (A=3)'ları içerisinde en küçük risk DS modelinde ölçülmüştür. Küçükten büyüğe risk değeri $DS < SV < MAD < MV$ olarak sıralanmıştır. En büyük getiri ise DS ve SV modelinde elde edilmiştir. DS ve SV modellerinde getirinin aynı çıkma sebebi her iki modelde de varlık dağılımlarının aynı çıkmasıdır. Büyükten küçüğe getiri sıralaması $DS = SV > MAD > MV$ olarak ölçülmüştür. Taşkömürü enerjisi piyasasında en verimli model DS ve SV olarak ölçülmüştür. En düşük verim ise MV modelinde ölçülmüştür.

Piyasa oyuncularının portföy seçim probleminin çözümüne destek olmak amacıyla taşkömürü enerji piyasasında MV, MAD, DS ve SV modelleri ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföylerin performansları Sharpe, Sortino,

MRAG ve Omega oranları ile ölçülmüş ve birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Şekil 36'da taşkömürü enerji piyasasında MV optimizasyonu portföy performansları gösterilmiştir.

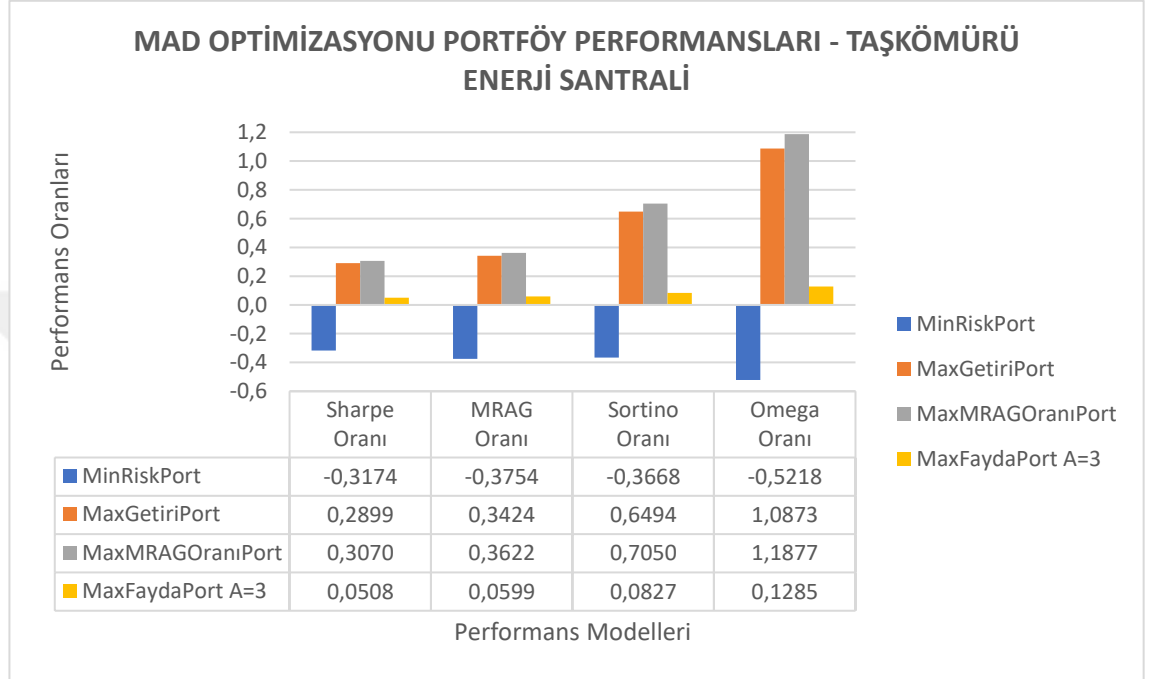


Şekil 36. Taşkömürü Enerji Santrali MV Optimizasyonu Portföy Performansları

Şekil 36'da görüldüğü gibi taşkömürü enerji piyasası MV optimizasyon modelinde MinRiskPort ve MaxFaydaPort A=3 portföylerine ait performans ölçümleri tüm modeller için negatif çıkmıştır. MV optimizasyon modelinde MinRiskPort'un getirisi -0,2810 ve MaxFaydaPort A=3'ün getirisi 0,2301 olarak hesaplanmıştır. Bu iki portföyün getirisi risksiz varlığın getirisinden (0,30) düşük olduğundan Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı ve Omega oranı portföy performans ölçümleri negatif sonuç almıştır. Sharpe oranı en yüksek portföy beklenildiği gibi MaxSharpeOranıPort'tur. MRAG, Omega ve Sortino oranı ile yapılan ölçümlerde de en yüksek performansı MaxSharpeOranıPort göstermiştir. Optimal portföylerin performans değerleri karşılaştırıldığında en yüksek performans

Omega oranı performans modeli ile yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. En düşük performanslı portföy ise tüm performans modelleri için MinRiskPort'tur.

Taşkömürü enerji piyasasında MAD optimizasyon modeli ile elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 37'de gösterilmiştir.



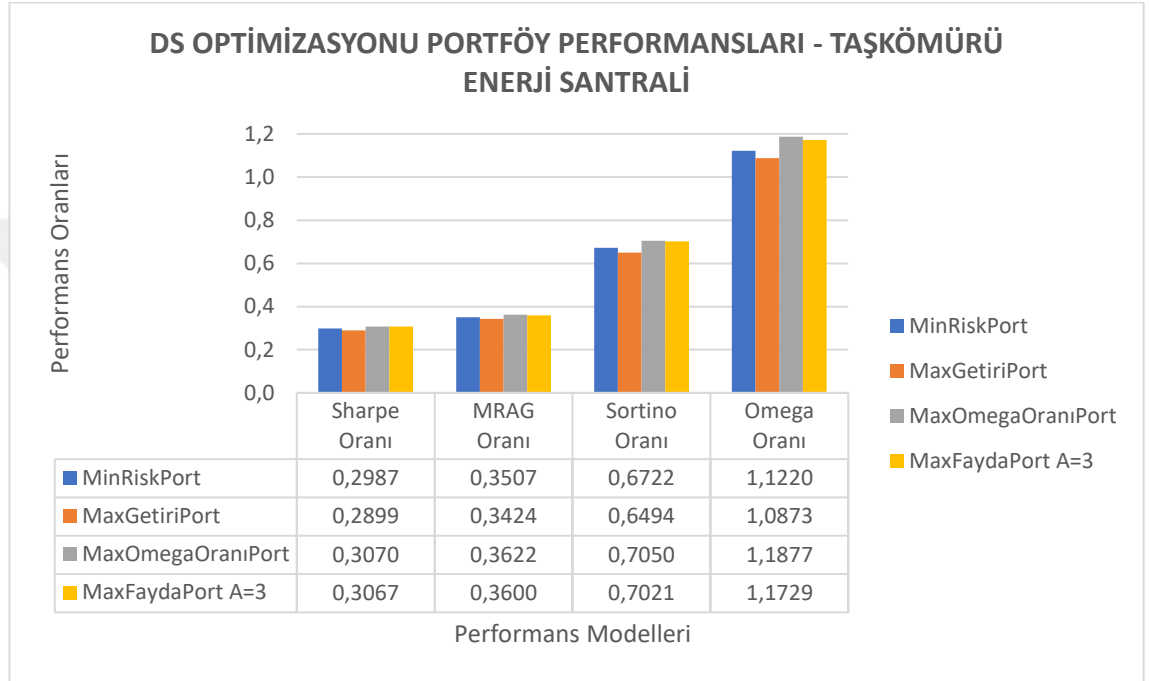
Şekil 37. Taşkömürü Enerji Santrali MAD Optimizasyonu Portföy

