Bir Altın Ve Gümüş Madeni Açık Ocağında Kullanılan Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Sarfiyatları ve Yük Miktarlarının İPK Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Ali Döken

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2026

Evaluation of Fuel Consumption and Payload Capacities of Haul Truks Used In An Open-Pit Gold and Silver Mine Using The SPC Method

Ali Döken

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mining Engineering

January 2026

Bir Altın Ve Gümüş Madeni Açık Ocağında Kullanılan Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Sarfiyatları ve Yük Miktarlarının İPK Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Ali Döken

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Hamdi AKÇAKOCA
Ocak 2026

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ali DÖKEN'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bir Altın Ve Gümüş Madeni Açık Ocağında Kullanılan Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Sarfiyatları ve Yük Miktarlarının İPK Yöntemi İle Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

Üye: Prof. Dr. Melih İPHAR

Üye: Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Hamdi Akçakoca danışmanlığında hazırlamış olduğum "Bir Altın Ve Gümüş Madeni Açık Ocağında Kullanılan Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Sarfiyatları Ve Yük Miktarlarının İPK Yöntemi İle Değerlendirilmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 02/02/2026

Ali Döken

T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIMI BEYAN FORMU

Bu tezi/projeyi hazırlarken aşağıdaki Üretken Yapay Zekâ (ÜYZ) araçlarından destek aldığımı beyan ederim:

Aşağıdaki ÜYZ araçlarını kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir)

☐ Claude
☑ ChatGPT
☐ DeepSeek
☐ Gemini
☐ Copilot
☐ Diğer (Belirtiniz): .....

ÜYZ araçlarını tezimin/projemin aşağıdaki aşamalarında ilgili amaçlar için kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

☑ Metin oluşturma
☐ Literatür tarama
☑ Çeviri
☑ Düzenleme/dil kontrolü
☐ Veri işleme ve analizi
☐ Veri görselleştirme
☑ Görüntü üretme
☐ Kaynakça düzenleme
☑ Diğer (Belirtiniz): Summary grammer kontrolü.

Bu çalışmada ÜYZ kullanımı ***Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber***'e ve akademik dürüstlük ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup ÜYZ araçlarından alınan destek etik kurallar ve kaynak gösterme esaslarına uygun biçimde belirtilmiştir.

ÜYZ araçlarının sağladığı bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi, yanlış veya eksik bilgi bulunması halinde tüm sorumluluğun tarafıma ait olduğunu; ayrıca çalışmamla ilgili bu beyana aykırı bir durumun herhangi bir zamanda tespit edilmesi durumunda ortaya çıkabilecek akademik ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi beyan ederim.

503620230008

Ali Döken

17/03/2026

ÖZET

Altın ve gümüş açık maden işletmelerinde kazı, yükleme ve nakliyat faaliyetleri; toplam üretim maliyetleri, enerji tüketimi ve operasyonel verimlilik üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle altın madenciliğinde olduğu gibi düşük tenörlü cevherlerin büyük hacimlerde taşınması, nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatlarının ve taşınan yük miktarlarının sistematik olarak izlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, Orta Anadolu Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir altın ve gümüş madeni açık ocağında kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimleri ile taşınan yük miktarları, İPK yöntemlerinden Shewhart kontrol kartları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, üretim patlatmaları sonucunda oluşan farklı tane boyut dağılımlarına sahip yığınlardan yüklenen kamyonlara ait yük miktarı ve mazot sarfiyatı verileri belirli zaman aralıklarında toplanmıştır. Tüm kamyonlar aynı güzergâh üzerinde döküm noktasına taşımacılık gerçekleştirmiştir. Elde edilen veriler $\bar{X}$–R kontrol kartları yardımıyla analiz edilerek sürecin kalitesinin kontrol altında olup olmadığı incelenmiş, değişkenliklerin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığı ortaya konulmuş ve yorumlanmıştır.

Analiz sonuçları, nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatlarının ve taşınan yük miktarlarının, patlatma sonrası yığının özellikleri ve operasyonel koşullara duyarlı olduğunu göstermektedir. İPK yöntemlerinin kullanılmasıyla, nakliyat süreçlerinde verimlilik artışı sağlanabileceği ve yakıt tüketimine bağlı maliyetlerin azaltılmasına yönelik önemli iyileştirme alanlarının belirlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Altın ve gümüş madeni, Açık ocak işletmeciliği, Nakliyat kamyonları, Yakıt sarfiyatı, Yük miktarı, İPK, Shewhart kontrol kartları

SUMMARY

In gold and silver open-pit mining operations, excavation, loading, and haulage activities play a decisive role in total production costs, energy consumption, and operational efficiency. Particularly, the transportation of large volumes of low-grade ore necessitates systematic monitoring of fuel consumption and hauled load amounts of haul trucks. In this study, the fuel consumption and carried load quantities of haul trucks used in a gold and silver open-pit mine operating in the Central Anatolia Region were evaluated using Shewhart control charts, one of the statistical process control methods.

Within the scope of the study, data on load amounts and diesel fuel consumption of haul trucks loaded from muck piles with different particle size distributions formed after production blasting were collected at regular intervals. All trucks transported the material along the same haulage route to the dumping point. The obtained data were analyzed using $\bar{X}$–R control charts to determine whether the process was statistically under control, and to identify whether variations in fuel consumption originated from common causes or special causes.

The analysis results indicate that the fuel consumption of haul trucks is sensitive to the carried load amount, the characteristics of the post-blasting muck pile, and operational conditions. It is concluded that the application of SPC methods can enhance efficiency in haulage operations and reveal significant improvement opportunities for reducing fuel consumption–related costs.

Keywords: Gold and silver mine, Open-pit mining, Haul trucks, Fuel consumption, Load amount, SPC, Shewhart control charts

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması, yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde bilgi, deneyim ve değerli görüşleriyle bana yol gösteren, akademik desteğini ve katkılarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Hamdi AKÇAKOCA'ya içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın her aşamasında yapıcı eleştirileri ve yönlendirmeleriyle bilimsel bakış açımı geliştirmeme önemli katkılar sağlamıştır.

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, önerileriyle çalışmanın gelişmesine katkı sunan tüm Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine ve sayın tez jüri üyelerimize teşekkür ederim. Ayrıca, saha çalışmalarının gerçekleştirilmesinde veri temin edilmesine imkân sağlayan ve gerekli desteği sunan ilgili işletme yetkililerine ve çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Bu süreçte her zaman yanımda olan, sabırları ve manevi destekleriyle motivasyonumu artıran aileme ve emeği geçen tüm dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vii**
SUMMARY ..... **viii**
TEŞEKKÜR ..... **ix**
İÇİNDEKİLER ..... **x**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xv**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**
2.1. Altın-Gümüş Açık Ocak Madenciliği 5
2.2. Açık Ocak Maden Ocağında Taşıma 6
2.3. Yakıt Sarfiyatı ve Nakliyat Kamyonlarının Operasyonel Davranışları 7
2.3.1. Yakıt Tüketimi 7
2.3.2. Nakliyat Kamyonlarında Güzergâh Planlaması ve Yakıt Tüketimi 9
2.3.3. Açık Ocak Madenlerinde Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Yol Koşulları 11
2.4. Nakliyat Kamyonlarında Yakıt Tüketiminin Teorik Olarak Hesaplanması 14
2.4.1. Nakliye İşleminde Kullanılan Kamyonların Özellikleri (1.Tip-2.Tip) 17
2.5. İPK Teorisi ve Kontrol Kartlarının Gelişimi 18
2.6. I–MR Kontrol Kartları ve İPK Sabitleri 20
2.7. Madencilikte İPK Uygulamalarına İlişkin Literatür 20
2.8. 1.Tip ve 2.Tip Kamyonlarında Yakıt Sarfiyatı Davranışının , Değerlendirilmesi 20
2.9. Literatür Boşluğu ve Tezin Katkısı 21
3. MATERYAL VE YÖNTEM **23**
3.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı 23
3.2. Araştırmanın Türü ve Yaklaşımı 24
3.3. Çalışma Alanı ve İşletmenin Genel Özellikleri 24
3.4. Verilerin Toplanması 26
3.5. Veri Ön İşleme ve Hesaplamalar 27