Performansları

Şekil 37'de görüldüğü gibi taşkömürü enerji piyasasında yapılan MAD optimizasyonlarında, MV yaklaşımında olduğu gibi MinRiskPort'a ait performanslar negatif hesaplanmıştır. MAD optimizasyon modelinde hesaplanan MinRiskPort'un getirisi (0,1628) risksiz varlığın getirisinden (0,30) düşük hesaplanmıştır. Tüm portföy performans ölçüm yaklaşımları arasında en performanslı portföy MaxMRAGOranıPort'tur. En düşük performans tüm modeller için MinRiskPort'ta ölçülmüştür. Tüm performans modelleri için portföy performansları küçükten büyüğe $\text{MinRiskPort} < \text{MaxFaydaPort (A=3)} < \text{MaxGetiriPort} < \text{MaxMRAGOranıPort}$

sıralanmıştır. Taşkömürü enerji piyasasında MAD optimizasyon modeli performans sonuçlarına göre elektrik tedarikçisi yatırımını MaxMRAGOranıPort’a yapmalıdır.

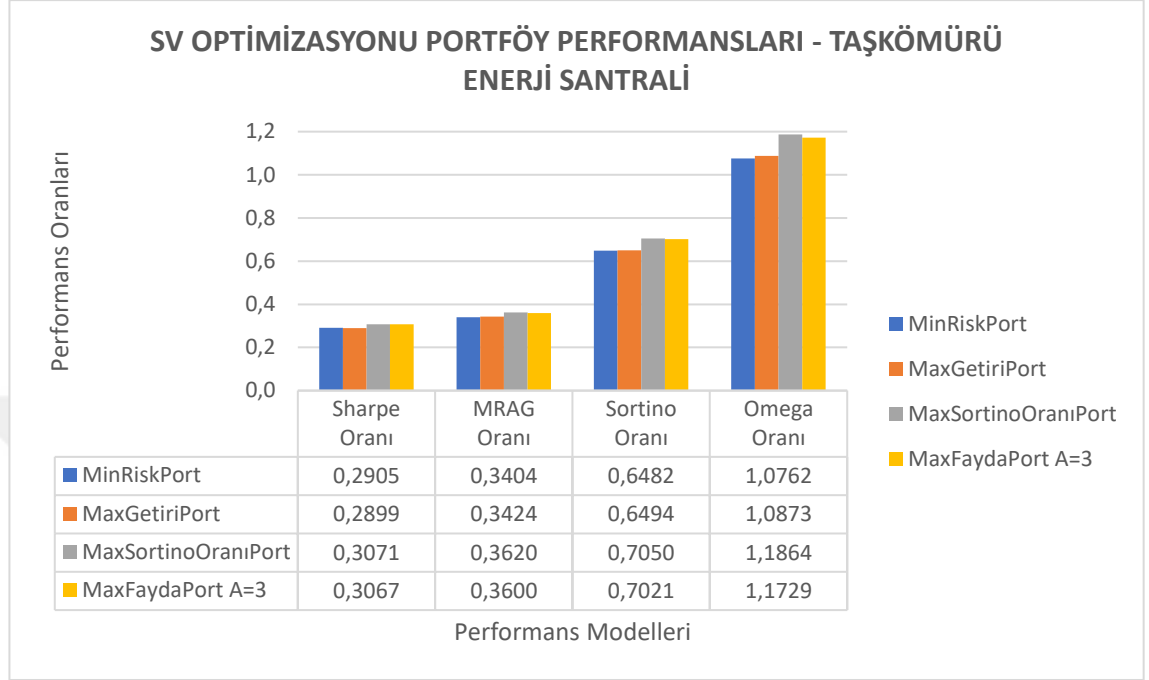
Taşkömürü enerji piyasasında DS optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 38’de gösterilmiştir.



Şekil 38. Taşkömürü Enerji Santrali DS Optimizasyonu Portföy Performansları

DS yaklaşımında Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı, Omega oranı performans modelleri ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföyler MaxOmegaOranıPort ölçülmüştür. En düşük performansı tüm performans modellerinde MaxGetiriPort göstermiştir. Tüm performans ölçütlerine göre optimal portföyler büyükten küçüğe MaxOmegaOranıPort > MaxFaydaPort (A=3) > MinRiskPort > MaxGetiriPort olarak sıralanmıştır. Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan yatırımcı, DS optimizasyon modeline göre yatırımını MaxOmegaOranıPort’a yapmalıdır.

Taşkömürü enerji piyasasında SV optimizasyon modeli ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföylere ait performanslar Şekil 39’da gösterilmiştir.



Şekil 39. Taşkömürü Enerji Santrali SV Optimizasyonu Portföy Performansları

Şekil 39’da gösterildiği gibi SV finansal optimizasyon modelinde tüm performans modelleri ile yapılan ölçümlerde en performanslı portföy MaxSortinoOranıPort olarak ölçülmüştür. Tüm performans modellerinde en düşük performansı MaxGetiriPort göstermiştir. Tüm performans ölçütlerine göre optimal portföyler büyükten küçüğe MaxSortinoOranıPort > MaxFaydaPort (A=3) > MinRiskPort > MaxGetiriPort olarak sıralanmıştır. Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan yatırımcı, SV optimizasyon modeline göre yatırımını MaxSortinoOranıPort’a yapmalıdır.