3.5.1. İPK Kontrol Kartı Hesaplamaları 29
3.5.2. I–MR Kontrol Kartı Limitlerin Hesaplanması 29
3.6. Veri Analizi Yöntemi 31
3.7. Nakliyat Sürecinin İPK Değerlendirilmesi 31
3.8. Analizlerin Katkısı 32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 33
4.1. 1.Tip Kamyonların Yakıt Kullanımı Tüketimi İPK (Shewhart) Bulgular 33
4.2. 1.Tip Kamyonlarının Kendi İçinde Karşılaştırmalı İPK Değerlendirmesi 76
4.3. 2.Tip Kamyonlarına Ait Yakıt Kullanımı Üzerine Shewhart – İPK Bulguları 78
4.4. 2.Tip Kamyonlarının Kendi İçinde Karşılaştırmalı İPK Değerlendirmesi 108
4.5. 1.Tip ve 2.Tip Kamyonların İşletmedeki Yakıt Sarfiyatlarının İPK Verileri Kapsamında Karşılaştırılması 109
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 112
KAYNAKLAR DİZİNİ 115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1.Tipik Bir Açık Ocak Nakliyat Kamyonunun Şematik Gösterimi ve Kamyon Performansını Etkileyen Temel Parametreler 15
3.1. Açık Ocak Sahası Maden Çalışma Alanı 25
3.2. Açık Ocak Sahası ve Nakliye Yolu 25
3.3. Açık Ocak –Tesis Nakliye Yolu 26
4.1. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 47
4.2. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 49
4.3. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 53
4.4. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 54
4.5. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 58
4.6. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 59
4.7. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 63
4.8. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 64
4.9. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 69
4.10. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 70
4.11. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 74
4.12. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 75
4.13. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 81
4.14. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 82
4.15. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 85
4.16. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 86
4.17. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 90
4.18. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 91
4.19. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 95
4.20. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 96
4.21. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 100
4.22. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 101
4.23. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km) 105
4.24. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton) 106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. IRI ve Yakıt Tüketimi Arasındaki İlişki Tablosu 14
2.2. İncelenen Kamyon Tiplerine Ait Teknik Özellikler 18
3.1. İPK Kontrol Kartı Sabit Tablosu (Shewhart Sabitleri) 28
4.1. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 33
4.2. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 34
4.3. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun Hesaplanmış MR Çizelgesi 36
4.4. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun Toplam Taşıdığı Yük Çizelgesi 39
4.5. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun L/ton Çizelgesi. 40
4.6. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun L/ton Çizelgesi. 42
4.7. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 44
4.8. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I - MR Verileri (lt/ton) 45
4.9. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 50
4.10. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 51
4.11. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 51
4.12. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 52
4.13. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 56
4.14. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 57
4.15. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 57
4.16. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 57
4.17. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 61
4.18. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 62
4.19. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 62
4.20. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 62
4.21. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 67
4.22. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 67
4.23. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 67
4.24. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 68
4.25. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 72
4.26. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 72
4.27. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 72
4.28. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 73
4.29. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 79
4.30. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 79
4.31. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 79
4.32. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 80
4.33. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 83
4.34. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 84
4.35. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km) 84
4.36. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton) 84
4.37. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 88

"ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)"

4.38. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 89
4.39. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)..... 89
4.40. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)..... 89
4.41. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 93
4.42. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 94
4.43. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)..... 94
4.44. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)..... 94
4.45. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 98
4.46. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 99
4.47. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)..... 99
4.48. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)..... 99
4.49. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 103
4.50. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri 104
4.51. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)..... 104
4.52. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)..... 104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
(\bar{X})	Sürecin aritmetik ortalaması (merkez çizgi)
CL	Merkez çizgi (Center Line)
UCL	Üst kontrol limiti (Upper Control Limit)
LCL	Alt kontrol limiti (Lower Control Limit)
MR	Hareketli aralık (Moving Range)
(\overline{MR})	Hareketli aralıkların ortalaması
σ	Süreç standart sapması
d_2	Hareketli aralık sabiti
D_3	MR kartı alt limit sabiti
D_4	MR kartı üst limit sabiti
Cp	Süreç yeterlilik indeksi
Cpk	Süreç performans indeksi
n	Örneklem büyüklüğü
L/km	Litre / kilometre yakıt tüketim birimi
ton	Taşınan yük miktarı
km	Taşıma mesafesi
L/ton	Litre / taşınan yük miktarı

Kısaltmalar	**Açıklama**
SPC	Statistical Process Control
İPK	İstatistiksel Proses Kontrol
I–MR	Bireysel – Hareketli Aralık Kontrol Kartları
$\bar{X}$	Ortalama Kontrol Kartı
MR	Moving Range (Hareketli Aralık)
DOE	Department of Energy
BREE	Bureau of Resources and Energy Economics
AIAG	Automotive Industry Action Group
AusIMM	Australasian Institute of Mining and Metallurgy
ECOS	Energy Conversion and Optimization Symposium
km/saat	Kilometre / saat
L	Litre
APA	American Psychological Association

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Son yıllarda yakıt maliyetlerindeki artış, enerji verimliliğini dünya genelinde tüm endüstriyel sektörler için stratejik bir öncelik hâline getirmiştir. Enerji yoğun bir sektör olan madencilik, özellikle büyük hacimlerde malzeme taşınan açık ocak işletmelerinde bu durumdan doğrudan etkilenmektedir. Bureau of Resources and Energy Economics (BREE, 2014) tarafından yayımlanan verilere göre, madencilik sektörü 2013–2014 döneminde Avustralya'nın toplam ulusal enerji tüketiminin yaklaşık %11'ine karşılık gelen 450 PJ enerji tüketmiştir. Madencilik faaliyetlerinde enerji; kazı, yükleme, nakliyat, havalandırma, susuzlaştırma, kırma ve öğütme gibi çok sayıda farklı süreçte kullanılmaktadır (Department of Energy [DOE], 2012).

Açık ocak altın ve gümüş madenlerinde, düşük tenörlü cevherlerin büyük miktarlarda taşınma zorunluluğu, nakliyat faaliyetlerini toplam enerji tüketimi ve işletme maliyetleri açısından kritik bir konuma getirmektedir. Açık ocak madenciliğinde en yaygın kullanılan üretim ve taşıma yöntemi, kamyon-ekskavatör sistemidir.(Beatty ve Arthur, 1989; Beckman, 2012). Bu sistemde görev yapan nakliyat kamyonları, madencilik işletmelerindeki toplam yakıt tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve dolayısıyla üretim maliyetleri ile operasyonel verimlilik üzerinde doğrudan etkiye sahip olmaktadır (Sahoo vd., 2010a; DOE, 2012). Bu nedenle, nakliyat süreçlerinde enerji verimliliğinin artırılması hem ekipman üreticilerinin hem de büyük ölçekli madencilik şirketlerinin öncelikli araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir (Chingooshi vd., 2010).

Nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi; taşınan yük miktarı, kamyon hızı, yol eğimi, yuvarlanma direnci ve operasyonel koşullar gibi birbiriyle etkileşimli çok sayıda parametreye bağlı olarak değişmektedir. Antoung ve Hachibli (2007), madencilik ekipmanlarında motor verimliliğini artırmaya yönelik enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin uygulanmasını incelemiş ve sürtünme kayıplarının azaltılmasının yakıt tüketimi üzerinde önemli bir iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Beatty ve Arthur (1989), çevrim süresi ve maden planlaması gibi operasyonel parametrelerin kamyon yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini araştırarak, enerji kullanımını en aza indiren optimum değerleri belirlemiştir. Carmichael vd. (2014), açık ocak madenlerinde kamyon yakıt tüketiminin maliyetler ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiş; ancak

simülasyon tabanlı yaklaşımların gerçek saha koşullarını tam olarak yansıtamadığını belirtmiştir. Benzer şekilde Coyle (2007), patlatma uygulamalarına bağlı olarak değişen yük yoğunluğunun kamyon yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini analiz ederek, parçalanma özelliklerinin enerji kullanımı açısından önemini vurgulamıştır.

Literatürde yer alan çalışmaların büyük bir bölümü, kamyon yakıt tüketiminin tahmin edilmesine yönelik teorik veya simülasyon tabanlı modellere dayanmaktadır. Bu modeller genellikle kamyon üreticileri tarafından sağlanan rimpull–hız–eğim eğrileri kullanılarak geliştirilmektedir (Alarie & Gamache, 2002; Beckman, 2012; Caterpillar, 2013). Ancak gerçek saha koşullarında yük, hız ve yol direnci gibi parametrelerin eş zamanlı ve dinamik olarak değişmesi, yakıt tüketiminin doğru ve güvenilir biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, saha verilerine dayalı ve süreci doğrudan izleyebilen yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Günümüz rekabet ortamında, madencilik işletmeleri için sistematik kalite kontrolü ve performans değerlendirmesi vazgeçilmez bir gereklilik hâline gelmiştir. Geçmişte rastlantısal denetimlere dayanan kalite kontrol anlayışı, zamanla bilimsel ve istatistiksel yöntemlere dayalı çağdaş yaklaşımlara evrilmiştir (Sezgin, 2006; Kaya, 2005). Güncel kalite kontrol yaklaşımları, yalnızca nihai çıktının denetlenmesini değil, üretim sürecini etkileyen tüm faktörlerin sürekli ve sistematik olarak izlenmesini kapsamaktadır (Aslan, 2001; Imai, 1997). Bu doğrultuda performans değerlendirme çalışmaları, işletmelerde operasyonel yönetimin temel unsurlarından biri hâline gelmiştir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2005).