Taşkömürü enerji piyasasında yapılan optimizasyonlarda elde edilen optimal portföyler içerisinde en düşük performansa sahip portföy Omega oranı portföy performans ölçüm modelinde MAD – MinRiskPort’tur. MAD – MinRiskPort’un Omega oranı

-0,5218 olarak ölçülmüştür. MAD modelinde hesaplanan MinRiskPort'a ait portföy 1., 2., 3., 4., 5., 6., 12., 23. saatlere ve risksiz varlığa %10'luk, 7. saate %6,26 ve 13. saate %3,74 yatırım yapılarak oluşturulmuştur.

Taşkömürü enerji piyasasında MAD optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxMRAGOranıPort ve DS optimizasyon modeli ile hesaplanan MaxOmegaOranıPort portföylerinin performansları Omega oranı modeline göre en yüksektir ve 1,1877 olarak ölçülmüştür. Bu iki portföyün performanslarının aynı çıkması portföy varlık dağılımlarının aynı çıkmasından kaynaklanmaktadır. Elektrik üreticisi bu portföylere yatırım yapmak istediğinde üretiminin %10'luk kısmını 8., 9., 16., 17., 18., 19., 20., 21., 22. saate ve risksiz varlığa yatırmalıdır.

3.5.1 Türkiye Taşkömürü Enerji Santrali Optimal Portföylerinin Performans Analizi ve Karşılaştırılması

Taşkömürü enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD optimizasyon modelleri ile optimizasyonlarda elde edilen 16 optimal portföyün Sharpe oranı, MRAG oranı, Sortino oranı ve Omega oranı ile performans ölçüm sonuçları Tablo 37, 38, 39 ve 40'da gösterilmiştir.

Tablo 37. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sharpe Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sharpe Oranı
MV Optimizasyonu	-0,2810	0,2899	0,3072	-0,1601	0,0390
DS Optimizasyonu	0,2987	0,2899	0,3070	0,3067	0,3006
SV Optimizasyonu	0,2905	0,2899	0,3071	0,3067	0,2986
MAD Optimizasyonu	-0,3174	0,2899	0,3070	0,0508	0,0826

Tablo 37'de taşkömürü enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylere ait Sharpe oranı değerleri ve optimizasyon modelleri bazlı ortalama Sharpe oranları gösterilmiştir. Sharpe oranı en yüksek portföy MV – MaxRAGOPort (0,3072) olarak

hesaplanmıştır. En düşük Sharpe oranına sahip portföy MAD optimizasyon modeli ile hesaplanan MinRiskPort portföyüdür (-0,3174). DS yaklaşımının ortalama Sharpe oranı 0,3006'dır. Sharpe oranı portföy performans ölçüm modeline göre en iyi performansı DS optimizasyon modeli göstermiştir. Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS > SV > MAD > MV sıralanmıştır.

Tablo 38. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Sortino Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Sortino Oranı
MV Optimizasyonu	-0,3345	0,6494	0,7048	-0,2108	0,2022
DS Optimizasyonu	0,6722	0,6494	0,7050	0,7021	0,6822
SV Optimizasyonu	0,6482	0,6482	0,7050	0,7021	0,6759
MAD Optimizasyonu	-0,3668	0,6494	0,7050	0,0827	0,2676

Tablo-38'de taşkömürü enerji piyasasında elde edilen 16 optimal portföye ait Sortino oranları gösterilmiştir. En iyi performansı 0,6822 ortalama Sortino oranı ile DS optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük Sortino oranı (-0,3668) MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MinRiskPort portföyünde hesaplanmıştır. DS – MaxRAGOPort, SV – MaxRAGOPort ve MAD – MaxRAGOPort en yüksek Sortino oranına (0,7050) sahiptir. Ortalama Sortino oranı (0,2022) en düşük optimizasyon modeli MV'dir.

Tablo 39. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin Omega Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama Omega Oranı
MV Optimizasyonu	-0,4789	1,0873	1,1823	-0,3101	0,3702
DS Optimizasyonu	1,1220	1,0873	1,1877	1,1729	1,1425
SV Optimizasyonu	1,0762	1,0873	1,1864	1,1729	1,1307
MAD Optimizasyonu	-0,5218	1,0873	1,1877	0,1285	0,7313

Tablo-39'da taşkömürü enerji piyasasında MV, DS, SV ve MAD yaklaşımları ile yapılan optimizasyonlarda elde edilen portföylere ait Omega oranları gösterilmiştir. DS optimizasyon modelinin ortalama Omega oranı 1,1425 olarak diğer optimizasyon modellerine göre en yüksek ölçülmüştür. Omega modelinde en iyi performansı DS

optimizasyon yaklaşımı göstermiştir. DS – MaxRAGOPort ve SV – MaxRAGOPort portföyleri omega modeline göre en iyi performansı gösteren portföylerdir (1,1877). Omega oranı modeline göre en düşük performansı gösteren portföy MV – MinRiskPort’tur (-0,4789). Ortalama Omega oranına göre en düşük performansı gösteren optimizasyon modeli MV’dir, ortalama Omega oranı 0,3702 olarak ölçülmüştür.

Tablo 40. Taşkömürü Enerji Piyasası Optimal Portföylerin MRAG Oranları

Optimizasyon Modelleri	Amaç Fonksiyonları				
	MinRiskPort	MaxGetiriPort	MaxRAGOPort	MaxFaydaPort A=3	Ortalama MRAG Oranı
MV Optimizasyonu	-0,3315	0,3424	0,3615	-0,1879	0,0461
DS Optimizasyonu	0,3507	0,3424	0,3622	0,3600	0,3538
SV Optimizasyonu	0,3404	0,3424	0,3620	0,3600	0,3512
MAD Optimizasyonu	-0,3754	0,3424	0,3622	0,0599	0,0973

Tablo 40’da taşkömürü enerji piyasasında hesaplanan optimal portföylerin MRAG oranları gösterilmiştir. MRAG oranına göre en yüksek performansı DS – MaxRAGOPort ve MAD - MaxRAGOPort (0,3622) göstermiştir. En düşük performansı MAD optimizasyonu ile hesaplanan MinRiskPort (-0,3754) göstermiştir. Ortalama MRAG oranı en yüksek model DS yaklaşımıdır (0,3538). MRAG oranı portföy performans modeline göre en iyi performansı DS optimizasyon modeli göstermiştir. En düşük performans MV optimizasyon modelinde ölçülmüştür (0,0461).

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında hidrolik ve güneş yenilenebilir enerji santralleri ve doğalgaz ve taşkömürü yenilenemez enerji santralleri baz alınarak MV, MAD, DS ve SV gibi 4 farklı finansal optimizasyon modeli, enerji piyasasına uyarlanmıştır. Optimizasyonlarda son iki yıla ait güncel Türkiye gün öncesi piyasası piyasa takas fiyatları kullanılmıştır. Her bir santral tipine 4 farklı amaç fonksiyonu (minimum risk, maksimum getiri, maksimum riske göre ayarlanmış getiri oranı ve maksimum fayda $A=3$) uygulanmış ve 64 optimal portföy üretilmiştir. Optimum portföylerin performanslarını ölçmek için Sharpe, MRAG, Sortino ve Omega oranı yaklaşımları kullanılmıştır. Optimal 64 portföyü değerlendirmek için 4 portföy performans ölçüm modeli ile 256 performans ölçümü yapılmıştır. Enerji piyasasındaki karar vericiler ölçüm sonuçları ve portföyü oluşturan varlık dağılımları hakkında bilgilendirilmiştir. Elektrik üreticilerinin enerji portföylerini temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları ile çeşitlendirmeleri önerilmiştir. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından seçilen hidrolik, güneş, doğalgaz ve taşkömürü enerjisi santralleri için optimizasyon simülasyonları yapılmıştır.

Çalışmada son dönem enerji fiyatlarındaki yüksek artışın optimizasyonlar üzerindeki etkisi karar vericilere gösterilmiştir. Her enerji piyasasına MV, MAD, DS ve SV optimizasyon modelleri ile elde edilen tüm optimal portföylerin yer aldığı etkin sınır eğrileri çizilmiş ve MinRiskPort, MaxGetiriPort, MaxRAGOPort ve MaxFaydaPort $A=3$ portföylerinin etkin sınır üzerindeki yerleri paylaşılmıştır. Ayrıca 64 optimal portföyün yüzdesel varlık dağılımları gösterilmiştir.

Hidrolik enerji piyasasında yapılan simülasyonlar kapsamında elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır:

- Sharpe oranı en büyük portföy MV – MaxRAGOPort (0,8383), en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (0,3685) olarak hesaplanmıştır.

- Ortalama Sharpe oranı en yüksek optimizasyon modeli SV (0,8278), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,6420)'dir.
- Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe $SV (0,8278) > DS (0,8275) > MAD (0,6754) > MV (0,6420)$ olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde hidrolik enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sharpe oranını referans aldığında MV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- Sortino oranı en büyük portföyler DS – MaxRAGOPort (5,1062) ve SV – MaxRAGOPort (5,1062)'tur. Sortino oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (0,8712) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Sortino oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (4,9245), en düşük optimizasyon modeli ise MV (3,0157)'dir.
- Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe $DS (4,9245) > SV (4,9198) > MAD (3,2877) > MV (3,0157)$ olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde hidrolik enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sortino oranını referans aldığında DS veya SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- Omega oranı en büyük portföyler DS – MaxRAGOPort (12,3934) ve SV – MaxRAGOPort (12,3934)'tur. Sortino oranı en küçük portföy ise MV – MinRiskPort (1,7722) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Omega oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (11,8623), en düşük optimizasyon modeli ise MV (6,8383)'dir.

- Ortalama Omega oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (11,8623) > SV (11,8412) > MAD (7,4629) > MV (6,8383) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde hidrolik enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Omega oranını referans aldığında DS veya SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- MRAG oranı en büyük portföy MAD – MaxRAGOPort (0,9849), en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (0,4360) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama MRAG oranı en yüksek optimizasyon modeli SV (0,9722), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,7556)'dir.
- Ortalama MRAG oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe SV (0,9722) > DS (0,9718) > MAD (0,7962) > MV (0,7556) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde hidrolik enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi MRAG oranını referans aldığında MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.

Günel enerjisi piyasasında yapılan simülasyonlar kapsamında elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır:

- Sharpe oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (1,0286) ve MAD - MaxRAGOPort (1,0286)'tur. Sharpe oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (0,6043) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Sharpe oranı en yüksek optimizasyon modeli SV (1,0136), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,8479)'dir.

- Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe $SV (1,0136) > DS (1,0084) > MAD (0,8819) > MV (0,8479)$ olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde güneş enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sharpe oranını referans aldığında MV veya MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- Sortino oranı en büyük portföy $SV - MaxRAGOPort (10,4933)$, en küçük portföy ise $MAD - MinRiskPort (2,0479)$ olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Sortino oranı en yüksek optimizasyon modeli $SV (9,9778)$, en düşük optimizasyon modeli ise $MV (6,1626)$ 'dir.
- Ortalama Sortino oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe $SV (9,9778) > DS (9,7409) > MAD (6,7890) > MV (6,1626)$ olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde güneş enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sortino oranını referans aldığında SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- Omega oranı en büyük portföy $DS - MaxRAGOPort (36,2765)$, en küçük portföy ise $MAD - MinRiskPort (4,0686)$ olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Omega oranı en yüksek optimizasyon modeli $SV (33,8773)$, en düşük optimizasyon modeli ise $MV (18,8924)$ 'dir.
- Ortalama Omega oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe $SV (33,8773) > DS (33,2640) > MAD (20,9294) > MV (18,8924)$ olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde güneş enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Omega oranını referans aldığında DS optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.

- MRAG oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (1,2091) ve MAD – MaxRAGOPort (1,2091)'tur. MRAG oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (0,7146) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama MRAG oranı en yüksek optimizasyon modeli SV (1,1903), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,9985)'dir.
- Ortalama MRAG oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe SV (1,1903) > DS (1,1832) > MAD (1,0399) > MV (0,9985) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde güneş enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi MRAG oranını referans aldığında MV veya DS optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.

Doğalgaz enerjisi piyasasında yapılan simülasyonlar kapsamında elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır:

- Sharpe oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (0,5137), DS – MaxRAGOPort (0,5137), SV – MaxRAGOPort (0,5137), DS – MaxFaydaPort (0,5137) ve SV – MaxFaydaPort A=3 olarak hesaplanmıştır. Sharpe oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-,0497) olarak hesaplanmıştır. MAD – MinRiskPort'tun getiri risksiz varlığın getirisinden düşük hesaplanmıştır.
- Ortalama Sharpe oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (0,5078), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,2744)'dir.
- Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (0,5078) > SV (0,5047) > MAD (0,3138) > MV (0,2744) olarak sıralanmıştır.