İstatistiksel proses kontrol (İPK), süreçlerin zaman içerisindeki değişkenliğini kontrol grafikleri yardımıyla izleyerek sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemeye olanak tanıyan etkili bir yöntemdir. İPK, süreçte meydana gelen değişimlerin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığını ayırt ederek, iyileştirme çalışmalarına bilimsel bir temel sunmaktadır. Bu yaklaşım, değişkenliğin yüksek olduğu açık ocak madenciliği gibi sektörlerde yakıt tüketimi ve optimum yük miktarının taşınmasının izlenmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, bir altın ve gümüş madeni açık ocağında kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatları ve taşınan yük miktarları İPK yöntemleri kullanılarak

değerlendirilmiştir. Analizlerde Shewhart kontrol kartları kapsamında yer alan $\bar{X}$–R kontrol kartları kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, nakliyat sürecinin istatistiksel kararlılığını ortaya koymak, yakıt tüketimindeki değişkenliği taşınan yük miktarına bağlı olarak analiz etmek ve altın–gümüş açık ocak işletmeleri için uygulanabilir iyileştirme alanlarını belirlemektir.

i. Çalışmanın Amacı:

Bu çalışmanın temel amacı, bir altın ve gümüş madeni açık ocağında gerçekleştirilen nakliyat faaliyetlerinde kullanılan kamyonların yakıt sarfiyatları ve taşınan yük miktarlarını İPK yöntemi kullanarak değerlendirmektir. Bu kapsamda, nakliyat sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı Shewhart kontrol kartları kapsamında yer alan $\bar{X}$–R kontrol kartları yardımıyla incelenmiştir.

Çalışma ile nakliyat kamyonlarının yakıt tüketiminde meydana gelen değişkenliğin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığının belirlenmesi, yakıt tüketimine bağlı maliyetleri etkileyen temel faktörlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, elde edilen bulgular doğrultusunda açık ocak altın ve gümüş madenciliğinde enerji verimliliğinin artırılmasına ve nakliyat süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik uygulanabilir öneriler geliştirilmesi hedeflenmiştir.

ii. Çalışmanın Önemi:

Madencilik sektöründe artan enerji maliyetleri ve sürdürülebilirlik gereksinimleri, özellikle açık ocak işletmelerinde enerji tüketiminin etkin biçimde yönetilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Nakliyat faaliyetleri, açık ocak madenciliğinde toplam enerji tüketiminin ve işletme maliyetlerinin en yüksek olduğu süreçlerden biri olup, bu süreçte kullanılan kamyonların yakıt sarfiyatlarının kontrol altına alınması işletme performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, nakliyat süreçlerinin bilimsel ve sistematik yöntemlerle değerlendirilmesi, hem maliyetlerin azaltılması hem de operasyonel verimliliğin artırılması açısından gereklidir.

Bu çalışma, açık ocak altın ve gümüş madenciliğinde nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi ve taşınan yük miktarlarını İPK yöntemiyle ele alarak literatürde sınırlı sayıda bulunan uygulamalı çalışmalara katkı sağlamaktadır. Özellikle Shewhart kontrol kartları kapsamında yer alan $\bar{X}$–R kontrol kartlarının gerçek saha verileri üzerinde uygulanması, nakliyat sürecindeki değişkenliğin nicel olarak ortaya konulmasına ve süreç kararlılığının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle çalışma, teorik modellere dayalı yaklaşımlardan farklı olarak saha koşullarını doğrudan yansıtan bir analiz sunmaktadır.

Elde edilen bulguların, açık ocak altın ve gümüş işletmelerinde yakıt tüketimine bağlı maliyetlerin azaltılması, operasyonel karar süreçlerinin iyileştirilmesi ve enerji verimliliğine yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından yol gösterici olması beklenmektedir. Ayrıca, İPK yaklaşımının madencilik sektöründe performans değerlendirme ve kalite yönetimi uygulamalarına entegrasyonu konusunda örnek teşkil ederek, benzer nitelikteki saha çalışmalarına metodolojik bir temel oluşturması açısından da önem taşımaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Altın-Gümüş Açık Ocak Madenciliği

Altın ve gümüş gibi değerli metallerin üretiminde açık ocak madenciliği, düşük maliyetli ve yüksek verimli üretim yöntemlerinden biridir. Açık ocak işletmeciliği, cevherin yüzeye yakın olduğu rezervlerde tercih edilen bir yöntem olup, büyük hacimlerde malzeme taşıma, yükleme ve nakliyat faaliyetlerini kapsamaktadır (Hartman & Mutmansky, 2002). Bu üretim sisteminde kazı, yükleme ve nakliyat süreçleri, işletme verimliliği ve toplam üretim maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Humphreys, 2015).

Açık ocak altın-gümüş üretiminde en yaygın olarak kullanılan taşıma ve üretim sistemlerinden biri kamyon-ekskavatör uygulamasıdır. Bu sistemde büyük yük kapasiteli kamyonlar, yükleme ekipmanları tarafından doldurulan cevheri kırma/döküm alanına taşımaktadır (Singh & Long, 2010). Nakliyat kamyonlarının taşıdığı yük miktarı ve yakıt tüketimi, üretim çevrim sürelerini ve işletme maliyetlerini doğrudan etkilediği için süreç yönetimi açısından kritik bir parametre olarak ele alınmaktadır (Sahoo, Bandyopadhyay ve Tripathy, 2010b).

Madencilik sektöründe enerji kullanımı, özellikle açık ocak işletmelerinde giderek artan bir maliyet unsurudur. Enerji maliyetlerinin toplam üretim maliyetlerindeki payı, işletmelerin rekabet gücünü belirleyen önemli bir faktördür (Bureau of Resources and Energy Economics [BREE], 2014). Altın-gümüş açık ocak işletmelerinde düşük tenörlü cevherlerin yüksek hacimlerde taşınması, nakliyat faaliyetlerine özgü enerji tüketimini ön plana çıkarmaktadır (Department of Energy [DOE], 2012). Bu bağlamda, nakliyat süreçlerinin enerji verimliliği ve yakıt tüketiminin incelenmesi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan gereklidir.

Öte yandan, açık ocak madenciliği uygulamalarında çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir üretim çalışmalarının benimsenmesi de önemli araştırma alanlarından biridir. Açık ocak işletmeleri, büyük makina parkları ve yoğun enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonları üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Asafu & Mahadevan, 2003). Bu nedenle

enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar, hem maliyetleri düşürmeyi hem de çevresel yükleri azaltmayı amaçlamaktadır.

Literatürde, açık ocak altın ve gümüş madenciliğinde yakıt tüketimi ve taşınan yük miktarına yönelik çalışmalar genellikle iki ana gruba ayrılmaktadır: teorik modeller ve saha verisine dayalı analizler. Teorik yaklaşımlar, rim pull (teker çekiş gücü)–hız–eğim gibi üretici özelliklerine dayalı modeller ile yakıt tüketimini hesaplamayı amaçlarken (Alarie ve Gamache, 2002), saha verisine dayalı çalışmalar gerçek operasyon koşullarındaki performansı ortaya koymayı hedeflemektedir (Coyle, 2007). Ancak saha çalışmalarında yük miktarı, güzergâh özellikleri ve operasyonel koşulların etkilerinin birlikte incelenmesine yönelik çalışmalar görece sınırlıdır.

Genel olarak, açık ocak madenciliğinde özellikle nakliyat süreçlerinin sistematik analiz metodları ile incelenmesi, literatürde giderek önem kazanmaktadır. Enerji tüketimi ve yakıt verimliliğinin analizinde kullanılan yöntemlerden biri de İPK olup, süreç performansının kontrol altında olup olmadığını belirlemek ve değişkenliğin kaynaklarını analiz etmek için etkin bir araç sunmaktadır (Montgomery, 2019).

2.2. Açık Ocak Maden Ocağında Taşıma

Açık ocak madenciliğinde yükleme ve taşıma operasyonları, üretim sürecinin sürekliliğini ve toplam maliyet yapısını doğrudan etkileyen temel faaliyetler arasında yer almaktadır. Günümüzde kamyon ile taşıma sistemi; operasyonel esneklik sağlamaları, farklı ocak geometrilerine kolay uyum gösterebilmeleri ve yatırım maliyetlerinin görece düşük olması nedeniyle dünya genelinde en yaygın kullanılan taşıma sistemi olarak tercih edilmektedir. Bu sistemlerde üretim kapasitesi; taşıma mesafesi, rampa eğimi, yol yüzey koşulları ile yükleme ve boşaltma sürelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Özellikle rampa eğimi, kamyonların yakıt tüketimi ve çevrim süreleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalar, rampa eğiminde meydana gelen %1'lik artışın yakıt tüketimini yaklaşık %2–4 oranında artırdığını ortaya koymaktadır (Zhao & Li, 2018). Bu durum, taşıma yollarının geometrik tasarımının yalnızca üretim verimliliği

açısından değil, aynı zamanda işletme maliyetlerinin kontrolü açısından da kritik olduğunu göstermektedir.

Taşıma sistemlerinin performansının analiz edilmesinde kuyruk teorisi, ayrık olay simülasyonları ve veri odaklı modelleme yaklaşımları yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, saha verilerinde yakıt tüketimi ve çevrim sürelerinde meydana gelen günlük dalgalanmaların izlenmesi ve süreç kararlılığının değerlendirilmesi amacıyla İPK yöntemlerinin önemli bir uygulama alanı bulunmaktadır. İPK tabanlı analizler sayesinde taşıma operasyonlarında olağan dışı sapmalar erken aşamada tespit edilerek süreç iyileştirme çalışmalarına bilimsel bir temel oluşturulabilmektedir.

2.3. Yakıt Sarfiyatı ve Nakliyat Kamyonlarının Operasyonel Davranışları

Açık ocak altın ve gümüş maden işletmelerinde kazı, yükleme ve nakliyat faaliyetleri içerisinde özellikle nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatı, enerji tüketimi ve operasyonel verimlilik açısından kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve çevresel düzenlemeler, madencilik sektöründe yakıt tüketiminin daha sistematik biçimde izlenmesini ve kontrol edilmesini zorunlu hale getirmiştir (Kecojevic & Komljenovic, 2011).

2.3.1. Yakıt Tüketimi

Yakıt tüketimini etkileyen faktörler çok boyutlu olup; kamyonun teknik özellikleri, taşınan yük miktarı, yol eğimi ve mesafesi, hız profili, sürücü davranışları ve patlatma sonrası malzemenin tane boyut dağılımı gibi değişkenleri içermektedir. Ulaştırma ve otomotiv sektöründe yapılan çalışmalar, araç kütlesi, hız, ivmelenme, yuvarlanma direnci ve güzergâh yönetiminin yakıt tüketimi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur (Kenworth Truck Company, 2008). Bu bulguların, ölçek farkı gözetilerek ağır hizmet tipi madencilik kamyonları için de geçerli olduğu kabul edilmektedir.

Madencilik sektöründe kullanılan ağır hizmet tipi kamyonlar; boyut, motor gücü, taşıma kapasitesi ve yakıt tüketimi açısından hafif hizmet tipi araçlardan önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Buna rağmen, sürücü davranışlarının yakıt sarfiyatı üzerindeki etkisi her iki araç grubunda da benzer eğilimler göstermektedir. Kaliforniya Üniversitesi'nde

gerçekleştirilen bir çalışmada, aynı güzergâh ve aynı araç kullanılarak farklı operatörlerin sürüş davranışları incelenmiş; görev süresi, görev sıklığı ve görev yoğunluğunun yakıt tüketimini doğrudan etkilediği belirlenmiştir (UC Davis, 2010). Çalışma sonuçlarına göre, özellikle görev yoğunluğu—ani hızlanmalar, yüksek motor devri ve düzensiz hız değişimleri—yakıt tüketimi üzerinde en belirleyici faktör olarak öne çıkmaktadır.

Benzer şekilde Landman (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, sert ivmelenmenin yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyonlarını anlamlı düzeyde artırdığı ortaya konulmuştur. Özellikle dur-kalk operasyonlarının yoğun olduğu açık ocak nakliyat faaliyetlerinde, kamyonların yükleme noktasından hareket anındaki ivmelenme karakteristikleri yakıt tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Literatürde, durma noktasından yapılan sert hızlanmaların yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu, yavaşlama süreçlerinin ise nispeten daha düşük etki yarattığı belirtilmektedir (Barth & Boriboonsomsin, 2009).

Yakıt tüketiminin modellenmesine yönelik olarak literatürde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Virginia Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, ağır hizmet tipi araçların yakıt tüketimi ve emisyonları, farklı sürüş çevrimleri kullanılarak dinamometre testleri ile modellenmiştir (Zhang et al., 2014). Ancak bu tür laboratuvar tabanlı çalışmaların, açık ocak madenlerindeki gerçek operasyonel koşulları tam olarak yansıtmakta sınırlı kaldığı vurgulanmaktadır. Bu nedenle, gerçek saha verilerine dayalı analizlerin daha güvenilir sonuçlar sunduğu bilinmektedir.

Güncel çalışmalarda, anlık hız, ivme ve GPS verileri kullanılarak yakıt tüketiminin tahmin edilmesine yönelik modeller geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, nakliyat kamyonlarının gerçek zamanlı operasyonel davranışları ile yakıt tüketimi arasındaki ilişkinin daha doğru biçimde ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır (Rakha & Ding, 2003). Ortalama hız, ivme değişimleri ve standart sapma değerleri gibi parametreler kullanılarak geliştirilen modellerin, yakıt tüketimindeki değişkenliği açıklamada etkili olduğu bildirilmektedir.

İPK yöntemleri, nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatları ve taşınan yük miktarlarının izlenmesi ve değerlendirilmesi açısından önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Shewhart kontrol kartları, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında

olup olmadığının belirlenmesine, yakıt tüketimindeki değişkenliğin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığının ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır. Literatürde, İPK yöntemlerinin madencilik operasyonlarında uygulanmasının, operasyonel verimliliği artırdığı ve enerji maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Montgomery, 2013).

Literatürde yer alan söz konusu yaklaşımları temel alarak, Orta Anadolu Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir altın ve gümüş madeni açık ocağında kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatları ve taşınan yük miktarlarını İPK yöntemleri ile değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece, kamyon modelleri, sürücü davranışları ve operasyonel koşulların yakıt tüketimi üzerindeki etkileri bilimsel ve istatistiksel bir çerçevede ortaya konulmaktadır.

2.3.2. Nakliyat Kamyonlarında Güzergâh Planlaması ve Yakıt Tüketimi

Güzergâh planlaması, açık ocak altın ve gümüş madenlerinde kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt yönetiminin optimize edilmesinde kritik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Seçilen güzergâhın uzunluğu, yol eğimi, trafik yoğunluğu ve yol koşulları; üretim hızlarını, yakıt sarfiyatını ve dolayısıyla toplam işletme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Uygun olmayan güzergâh seçimi, taşıma çevrim sürelerinin uzamasına ve operasyonel verimliliğin düşmesine neden olabilmektedir (Kecojevic & Komljenovic, 2011).

Küçük ölçekli bazı açık ocak işletmelerinde, kazı ve döküm noktaları arasında genellikle tek bir güzergâh bulunmakta ve bu durum güzergâh planlamasını nispeten basitleştirmektedir. Ancak büyük ölçekli açık ocak madenlerinde, bir yükleme noktasından döküm sahasına ulaşım için birden fazla alternatif güzergâhın bulunması, güzergâh planlamasını karmaşık hale getirmektedir. Bu tür işletmelerde, üretim ve verimliliğin artırılması amacıyla sevk ve sevkiyat sistemlerinin kullanılması önerilmektedir (Burt & Caccetta, 2014).

Sevkiyat sistemleri, nakliyat kamyonlarını maden sahasında ihtiyaç duyulan bölgelere yönlendirerek hedeflenen üretim seviyelerinin korunmasını amaçlamaktadır. Bununla birlikte, birçok işletmede güzergâh seçimi büyük ölçüde ekipman operatörlerinin

inisiyatifine bırakılmaktadır. Operatörler, sahip oldukları deneyim ve saha bilgisine dayanarak çoğunlukla en kısa güzergâhın aynı zamanda en hızlı ve en verimli güzergâh olduğunu varsaymaktadır (Alarie & Gamache, 2002). Ancak operatörlerin, güzergâh üzerindeki anlık trafik yoğunluğu, yol durumu veya beklenmeyen tıkanıklıklar hakkında önceden bilgi sahibi olmamaları, bu varsayımın her zaman geçerli olmamasına neden olmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar, en kısa güzergâhın her zaman en yakıt verimli güzergâh olmadığını ortaya koymaktadır. KwaZulu-Natal Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı güzergâh alternatifleri karşılaştırılmış ve yol eğimi, dur-kalk sıklığı ve trafik yoğunluğu gibi faktörler dikkate alındığında, daha uzun bir güzergâhın daha düşük yakıt tüketimi sağlayabildiği belirlenmiştir (Paricheh & Knights, 2015). Çalışmada, güzergâh üzerinde yapılan küçük değişikliklerin dahi yakıt tüketimi ve operasyonel verimlilik üzerinde anlamlı iyileştirmeler sağlayabileceği vurgulanmaktadır.

Nakliyat kamyonlarının aynı zamanda maden sahası içerisindeki konumları, diğer kamyonlarla olan ilişkileri dikkate alınarak incelenmiştir. Kamyonların birbirlerine göre konumlarının bilinmesi, hangi güzergâhın ve hangi görevin daha uygun olacağının belirlenmesine olanak sağlamaktadır (McCarthy & Menzies, 2010). Bu bağlamda, sevkiyat operatörlerinin gerektiğinde kamyon atamalarını güncelleyerek, beklenmeyen kazı makinesi arızaları, aşırı trafik yoğunluğu veya geçici yol kapatmaları gibi durumlara müdahale etmeleri gerekmektedir.

Ancak büyük ölçekli açık ocak madenlerinde, sevkiyat operatörlerinin tüm değişkenlere anlık olarak müdahale etmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durum, kamyonların kuyruk sürelerinin artmasına, dengesiz kamyon dağılımlarına ve dolayısıyla üretim kayıplarına yol açmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak Arelovich (2016) tarafından geliştirilen çalışmalarda, gerçek zamanlı algoritmaların kamyon atama ve güzergâh planlama süreçlerine entegre edilmesi önerilmiştir. Gerçek zamanlı karar destek sistemleri sayesinde, operatör kabinine doğrudan yönlendirme sağlanarak daha hızlı, daha etkin ve daha yakıt verimli kararların alınabileceği belirtilmektedir.