- Portföyünde doğalgaz enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sharpe oranını referans aldığında MV, DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a veya DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxFaydaPort A=3'e yatırım yapmalıdır.
- Sortino oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (1,6096), SV – MaxRAGOPort (1,6096), DS – MaxRAGOPort (1,6096), SV – MaxFaydaPort A=3 (1,6096) ve DS – MaxFaydaPort A=3 (1,6096) olarak hesaplanmıştır. Sortino oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,0729) olarak hesaplanmıştır. MAD – MinRiskPort'tun getiri risksiz varlığın getirisinden düşük hesaplanmıştır.
- Ortalama Sortino oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (1,5751), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,8129)'dir.
- Ortalama Sortino oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (1,5751) > SV (1,5555) > MAD (0,9148) > MV (0,8129) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde doğalgaz enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sortino oranını referans aldığında MV, DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a veya DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxFaydaPort A=3'e yatırım yapmalıdır.
- Omega oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (2,991), SV – MaxRAGOPort (2,991), DS – MaxRAGOPort (2,991), SV – MaxFaydaPort A=3 (2,991) ve DS – MaxFaydaPort A=3 (2,991) olarak hesaplanmıştır. Omega oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,1106) olarak hesaplanmıştır. MAD – MinRiskPort'tun getiri risksiz varlığın getirisinden düşük hesaplanmıştır.

- Ortalama Omega oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (2,9270), en düşük optimizasyon modeli ise MV (1,5006)'dir.
- Ortalama Omega oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (2,9270) > SV (2,8846) > MAD (1,6823) > MV (1,5006) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde doğalgaz enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Omega oranını referans aldığında MV, DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a veya DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxFaydaPort A=3'e yatırım yapmalıdır.
- MRAG oranı en büyük portföyler MV – MaxRAGOPort (0,6028), SV – MaxRAGOPort (0,6028), DS – MaxRAGOPort (0,6028), SV – MaxFaydaPort A=3 (0,6028) ve DS – MaxFaydaPort A=3 (0,6028) olarak hesaplanmıştır. MRAG oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,0588) olarak hesaplanmıştır. MAD – MinRiskPort'tun getiri risksiz varlığın getirisinden düşük hesaplanmıştır.
- Ortalama MRAG oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (0,5968), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,3229)'dir.
- Ortalama MRAG oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (0,5968) > SV (0,5929) > MAD (0,3698) > MV (0,3229) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde doğalgaz enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi MRAG oranını referans aldığında MV, DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a veya DS, SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxFaydaPort A=3'e yatırım yapmalıdır.

Taşkömürü enerjisi piyasasında yapılan simülasyonlar kapsamında elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır:

- Sharpe oranı en büyük portföy MV – MaxRAGOPort (0,3072), en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,3174) olarak hesaplanmıştır. MAD – MinRiskPort’un getirisi risk varlık getirisinden küçük olduğundan Sharpe oranı negatif bulunmuştur.
- Ortalama Sharpe oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (0,3006), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,0390)’dir.
- Ortalama Sharpe oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (0,3006) > SV (0,2986) > MAD (0,0826) > MV (0,0390) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sharpe oranını referans aldığında MV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort’a yatırım yapmalıdır.
- Sortino oranı en büyük portföyler DS – MaxRAGOPort (0,7050), SV – MaxRAGOPort (0,7050) ve MAD – MaxRAGOPort (0,7050) olarak hesaplanmıştır. Sortino oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,3668) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Sortino oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (0,6822), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,2022)’dir.
- Ortalama Sortino oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (0,6822) > SV (0,6759) > MAD (0,2676) > MV (0,2022) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Sortino oranını referans aldığında DS, SV veya MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort’a yatırım yapmalıdır.

- Omega oranı en büyük portföyler DS – MaxRAGOPort (1,1877) ve SV – MaxRAGOPort (1,1877) olarak hesaplanmıştır. Omega oranı en küçük portföy ise MV – MinRiskPort (-0,4789) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama Omega oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (1,1425), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,3702)'dir.
- Ortalama Omega oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (1,1425) > SV (1,1307) > MAD (0,7313) > MV (0,3702) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi Omega oranını referans aldığında DS veya SV optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.
- MRAG oranı en büyük portföyler DS – MaxRAGOPort (0,3622) ve MAD – MaxRAGOPort (0,3622) olarak hesaplanmıştır. MRAG oranı en küçük portföy ise MAD – MinRiskPort (-0,3754) olarak hesaplanmıştır.
- Ortalama MRAG oranı en yüksek optimizasyon modeli DS (0,3538), en düşük optimizasyon modeli ise MV (0,0461)'dir.
- Ortalama MRAG oranına göre optimizasyon modelleri büyükten küçüğe DS (0,3538) > SV (0,3512) > MAD (0,0973) > MV (0,0461) olarak sıralanmıştır.
- Portföyünde taşkömürü enerji santrali bulunan elektrik tedarikçisi MRAG oranını referans aldığında DS veya MAD optimizasyon modeli ile elde edilen MaxRAGOPort'a yatırım yapmalıdır.

Yenilenebilir güneş ve hidrolik, yenilenemez doğalgaz ve taşkömürü enerji kaynakları ile yapılan optimizasyonlar sonucu elde edilen optimal portföylere ait performans sonuçları elektrik piyasa oyuncuları ve akademik araştırmacılar için yukarıda paylaşılmıştır. Genel olarak her dört santral tipi için en performanslı optimizasyon modeli

DS olarak hesaplanmıştır. En düşük performanslı optimizasyon model ise genel olarak MV'dir.

Dört farklı santral tipine ait performanslar konsolide bir şekilde incelendiğinde birim elektrik üretim maliyetlerinin portföy performanslarını direk etkilediği görülmektedir. Birim üretim maliyetlerine göre santral tipleri büyükten küçüğe güneş (60 \$/MWh) > hidrolik (68 \$/MWh) > doğalgaz (82 \$/MWh) > taşkömürü (91 \$/MWh) olarak sıralanmıştır. Tüm portföy performans ölçüm modellerine göre optimal portföylerin performansları santral tiplerine göre büyükten küçüğe güneş > hidrolik > doğalgaz > taşkömürü olarak sıralanmıştır. Görüldüğü gibi santral tiplerine ait performanslar birim elektrik üretim maliyetleri ile ters orantılıdır. En performanslı santral tipleri yenilenebilir güneş ve hidrolik enerji santralleri olarak hesaplanmıştır.

Bu ampirik çalışma, fosil kaynakların oluşturduğu karbon salınımını kaynaklı iklim değişikliği vakasını azaltmak ve daha yaşanabilir bir dünya oluşturmak için enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik etmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen simülasyonların amacı enerji üretim endüstrisinde fosil kaynak kullanımını azaltarak sürdürülebilirliği sağlamak ve karar vericilerin bu bağlamda elektrik üretim portföylerini iyileştirmelerine olanak sağlayacak politikalar geliştirmelerine yardımcı olmaktır.

Sonuç olarak finansal optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan MV, MAD, DS ve SV modelleri elektrik piyasasına uyarlanmış ve elektrik piyasası portföy seçim probleminin çözümü için kullanılmıştır.