Nakliyat çevrimi boyunca yakıt verimliliğinin en düşük olduğu aşamalardan biri kavşak ve birleşim noktalarıdır. Bu noktalarda artan trafik yoğunluğu, kamyonların durmasına veya ani hızlanmalar yapmasına neden olmakta; bu durum yakıt tüketimini artırmaktadır. Kavşaklardaki bu verimsizliğin azaltılmasına yönelik olarak, otomotiv sektöründe geliştirilen otonom kavşak yönetim yaklaşımları literatürde yer almaktadır (Dresner & Stone, 2008). Bu çalışmalar, yoğun trafik altında dahi kavşaklarda bekleme sürelerinin azaltılabileceğini göstermektedir.

Kavşak yönetiminin analizinde kuyruk teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuyruk sistemleri, bir sisteme giren birimlerin geliş oranı, sistemde kalma süresi ve sistemden çıkışını modellemeye olanak tanımaktadır (Gross et al., 2008). Bu yaklaşım, açık ocak madenlerindeki kavşaklar için de uyarlanabilmektedir. Little Yasası'na göre, durağan durum koşullarında bir sistemdeki ortalama birim sayısı, sisteme giren birimlerin ortalama geliş oranı ile sistemde kalma süresinin çarpımına eşittir (Little, 1961).

Kavşak bir sistem, kamyonlar ise sistemdeki birimler olarak ele alındığında; kavşaktaki kamyon sayısı, kamyonların geliş hızı ve kavşakta geçirdikleri süre arasındaki ilişki ortaya konulabilmektedir. Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği gereklilikleri nedeniyle, bir kavşakta aynı anda çok sayıda kamyonun bulunması mümkün olmadığından, sistem verimliliğini artırmanın temel yolu kamyonların kavşakta geçirdiği sürenin azaltılmasıdır.

Çalışma kapsamında, güzergâh planlaması ve sürücü davranışlarının kavşaklarda geçirilen süreler üzerindeki etkileri dolaylı olarak ele alınmakta; farklı sürüş alışkanlıklarının ve operasyonel koşulların yakıt tüketimi ve taşıma verimliliği üzerindeki etkileri istatistiksel proses kontrol yöntemleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Böylece, açık ocak altın ve gümüş madenlerinde nakliyat süreçlerinin daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesine yönelik bilimsel bir çerçeve sunulmaktadır.

2.3.3. Açık Ocak Madenlerinde Nakliyat Kamyonlarının Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Yol Koşulları

Açık ocak altın ve gümüş madenciliğinde kamyonlu nakliyat sistemi, cevher ve pasa malzemesinin taşınmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Kazı–yükleme–

nakliyat faaliyetleri, toplam üretim maliyetleri ve enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olup, özellikle nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi işletme maliyetlerinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Literatürde, kamyonla gerçekleştirilen nakliyat faaliyetlerinin toplam üretim maliyetlerinin yaklaşık %45–60'ını oluşturduğu ve bu maliyetin büyük bir bölümünün yakıt tüketiminden kaynaklandığı belirtilmektedir (Sahoo et al., 2010; DOE, 2012).

Yakıtla çalışan nakliyat kamyonlarının, elektrikli kamyon uygulamalarına rağmen açık ocak madenlerinde uzun yıllar boyunca kullanılmaya devam edeceği öngörülmektedir. Bu durum, yakıt tüketiminin izlenmesi, kontrol altına alınması ve süreç performansının iyileştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle düşük tenörlü cevherlerin büyük hacimlerde taşındığı altın ve gümüş açık ocaklarında, taşınan yük miktarı ile yakıt sarfiyatı arasındaki ilişkinin sistematik olarak değerlendirilmesi kritik bir gereklilik hâline gelmiştir.

Literatürde, nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimini etkileyen faktörler arasında taşınan yük miktarı, yol eğimi, yol direnci, kamyon hızı, operasyon süresi ve yol yüzey özellikleri öne çıkmaktadır. Yol pürüzlülüğü, bu faktörler arasında yakıt tüketimi üzerinde doğrudan etkili olan en önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir (Wang et al., 2025). Yol kalitesindeki bozulmalar, kamyonların yuvarlanma direncini artırarak yakıt tüketiminin yükselmesine ve operasyonel verimliliğin azalmasına neden olmaktadır.

Yol pürüzlülüğünün nicel olarak değerlendirilmesinde Uluslararası Yol Pürüzlülük İndeksi (International Roughness Index – IRI) yaygın biçimde kullanılan bir parametre olup, özellikle karayolu mühendisliği alanında standart bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Sayers et al., 1986; Park et al., 2019). Farklı ülkelerde yapılan çalışmalar, IRI'nin yol yüzeylerinin sınıflandırılmasında, bakım ve rehabilitasyon kararlarının alınmasında etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur (Radovic et al., 2017; Chen et al., 2020).

Ancak açık ocak madenlerinde yol yapım malzemelerinin, taşıma güzergâhlarının ve kullanılan kamyon tiplerinin farklılık göstermesi, IRI için evrensel eşik değerlerin belirlenmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle, literatürde açık ocak madenciliği için sabit standartlar yerine, sahaya özgü değerlendirme ve izleme yaklaşımlarının geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Sidess vd., 2021).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yol kalitesi ile yakıt tüketimi arasında güçlü ve pozitif bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, yol pürüzlülüğüne dayalı yakıt tüketimi analizleri, nakliyat süreçlerinde maliyetlerin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Wang et al., 2025). Bununla birlikte, mevcut çalışmaların büyük bir bölümü regresyon, simülasyon veya makine öğrenmesi tabanlı tahmin modellerine odaklanmış olup, süreçteki değişkenliğin zaman içerisindeki davranışını değerlendiren kalite kontrol yaklaşımlarına sınırlı düzeyde yer vermiştir.

İPK yöntemleri, nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi ve taşınan yük miktarındaki değişkenliğin izlenmesi ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi açısından önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Shewhart kontrol kartları ve $\bar{X}$–R kontrol grafikleri, süreçte meydana gelen sapmaların genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığını ayırt etmeye olanak tanımakta ve açık ocak madenciliği gibi değişkenliğin yüksek olduğu operasyonlarda performans değerlendirmesi için güçlü bir yöntem sunmaktadır.

Literatürde yer alan yol koşulları ve yakıt tüketimi çalışmalarının, istatistiksel proses kontrol yaklaşımı ile birlikte ele alınmasının, altın ve gümüş açık ocak işletmelerinde nakliyat süreçlerinin daha etkin, verimli ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Uluslararası Yol Pürüzlülüğü Endeksi (International Roughness Index – IRI)

Yol pürüzlülüğü endeksi; yolların ne kadar düzgün veyahut ne kadar bozuk olduğunu ölçmek için kullanılan bir standarttır. Birimi $\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{km}}\right)$ olup değer küçüldükçe yolun daha düzgün olduğu, değer büyüdükçe ise yolun daha bozuk ve sarsıntılı(titreşimli) olduğu anlamına gelmektedir. Ölçme işleminde araçların güzergah boyunca süspansiyonunun aşağı yukarı hareketlerini kontrol edip ve elde ettiği verileri ise matematiksel modüle dönüştürüp IRI değerini elde eder. Yol pürüzlülüğü endeksinin önemleri ise; sürüş konforunu artırmak, kamyon lastik aşınmalarını önlemek, süspansiyon aşınmaları azaltmak , yolların bakım ve onarımı için planlama konusunda öngörülü olmak. Yakıt, amortsiman giderlerinin

azalmasına ve işletme maliyetlerinin düşmesine yardımcı olmak. Çalışma yapılan sahada yol durumu nakliye kamyonları için ocak içinde greyder ile bıçak atma (tesviye), çukurlaşma olan yerlerde dolgu işlemleri ve silindir ile sıkılaştırma işlemleri sürekli yapılmaktadır. Kamyonların süspansiyonlarının az çalışması, lastik yıpranmalarının en aza indirilmesi, daha konforlu ve güvenli bir sürüş yaşanması için açık ocak ve cevher stok sahası arasında yol zemini asfalt olarak yapılmıştır.