Çalışma sonuçları hem araştırmacılar hem de piyasa oyuncuları için derin bilgiler içermektedir. Bu bilgiler sayesinde karar vericilerin kendi belirledikleri senaryoların nasıl sonuç vereceğini tahmin etmeleri kolaylaşacaktır. Tez çalışmasında yer alan sonuçlar elektrik tedarikçilerinin karar destek sistemi kurmalarına yardımcı olacaktır. Ayrıca

Çalışmanın enerji piyasası optimizasyon literatürüne önemli katkılar sağlayacağı düşünölmektedir.

Gelecekte, alışma farklı optimizasyon modelleri, farklı dönemlere ait veri setleri ve farklı amaç fonksiyonları ile yenilenebilir ve fosil kaynaklar için farklılaştırılabilir. Bu şekilde birçok senaryo oluşturulabilir. Bu sayede kısıtlı literatür genişletilebilir ve piyasa oyuncularına ve araştırmacılara aydınlatıcı bilgiler sunulabilir.



KAYNAKÇA

- Adenle, A. A. (2020). Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals. *Energy Policy*, 137(111180). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111180>
- Ümit, K. O. Ç. (2021). Güneş Enerjisi ve Ekonomik Büyüme. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 515-533.
- IEA, I. (2011). World energy outlook 2011. *Int. Energy Agency*, 666.
- IEA (2021), Global Energy Review: CO2 emissions in 2020, understanding the impacts of covid-19 on global CO2 emissions, Retrieved from: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>, Access date: 06.05.2022
- Bhandari, B., Lee, K. T., Lee, G. Y., Cho, Y. M., & Ahn, S. H. (2015). Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 2(1), 99-112.
- Council, W. E. (2013). World energy resources. *London: World Energy Council*.
- Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.
- Nguyen, K. H., & Kakinaka, M. (2019). Renewable energy consumption, carbon emissions, and development stages: Some evidence from panel cointegration analysis. *Renewable Energy*, 132, 1049-1057.
- Çetinbakış, M., & Kutlu, Ş. Ş. (2022). Türkiye’de yenilebilir enerji tüketimi ve çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik büyüme üzerine etkisi. *Journal of Empirical Economics and Social Sciences*, 4(1), 20-38.
- Defusco, R. A., McLeavey, D. W., Pinto, J. E., & Runkle, D. E. (2004). Quantitative investment analysis. *John Wiley & Sons Inc*.
- Jasemi, M., Monplaisir, L., & Jam, P. A. (2019). Development of an efficient method to approximate the risk measure of lower partial moment of the first order. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 326-332.
- Bacon, C., & Chairman, S. (2009). How sharp is the Sharpe ratio? Risk-adjusted Performance Measures. *Statpro*, nd.
- Bogoçlu, G. Ö., & Neşe, S. V. (2022). Covid 19’un yenilenebilir enerji üzerine etkileri: Sistematik bir analiz. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 3(1), 9-16.
- CFI (2023), Corporate finance institute: What are the risk-adjusted return ratios?, Retrieved from:

<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/risk-adjusted-return-ratios/>, Access date: 15.09.2023

DEÜ (2023). Retrieved from: <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/dogal-gaz-ile-elektrik-uretimi> Erişim tarihi: 25.10.2023

Enerji Portal (2023). Retrieved from: <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/> Access date: 09.08.2023

Enerji Atlas (2023a). Retrieved from: <https://www.enerjiatlasi.com/hidroelektrik/> Access date: 13.08.2023

Enerji Atlas (2023b). Retrieved from: <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/> Access date: 16.08.2023

Enerji Atlas (2023c). Retrieved from: <https://www.enerjiatlasi.com/dogalgaz/> Access date: 30.08.2023

Enerji Atlas (2023d). Retrieved from: <https://www.enerjiatlasi.com/komur/> Access date: 10.09.2023

EPIAS (2023). Retrieved from: <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/ptf.xhtml> Access date: 21.07.2023

Lazard (2021). Lazard's levelized cost of energy analysis, version 15.0 Retrieved from: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/> Access date: 01.09.2021

Lazard (2023). Lazard's levelized cost of energy analysis, version 16.0 Retrieved from: <https://www.lazard.com/media/typdggxmm/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf> Access date: 25.08.2023

TCETKB (2023). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Retrieved from: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> Erişim Tarihi: 30.11.2023

Tiwari, M. K., Bajpai, S. ve Dewangan, U. K. (2019). Environmental issues in thermal power plants – Review in Chhattisgarh Context. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 10(11), 1123–1134.

Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2023). The levelized cost of energy and modifications for use in electricity generation planning. *Energy Reports*, 9, 495-534.

Faisal, F., Khan, M. N., Pervaiz, R., Muhamad, P. M., & Rashdan, M. O. J. (2021). Exploring the role of fossil fuels, hydroelectricity consumption, and financial sector in ensuring sustainable economic development in the emerging economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5953-5965.

- Fishburn, P. C. (1977). Mean-risk analysis with risk associated with below-target returns. *The American Economic Review*, 67(2), 116-126.
- Hariram, M., Sahu, R., Kumar, A. ve Elumalai, S. P. (2022). Impact of emissions from coal-based thermal power plants on surrounding vegetation and air quality over Bokaro Thermal Power Plant. *Asian Atmospheric Pollution*, 255–274.
- Huang, Y. H., & Wu, J. H. (2016). A portfolio theory based optimization model for steam coal purchasing strategy: A case study of Taiwan Power Company. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 22(2), 131-140.
- Ivanova, M., & Dospatliev, L. (2017). Application of Markowitz portfolio optimization on Bulgarian stock market from 2013 to 2016. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 117(2), 291-307.
- Ploetz, R., Rusdianasari, R., & Eviliana, E. (2016). Renewable energy: Advantages and disadvantages. In *Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST) 2016*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Güner, E. D., & Turan, E. S. (2017). The impact of renewable energy sources on global climate change. *Journal of Natural Hazards and Environment*, (3), 48-55.
- Karaaslan, A., & Aydın, S. (2020). Evaluation of renewable energy resources with multi criteria decision making techniques: evidence from Turkey. *Ataturk University Journal of Economics and Administrative Science*, 34(4), 1351-1375.
- Karabağ, N., Kayıkçı, C. B. Ç. K., & Öngen, A. (2021) % 100 Renewable energy transition towards the world and Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (21), 230-240.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Renewable energy in the world and Turkey. *İstanbul: SETA Yayınları*, 197.
- Keating, C. & Shadwick, W. F. (2002). A Universal Performance Measure. *Journal of performance measurement*, 6(3), 59-84.
- King, D. (2007). Portfolio optimisation and diversification. *Journal of Asset Management*, 8(5), 296-307.
- Gökgöz, F. (2009). Mean variance optimization via factor models in the emerging markets: Evidence on the Istanbul stock exchange. *Investment Management and Financial Innovations*, 6(3), 43–53.
- Gökgöz, F., & Günel, M. O. (2012). Portfolio performance analysis of Turkish mutual funds. *Ankara University Journal of Social Sciences*, 3(2).