Çizelge 2.1. IRI ve Yakıt Tüketimi Arasındaki İlişki Tablosu

IRI ve Yakıt Tüketimi Arasındaki İlişki Tablosu			
IRI (m/km)	**Yol Kalitesi**	**Kamyon Üzerindeki Etki**	**Yakıt Tüketimi Etkisi**
1 – 2	Çok düzgün asfalt	Süspansiyon minimum çalışır, teker kaybı düşük	Baz tüketim (ör: 35–40 L/100 km)
2 – 3	İyi yol	Lastik yuvarlanma kaybı hafif artar	+%3–5 yakıt
3 – 4	Orta yol	Süspansiyon daha çok hareket eder, vibrasyon artar	+%6–10 yakıt
4 – 6	Bozuk yol	Teker–zemin kaybı belirgin, hız düşer	+%10–25 yakıt
6 – 8	Çok bozuk (maden yolu)	Süspansiyon darbeleri artar, motor daha fazla tork ister	+%25–40 yakıt
8+	Şantiye / maden ağır yol	Teker batması, zemin kaybı, düşük hız → yüksek enerji kaybı	+%40–60 yakıt (çok normal)

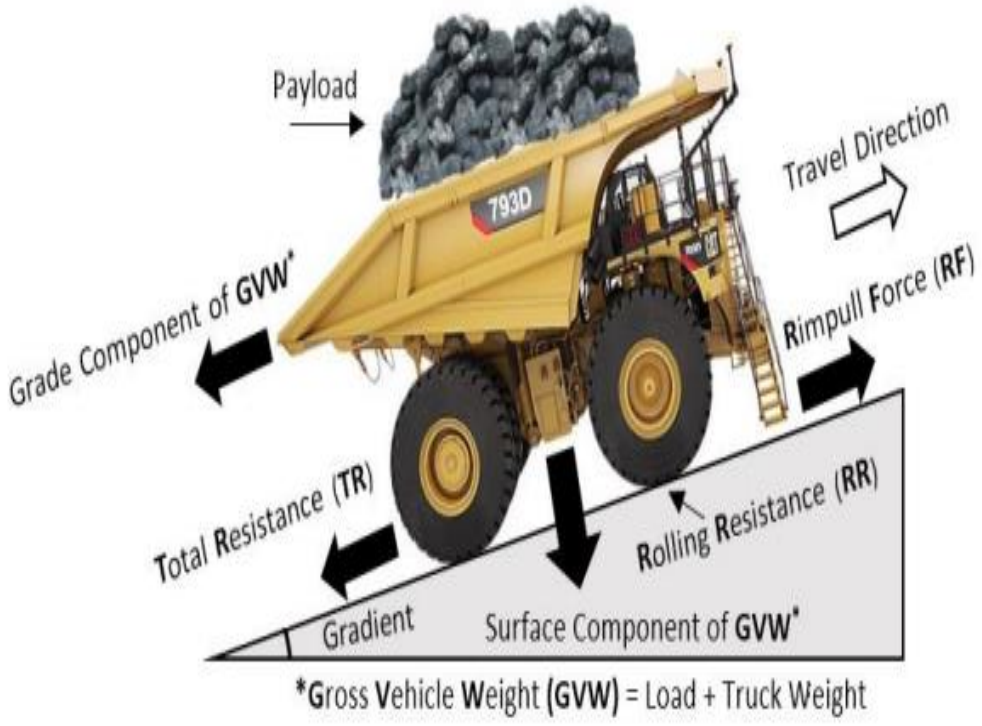
Kaynak: ASTM Standard Practice for Computing IRI

2.4. Nakliyat Kamyonlarında Yakıt Tüketiminin Teorik Olarak Hesaplanması

Nakliyat kamyonlarının performansını etkileyen temel parametreler; taşınan yük miktarı (L), kamyon hızı (S) ve toplam yol direnci (Total Resistance, TR) olarak tanımlanmaktadır. Bu parametreler, özellikle düşük tenörlü cevherlerin yüksek tonajlarda taşındığı altın ve gümüş açık ocaklarında yakıt sarfiyatı üzerinde doğrudan etkilidir.

Şekil 2.1'de, açık ocak altın ve gümüş madenlerinde yaygın olarak kullanılan tipik bir nakliyat kamyonunun şematik gösterimi ile kamyon performansını etkileyen temel bileşenler sunulmaktadır. Kamyonun yakıt tüketimi ve çekiş performansı; taşınan yük miktarı (payload), toplam araç ağırlığı (Gross Vehicle Weight, GVW), yol eğimi, yol yüzey

özellikleri ve operasyonel koşulların bileşik etkisi altında şekillenmektedir. GVW, kamyonun boş ağırlığı ile taşınan yükün toplamını ifade etmekte olup, özellikle eğimli yol koşullarında bu ağırlığın eğim bileşeni kamyon motoru üzerindeki yükü önemli ölçüde artırmaktadır.



Şekil 2.1.Tipik Bir Açık Ocak Nakliyat Kamyonunun Şematik Gösterimi ve Kamyon Performansını Etkileyen Temel Parametreler (Soofastaei vd., 2016)

Toplam yol direnci (TR), kamyonun hareketine karşı oluşan tüm direnç kuvvetlerinin toplamı olarak tanımlanmakta ve yuvarlanma direnci (Rolling Resistance, RR) ile eğim direncinin (Grade Resistance, GR) birleşiminden oluşmaktadır. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Burt et al., 2012):

$$TR=RR+GR \tag{2.1}$$

Yuvarlanma direnci; lastik yapısı ve basıncı, yol yüzeyinin pürüzlülüğü, yol bakım durumu ve hava koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Eğim direnci ise yol geometrisine bağlı olup, yolun düşey yükselimi ile yatay uzunluğu arasındaki oranın yüzde cinsinden ifade edilmesiyle hesaplanmaktadır (Energy Efficiency

Opportunities [EEO], 2012). Açık ocak altın ve gümüş madenlerinde sıkça karşılaşılan değişken yol eğimleri, taşıma mesafeleri ve bakım koşullarındaki farklılıklar, toplam yol direncinin zaman içerisinde önemli ölçüde değişmesine neden olmaktadır. Bu durum, kamyon motorunun daha yüksek çekiş kuvveti üretmesini zorunlu kılarak yakıt tüketimini artırmaktadır.

Nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi (Fuel Consumption, FC), motorun özgül yakıt tüketimi, motorun yük durumu ve üretilen güç dikkate alınarak teorik olarak hesaplanabilmektedir. Filas (2002) tarafından önerilen yakıt tüketimi bağıntısı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\mathrm{FC} = \frac{SFC.(LF.P)}{FD} \tag{2.2}$$

Bu eşitlikte; SFC motorun tam yükteki özgül yakıt tüketimini (kg/kW·saat), LF motor yük faktörünü, P motor gücünü (kW) ve FD yakıt yoğunluğunu (dizel yakıt için yaklaşık 0,85 kg/L) temsil etmektedir. Bu ifade, motorun yük altında ürettiği gücün artmasıyla birlikte yakıt tüketiminin de doğrusal olarak arttığını göstermektedir.

Saha uygulamalarında detaylı motor verilerine her zaman erişilememesi nedeniyle, hesaplama kolaylığı sağlayan sadeleştirilmiş yaklaşımlar geliştirilmiştir. Runge (1998) tarafından önerilen pratik yaklaşımda, yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$\mathrm{FC}=0.3(\mathrm{LF}\cdot\mathrm{P}) \tag{2.3}$$

Bu yaklaşım, özellikle gerçek işletme koşullarında yakıt tüketiminin hızlı ve yaklaşık olarak tahmin edilmesine olanak tanımakta; saha verileriyle karşılaştırmalı analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Motor yük faktörü (LF), motorun bir çalışma çevrimi boyunca maruz kaldığı ortalama yükün, motorun maksimum yük kapasitesine oranı olarak tanımlanmaktadır (Kecojevic & Komljenovic, 2010). Sürekli düşük yükte çalışma, motor verimliliğini düşürürken; aşırı yükleme durumları ise yakıt tüketimini artırmakta ve mekanik aşınma ile bakım maliyetlerini yükseltmektedir. Caterpillar (2013) tarafından bildirilen tipik yük faktörü aralıkları, açık ocak işletmelerinde optimum yükleme uygulamalarının yakıt verimliliği açısından kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Motor gücü (P), kamyonun çekiş kuvveti ve hızı ile doğrudan ilişkilidir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$P = \frac{RF.S}{3.6} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte RF, kamyonun hareketine karşı oluşan dirençleri yenebilmek için lastiklere aktarılan çekiş kuvvetini (rimpull force), S ise kamyon hızını temsil etmektedir. Özellikle yüksek eğimli, bozuk ve bakım seviyesi düşük yol koşullarında RF değerinin artması, motor gücü ihtiyacını ve dolayısıyla yakıt tüketimini doğrudan artırmaktadır.

Literatürde yer alan teorik modeller, nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimini açıklamada güçlü bir temel sunmakla birlikte, çoğunlukla ideal işletme koşullarına veya üretici verilerine dayalı varsayımlar içermektedir (Alarie & Gamache, 2002; Beckman, 2012; Caterpillar, 2013). Ancak altın ve gümüş açık ocaklarında gerçek saha koşulları; yükleme farklılıkları, patlatma sonrası yığın özellikleri, yol direncindeki zamansal değişimler ve operasyonel düzensizlikler nedeniyle teorik hesaplamalardan sapmalar gösterebilmektedir.

Bu nedenle, teorik yaklaşımların gerçek işletme verileriyle desteklenmesi ve istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi gereklilik arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında, nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi teorik bir çerçevede ele alınmakla birlikte, saha verileri istatistiksel proses kontrol (İPK) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Böylece yakıt tüketimindeki değişkenliğin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığı ortaya konulmuş; altın ve gümüş açık ocak işletmeleri için süreç performansının izlenmesine yönelik bilimsel ve uygulanabilir bir altyapı oluşturulmuştur.