- Gökgöz, F. & Atmaca M. E. (2012). Financial optimization in the Turkish electricity market: Markowitz's mean-variance approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, 357-368.
- Gökgöz, F. & Atmaca M. E. (2013). Optimal asset allocation in the Turkish electricity market: down-side vs semi-variance risk approach. In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol. I, 348-353.
- Gökgöz, F. , Atmaca, M. (2016). Financial portfolio optimization in electricity markets: evaluation via Sharpe ratio. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 119, *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 10(11), 3401 - 3409.
- Gökgöz, F. & Atmaca M. E. (2017a). Portfolio optimization under lower partial moments in emerging electricity markets: evidence from Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 437-449.
- Gökgöz, F., & Atmaca, M. E. (2017b). An optimal asset allocation in electricity generation market for the policy makers and stakeholders. In *Handbook of Research on Managerial Solutions in Non-Profit Organizations* (pp. 448-482). IGI Global.
- Gökgöz, F., & Erdoğan, A. Y. (2021). Investigating the electricity portfolio optimization for renewable energy sources. In *Renewable Energy for Mitigating Climate Change* (pp. 55-83). CRC Press.
- Gökgöz, F., & Erdoğan, A. Y. (2022). Financial optimization in the renewable energy sector. In *Mitigating Climate Change* (pp. 119-155). Springer, Cham.
- Gökgöz, F., & Erdoğan, A. Y. (2023). Analyzing the portfolio optimization models in the solar energy sector. In *Progress in Sustainable Development* (pp. 115-154). Elsevier.
- Sharpe, W. F. (1966). Mutual fund performance. *The Journal of business*, 39(1), 119-138.
- Statman, M. (1987). How many stocks make a diversified portfolio? *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 353-363.
- Copeland TE, Weston JF, Shastri, K. (2005). Financial theory and corporate policy. 4th edition. Addison Wesley Pearson.
- Liu, M., & Wu, F. F. (2006). Managing price risk in a multimarket environment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(4), 1512-1519.

- Konno, H., & Yamazaki, H. (1991). Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market. *Management Science*, 37(5), 519-531.
- Konno, H., & Koshizuka, T. (2005). Mean-absolute deviation model. *IIE Transactions*, 37 (10), 893-900.
- Simaan, Y. (1997). Estimation risk in portfolio selection: the mean variance model versus the mean absolute deviation model. *Management Science*, 43(10), 1437-1446.
- Sortino, F. A., & Price, L. N. (1994). Performance measurement in a downside risk framework. *the Journal of Investing*, 3(3), 59-64.
- Şeneren, M. (2022). Kentlerde ısınma kaynaklı karbon ayak izi azaltımında termik santrallerin atık ısısının kullanımı= Use of waste heat od thermal plants in carbon footprint reduction by heating in cities (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Kardiyen, F. (2007). A study on portfolio optimization with linear programming and its application to IMKB data. *Atatürk University Journal of Economics and Administrative Science*, 21(2), 15-28.
- Kardiyen, A. G. F. (2008). The use of mean absolute deviation model and Markowitz model in portfolio optimization and its application to IMKB data. *Süleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics Administrative Sciences*, 13(2), 335-350.
- Kasenbacher, G., Lee, J., & Euchukanonchai, K. (2017). Mean-variance vs. mean-absolute deviation: A performance comparison of portfolio optimization models. *University of British Columbia*.
- Grootveld, H., & Hallerbach, W. (1999). Variance vs downside risk: Is there really that much difference?. *European Journal of operational research*, 114(2), 304-319.
- Roy, A. D. (1952). Safety first and the holding of assets. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 431-449.
- Yu, Z. (2007). Spatial energy market analysis using the semi-variance risk measure. *Electrical Power and Energy Systems*, 29(8), 600–608.
- Byström, H. N. (2003). The hedging performance of electricity futures on the Nordic power exchange. *Applied Economics*, 35(1), 1-11.
- Dahlgren, R., Liu, C. C., & Lawarree, J. (2003). Risk assessment in energy trading. *IEEE Transactions on Power Systems*, 18(2), 503-511.
- LeCompte, Richard L.B. (2008). Portfolio theory, encyclopedia of public administration and public policy. NY & London: Taylor & Francis.

- Liu, M. (2004). Energy allocation with risk management in electricity markets (PhD dissertation). *Hong Kong: Department of Electrical and Electronical Engineering, The University of Hong Kong.*
- Liu, M., & Wu, F. F. (2006). Managing price risk in a multimarket environment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(4), 1512-1519.
- Liu, M., & Wu, F. F. (2007a). Portfolio optimization in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 77(8), 1000-1009.
- Liu, M., & Wu, F. F. (2007b). Risk management in a competitive electricity market. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 29(9), 690-697.
- Feng, D., Gan, D., Zhong, J., & Ni, Y. (2007). Supplier asset allocation in a pool-based electricity market. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(3), 1129-1138.
- Grootveld, H., & Hallerbach, W. (1999). Variance vs downside risk: Is there really that much difference?. *European Journal of operational research*, 114(2), 304-319.
- Mansini R., Ogryczaki W. and Speranza M. G. (2003) Lp solvable models for portfolio optimization: A classification and computational comparison, *IMA Journal of Management Mathematics*, 14, ss.187 220.
- Munoz, J. I., de la Nieta, A. A. S., Contreras, J., & Bernal-Agustín, J. L. (2009). Optimal investment portfolio in renewable energy: The Spanish case. *Energy Policy*, 37(12), 5273-5284.
- Pindoriya, N. M., Singh, S. N., & Singh, S. K. (2010). Multi-objective mean–variance–skewness model for generation portfolio allocation in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 80(10), 1314-1321
- Özcan, E. C., & Eren, T. (2014). Bakım planlamasında topsis yöntemi uygulaması: doğalgaz kombine çevrim santrali örneği. *International Journal of Engineering Research and Development*, 6(2).
- Kazempour, S. J., & Moghaddam, M. P. (2011). Risk-constrained self-scheduling of a fuel and emission constrained power producer using rolling window procedure. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(2), 359-368.
- Bhattacharya, A., & Kojima, S. (2012). Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method. *Energy Policy*, 40, 69-80
- Suksonghong, K., Boonlong, K., & Goh, K. L. (2014). Multi-objective genetic algorithms for solving portfolio optimization problems in the electricity market. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 58, 150-159.