2.4.1. Nakliye İşleminde Kullanılan Kamyonların Özellikleri (1.Tip-2.Tip)

Açık ocak işletmelerinde kullanılan nakliye kamyonlarının teknik özellikleri, üretim kapasitesi, yakıt tüketimi ve operasyonel verimlilik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Motor hacmi, güç ve tork değerleri özellikle eğimli saha koşullarında performans belirleyici parametrelerdir. Ayrıca aks konfigürasyonu ve araç ağırlığı, taşıma stabilitesi ile yük

dağılımı açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda çalışmada değerlendirilen 1. Tip ve 2. Tip kamyonların temel teknik özellikleri Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. İncelenen Kamyon Tiplerine Ait Teknik Özellikler

Teknik Özellik	1. Tip Kamyon	2. Tip Kamyon
Motor Hacmi	11.950 cc	12.380 cc
Motor Gücü	390–400 Hp	420–440 Hp
Tork	1900–2000 Nm	2000–2200 Nm
Aks Konfigürasyonu	8x4 (Kırkayak)	8x4 (Kırkayak)
Araç Ağırlığı	18–20 ton	18–20 ton

Sahada kullanılan kamyonların yukarıdaki karşılaştırmada özelliklerine bakıldığında 1.Tip kamyonların 2.Tip kamyonlara göre motor hacimlerinin daha düşük olduğu, güç ve tork özelliklerinde daha zayıf olduğu gözlemlenmektedir. Bu özellikleri ile sahada aktif olarak çalışan 1.Tip kamyonların yakıt sarfiyatının 2.Tip kamyonlara nazaran daha düşük olduğu gerçek verilerle kontrol edilmesi ile görülmüştür. Elimizdeki bu verilerle 1.Tip kamyonların 2.Tip kamyonlara nazaran daha düşük yakıt tüketimi fakat zorlu eğimlerde, sert hava koşullarında motor, güç ve tork bakımından daha zayıf olduğunda madencilik sektöründe mekanik parça aksamlarında yaşanabilecek zorlukları da beraberinde getirebileceği göz ardı edilmemeli. 2.Tip kamyonlara göre daha yorgun mekanik parçaların oluşması, yüklü rampalarda ve virajlarda makas problemlerin yaşaması madencilik sektöründe en sık görülen problemlerdir. Yakıt sarfiyatı olarak ise 2.Tip kamyonlara karşı genel olarak %5-15 arasında da yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Sonuç olarak 1.Tip kamyonlar 2.Tip kamyonlara göre daha güçsüz fakat ortalama yakıt tüketimi olarak daha verimlidir.

2.5. İPK Teorisi ve Kontrol Kartlarının Gelişimi

İPK, ilk kez Shewhart tarafından 1931 yılında geliştirilmiş olup, süreçlerde meydana gelen değişkenliğin sistematik biçimde izlenmesini amaçlayan istatistik temelli bir yöntemdir. İPK'nın temel yaklaşımı, süreç performansında ortaya çıkan varyasyonun

doğal(ortak nedenli) mı yoksa özel(atanabilir nedenli) mi olduğunu ayırt etmeye dayanır. Shewhart'a göre bir sürecin zaman içerisindeki davranışı, önceden belirlenmiş kontrol limitleri olan merkez çizgi (CL), üst kontrol limiti (UCL), alt kontrol limiti (LCL) aracılığıyla izlenmeli; kontrol limitleri dışına çıkan gözlemler, sürecin kontrol dışı hale geldiğini ve özel nedenli sapmaların varlığını işaret etmektedir (Shewhart, 1931).

Kontrol limitleri, sürecin doğal varyasyonuna dayalı olarak hesaplanmakta olup, bu limitler dâhilinde kalan değişimler kabul edilebilir doğal dalgalanmalar olarak değerlendirilmektedir. Limitlerin aşılması ise sürece dışsal bir etki veya olağan dışı bir durumun müdahil olduğunu göstermektedir. İPK yaklaşımı, üretim endüstrilerinde yaygın biçimde kullanılmasının yanı sıra, son yıllarda ağır iş makineleri ve madencilik operasyonlarının performans izlenmesinde de etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır (Montgomery, 2019).

Açık ocak madenciliğinde kamyon yakıt tüketimi gibi günlük tekil ölçümlerden oluşan verilerde alt grup oluşturmak mümkün olmadığından, bireysel ve hareketli aralık (I–MR) kontrol kartları yaygın biçimde tercih edilmektedir. Bu kartlar, süreç ortalamasının ve kısa dönemli değişkenliğin eş zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır. I (Individual) kartı, ölçümlerin zaman içindeki dağılımını ve merkez çizgisi etrafındaki sapmaları ortaya koyarken; MR (Moving Range) kartı ise ardışık ölçümler arasındaki değişimi analiz ederek sürecin kısa vadeli varyasyon karakterini değerlendirmektedir.

Bu yöntem sayesinde operatör davranışı, yol koşulları, yük miktarı ve ekipman performansı gibi faktörlerden kaynaklanan özel nedenli sapmalar ile sürecin doğal nedenli sapma değişkenlikleri birbirinden ayrıştırılabilmektedir. Özellikle madencilik gibi çevresel ve operasyonel koşulların değişken olduğu sektörlerde, I–MR kontrol kartları erken uyarı mekanizması işlevi görerek yakıt verimliliğinin izlenmesi, maliyet kontrolü ve süreç iyileştirme çalışmalarına analitik bir temel sunmaktadır.

Ayrıca kontrol limitlerinin istatistiksel olarak belirlenmesi, sürecin kontrol altında olup olmadığının nesnel kriterlerle değerlendirilmesine imkân tanımakta ve performans karşılaştırmalarında karar vericilere güvenilir veri sağlamaktadır..

2.6. I–MR Kontrol Kartları ve İPK Sabitleri

I–MR kontrol kartları, örneklem büyüklüğünün n=1 olduğu durumlar için geliştirilmiştir. Bu nedenle günlük bazda tek ölçüm alınan kamyon yakıt tüketimi gibi süreçlerde en uygun İPK yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bireysel (I) kartında süreç standart sapması doğrudan hesaplanamadığından, hareketli aralıkların ortalaması ($M\bar{R}$) kullanılarak tahmin edilmektedir. Süreç standart sapması aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmektedir:

$$\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{2.5}$$

Burada d_2 sabiti n=2 için 1.128 olarak tanımlanmaktadır. Hareketli aralık (MR) kartının üst ve alt kontrol limitleri ise D_3 ve D_4 sabitleri yardımıyla hesaplanmaktadır. n=2 için D_3=0 ve D_4=3.267 olarak kabul edilmektedir. Bu sabitler uluslararası kabul görmüş İPK çizelgelerinde standartlaştırılmıştır (Wheeler & Chambers, 1992; AIAG, 2022).

2.7. Madencilikte İPK Uygulamalarına İlişkin Literatür

Madencilik sektöründe İPK uygulamaları ağırlıklı olarak ekipman bakım yönetimi, arıza tahmini ve üretim performansının izlenmesine odaklanmıştır. Özellikle ağır iş makinelerinin operasyonel sürekliliğinin sağlanması amacıyla süreç değişkenliğinin kontrol altında tutulması büyük önem taşımaktadır (Ataei, 2011).

Kamyon yakıt tüketiminin İPK ile analizine yönelik çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, Kecojevic ve Komljenovic (2010) açık ocak kamyonlarında yakıt tüketimini etkileyen faktörleri incelemiş ve İPK tabanlı izleme sistemlerinin kontrol dışı durumları erken aşamada tespit etmede etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, yakıt maliyetlerinin yüksek olduğu büyük ölçekli açık ocak işletmelerinde İPK'nın stratejik bir yönetim aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2.8. 1.Tip ve 2.Tip Kamyonlarında Yakıt Sarfiyatı Davranışının, Değerlendirilmesi

Ağır hizmet tipi kamyonlarda yakıt tüketimi; motor tork karakteristikleri, şanzıman sistemleri, elektronik kontrol üniteleri ve sürüş yazılım optimizasyonları gibi teknik

parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Literatürde 1.Tip marka motorların daha kararlı yakıt tüketim eğrisi sunduğu, 2.Tip kamyonlarının ise yüksek tork gerektiren zorlu saha koşullarında görece daha yüksek yakıt tüketim eğilimi gösterdiği bildirilmektedir (DieselNet, 2020;Truck & Bus, 2021).

Bu teknik farklılıkların süreç değişkenliğine de yansıdığı, 1.Tip kamyonlarında hareketli aralık değerlerinin daha dar bir bantta toplandığı; 2.Tip kamyonlarında ise saha koşullarına ve operatör davranışlarına daha duyarlı bir değişkenlik oluştuğu ifade edilmektedir. Bu durum marka bazlı performans izleme çalışmalarında İPK yöntemlerinin ayırt edici sonuçlar üretebileceğini göstermektedir.