- Boroumand, R. H., Goutte, S., Porcher, S., & Porcher, T. (2015). Hedging strategies in energy markets: The case of electricity retailers. *Energy Economics*, 51, 503-509.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2016). Optimizing plant size in the planning of renewable energy portfolios. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 9(2), 169-187.
- Cucchiella, F.; Gastaldi, M.; Trosini, M. (2017). Investments and cleaner energy production: A portfolio analysis in the Italian electricity market. *Journal of Cleaner Production*, 142: 121-132.
- deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Antelo, S. I., & Soares, I. (2017). Energy planning and modern portfolio theory: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 636-651.
- Martinez-Fernandez, P., deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., & Soares, I. (2018). Pollutant versus non-pollutant generation technologies: A CML-analogous analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 20(1), 199-212.
- Martinez-Fernandez, P., deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., & Soares, I. (2019). Assessing Renewable Energy Sources for Electricity (RES-E) Potential Using a CAPM-Analogous Multi-Stage Model. *Energies*, 12(19), 3599.
- Kim, Juhan; Kim, Jinsoo. (2018) Optimal portfolio for LNG importation in Korea using a two-step portfolio model and a fuzzy analytic hierarchy process. *Energies*, 11.11: 3049.
- Wattoo, W. A., Kaloi, G. S., Yousif, M., Baloch, M. H., Zardari, B. A., Arshad, J., Farid, G., Younas, T., & Tahir, S. (2020). An optimal asset allocation strategy for suppliers paying carbon tax in the competitive electricity market. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15(1), 193-203.
- Yu, Z. (2002). Spatial energy market analysis. Part I: An introduction to downside risk measures. *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*. IEEE.
- Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., & Chen, Y. (2011). Particle swarm optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10161-10169.

ÖZET

ELEKTRİK PİYASALARINDA OPTİMİZASYON MODELLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Nüfusun artış hızının, teknolojik gelişmelerin ve sanayileşmenin artması enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Yeryüzünde kısıtlı seviyede bulunan fosil kaynaklardan elde edilen enerji, enerji tüketimini karşılamamakta ve üretim ile tüketim arasında dengesizliklere sebep olmaktadır. Fosil kaynakların çevre kirliliği, iklim değişikliği gibi olumsuz etkileri zamanla ekolojik dengenin bozulmasına sebep olacaktır. Fosil kaynaklara alternatif olarak temiz enerji üretimi sağlayan yenilenebilir kaynaklar sürdürülebilir alternatif enerji kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Pandemi sonrası enerji fiyatlarındaki ani yükseliş, fosil kaynaklarda dış ülkelere bağımlılık gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi devlet teşvikleri ile beraber daha da artmaktadır. Elektrik tedarikçileri üretim kapasitelerini ve teklif stratejilerini optimize ederek kısıtlı kaynaklar ile elektrik üretimlerini optimal seviyede tutabilirler. Bu amprik tez çalışmasında optimal elektrik üretiminin sağlanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik ve güneş enerji santrallerine ve yenilenemez enerji kaynaklarından doğalgaz ve taşkömürü enerji santrallerine dört farklı finansal optimizasyon modelleri (MV, MAD, DS ve SV) uygulanmıştır. Optimizasyon modellerine yatırım üst limit kısıtı ve ikili sözleşme kaynaklı risksiz varlık eklenmiştir. Her bir optimizasyon modeline minimum risk, maksimum getiri, maksimum riske göre ayarlanmış getiri oranı ve maksimum fayda $A=3$ amaç fonksiyonları uygulanmış ve toplamda 64 optimal portföy elde edilmiştir. Optimal portföylerin performansları Sharpe oranı, Sortino oranı, Omega oranı ve MRAG oranı modelleri ile ölçülmüştür. Optimal 64 portföyü değerlendirmek için 4 portföy performans ölçüm modeli ile 256 performans ölçümü yapılmıştır. Tüm portföy performans ölçüm modellerine göre optimal portföylerin performansları santral tiplerine göre büyükten küçüğe güneş > hidrolik >

doğalgaz > taşkömürü olarak sıralanmıştır. Ayrıca her santral tipi içi elde edilen optimal portföyler kendi içerisinde optimizasyon modeli çerçevesinde karşılaştırılmış ve sonuçlar piyasa karar vericilerinin karar destek sistemi kurabilmeleri için paylaşılmıştır. Elektrik üreticilerine üretim portföylerine temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını eklemeleri için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: finansal optimizasyon modelleri, portföy performans ölçüm modelleri, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları



ABSTRACT

ANALYSIS AND EVALUATION OF OPTIMIZATION MODELS IN ELECTRICITY MARKETS

The increase in population growth rate, technological developments, and industrialization leads to an increase in energy consumption. The energy obtained from fossil resources, which are limited on earth, does not meet energy consumption and causes imbalances between production and consumption. The adverse effects of fossil resources, such as environmental pollution and climate change, will cause the ecological balance to deteriorate over time. As an alternative to fossil resources, renewable resources that provide clean energy production stand out as sustainable alternative energy sources. Due to the sudden rise in energy prices after the pandemic and dependence on foreign countries for fossil resources, energy production from renewable resources is increasing with government incentives. Electricity suppliers can keep their electricity production at an optimal level with limited resources by optimizing their production capacities and bidding strategies. In this empirical thesis, four different financial optimization models (MV, MAD, DS, and SV) are applied to renewable energy sources, such as hydroelectric and solar power plants, and non-renewable energy sources, such as natural gas and hard coal power plants, to ensure optimal electricity generation. Investment upper limit constraint and bilateral contract-induced risk-free assets were added to the optimization models. Minimum risk, maximum return, maximum risk-adjusted rate of return, and maximum utility $A=3$ objective functions were applied to each optimization model, and a total of 64 optimal portfolios were obtained. The performance of the optimal portfolios was measured using the Sharpe ratio, Sortino ratio, Omega ratio, and MRAG ratio models. In order to evaluate the 64 optimal portfolios, 256 performance measurements were made with four portfolio performance measurement models. According to all portfolio performance measurement models, the performances of the optimal portfolios

are ranked as solar > hydro > natural gas > hard coal from largest to smallest according to power plant types. In addition, the optimal portfolios obtained for each power plant type are compared within the framework of the optimization model, and the results are shared for market decision-makers to build a decision support system. Recommendations are made to electricity suppliers to add renewable energy sources to their generation portfolios.

Keywords: financial optimization models, portfolio performance measurement models, renewable and non-renewable energy resources