2.9. Literatür Boşluğu ve Tezin Katkısı

Mevcut literatürde açık ocak madenciliğinde 1.Tip ve 2.Tip marka kamyonların yakıt tüketim davranışlarının İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) tabanlı karşılaştırmalı analizine yönelik kapsamlı ve saha verisine dayalı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde yakıt tüketimi genellikle ortalama değerler, toplam sarfiyat analizleri veya regresyon temelli performans modelleri ile ele alınmış; ancak sürecin zaman içindeki davranışını, değişkenlik yapısını ve kontrol dışı sinyallerini birlikte değerlendiren kontrol kartı uygulamalarına sınırlı düzeyde yer verilmiştir.

Hazırlanan çalışma kapsamında günlük yakıt tüketimi verileri kullanılarak bireysel (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol kartları oluşturulmuş; kamyon 1.tip - 2. tip bazında süreç ortalaması, değişkenlik düzeyi, kontrol limitleri ve kontrol dışı gözlemler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Böylece yalnızca ortalama tüketim farkları değil, aynı zamanda süreç kararlılığı, varyasyon karakteri ve tekrar edebilirlik düzeyi de analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, kamyon tip farklılığının performansları sadece “ne kadar yakıyor?” sorusuyla değil, “ne kadar istikrarlı yakıyor?” sorusuyla da ele alması bakımından özgünlük taşımaktadır.

Elde edilen bulguların, filo yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, yakıt optimizasyon politikalarının oluşturulması, bakım planlarının iyileştirilmesi ve operatör performansının izlenmesine yönelik uygulamalara pratik katkı sunacağı öngörülmektedir. Ayrıca süreçte

tespit edilen kontrol dışı sinyaller, erken müdahale ve önleyici bakım uygulamaları için karar vericilere analitik bir uyarı mekanizması sağlamaktadır.

Çalışma bu yönüyle açık ocak taşımacılığında yakıt tüketiminin yalnızca maliyet göstergesi olarak değil, süreç performansının dinamik bir göstergesi olarak ele alınmasına katkı sunmakta; veri temelli karar destek sistemlerinin geliştirilmesine bilimsel bir temel oluşturmaktadır. Aynı zamanda, madencilik sektöründe İPK yöntemlerinin operasyonel performans analizine entegrasyonuna yönelik metodolojik bir örnek teşkil etmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, açık ocak yöntemiyle işletilen bir altın ve gümüş madeni sahasında kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt miktarları (lt/km) ve yük miktarılarının İPK yöntemiyle değerlendirilmesi. Çalışma, gerçek saha verilerine dayalı olması nedeniyle uygulamalı ve nicel araştırma niteliği taşımakta olup, mevcut nakliyat sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını ortaya koymayı amaçlayan betimsel bir araştırma olarak tasarlanmıştır.

Açık ocak madenciliğinde nakliyat faaliyetleri, toplam üretim maliyetleri ve enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle düşük tenörlü cevherlerin büyük hacimlerde taşındığı işletmelerde, kamyonların yakıt sarfiyatlarının düzenli olarak izlenmesi ve süreç değişkenliğinin analiz edilmesi, maliyet kontrolü ve operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda çalışmada, nakliyat kamyonlarının yakıt tüketim performansı Shewhart kontrol kartları kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, Orta Anadolu Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir altın ve gümüş madeni açık ocak işletmesinde kullanılan nakliyat kamyonlarının yakıt tüketim davranışlarını ve taşınan yük miktarlarını İPK yöntemleri ile analiz ederek sürecin istikrarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda, kamyonların yakıt tüketimleri ve yük miktarlarındaki değişkenliğin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırma kapsamında, işletmede aktif olarak kullanılan 6 adet 1.Tip ve 6 adet 2.Tip açık ocak sahasında kullanılan toplam 12 adet nakliyat kamyonu incelenmiştir. 1.Tip ve 2.Tip kamyonlar yaklaşık olarak 32–50 ton aralığında yük taşıyarak İPK sistemi ile analizleri yapılıp karşılaştırılmıştır. Kamyonların tamamı aynı güzergâh üzerinde, aynı döküm noktasına malzeme taşımacılığı gerçekleştirmiştir. Bir kamyon yaklaşık olarak döküm sahasına gidiş gelişi 10-12 km arasında değişmektedir.

Çalışmanın kapsamı; patlatma sonrası oluşan farklı tane boyut dağılımlarına sahip yığınlardan yüklenen kamyonların taşıdıkları yük miktarları ve yakıt sarfiyatlarının değerlendirilmesidir.

3.2. Araştırmanın Türü ve Yaklaşımı

Bu çalışma, nicel araştırma yaklaşımına dayalı, saha verileri ve işletme kayıtları kullanılarak yürütülen tanımlayıcı ve analitik bir kalite kontrol analizidir. Araştırmada deneysel bir müdahalede bulunulmamış, gerçek üretim koşullarında elde edilen operasyonel veriler kullanılmıştır. Bu yönüyle çalışma, gözlemsel araştırma niteliği taşımaktadır.

Nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi ve taşıdıkları yük miktarları, İPK yaklaşımı çerçevesinde ele alınmış; süreç performansının zamana bağlı değişimi ve istikrarı Shewhart kontrol kartları aracılığıyla değerlendirilmiştir. Böylece, süreçteki doğal varyasyon ile olağandışı sapmaların ayırt edilmesi amaçlanmıştır.

3.3. Çalışma Alanı ve İşletmenin Genel Özellikleri

Araştırma, Türkiye'nin Eskişehir ili sınırları içerisinde yer alan bir altın ve gümüş madeni açık ocak işletmesinde yürütülmüştür. Bölgedeki cevherleşme, sedimanter kayaçlar ile granit kontağında gelişmiş, yoğun silisleşmeye uğramış serpantin damarları ile karakterize edilen lisvenit tipi bir yapı göstermektedir. Çalışılan sahada dört ana cevherleşme zonu bulunmaktadır.

Bu altın ve gümüş madenin de üretim açık ocak yöntemiyle gerçekleştirilmekte olup, üretilen cevher işletme sahası içerisindeki zenginleştirme tesisine beslenmektedir. İşletmede nakliyat faaliyetleri vardiya esasına göre ve süreklilik arz eden bir üretim düzeni içerisinde yürütülmekte olup, kamyon performansı üretim sürekliliği ve maliyet etkinliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

İşletmeye ait maden çalışma alanı (Sekil 3.1), taşımada kullanılan kamyonların ocak içi ve nakliye yolları (Şekil 3.2) , (Şekil 3.3)'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Açık Ocak Sahası Maden Çalışma Alanı



Şekil 3.2. Açık Ocak Sahası ve Nakliye Yolu



Şekil 3.3. Açık Ocak –Tesis Nakliye Yolu

3.4. Verilerin Toplanması

Araştırmada kullanılan veriler, açık ocak işletmesinde aktif olarak çalışan 1.Tip ve 2. Tip nakliyat kamyonlarına ait operasyonel kayıtlardan elde edilmiştir. 1.Tip ve 2.tip kamyonların teknik verileri olarak 1.Tip kamyonların motor hacimleri 11.950 cc olup 390-400 Hp arası motor gücü ve 1900-2000 Nm arası tork gücüne sahiptir. 2. Tip kamyonların ise motor hacimleri 12.380 cc olup 420-440 Hp arası motor gücü ve 2000-2200 arası tork gücündedir. İki farklı tipteki kamyonlar 8x4 kırkayak diye tabir edilen nakliye kamyonlarıdır. Veriler, işletme bünyesinde kullanılan bilgisayarlı filo yönetim sistemi ve yakıt takip sistemi aracılığıyla günlük olarak kaydedilen ölçümlerden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında her bir kamyon için aşağıdaki değişkenler kullanılmıştır:

- Tarih
- Kamyon tipi (1. Tip / 2. Tip)
- Taşınan yük miktarı (ton)
- Günlük yakıt tüketimi (lt)
- Sefer sayısı

- Km başına yakıt tüketimi (lt/km)
- Ton başına yakıt tüketimi (lt/ton)

Ham veriler Excel ortamında düzenlenmiş; eksik, tutarsız veya hatalı kayıtlar analiz dışı bırakılmıştır. Bakım, arıza ve olağandışı duruşların yaşandığı günlere ait veriler değerlendirmeye alınmamış, yalnızca normal operasyon koşullarını temsil eden gözlemler analiz edilmiştir.

3.5. Veri Ön İşleme ve Hesaplamalar

Ön işleme aşamasında, günlük yakıt tüketimi ve taşınan yük miktarları kullanılarak Km başına yakıt tüketimi (lt/km) ve Ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) hesaplanmıştır. Bu değişken, nakliyat kamyonlarının operasyonel performansını temsil eden temel performans göstergesi olarak ele alınmıştır.

Tüm kamyonların aynı güzergâh, benzer yol eğimi gibi, hesaplanan performans göstergelerinin karşılaştırılabilirliği sağlanmıştır. Böylece yakıt tüketimindeki farklılıkların; yük değişkenliği veya çevresel koşullardan ziyade araç marka özellikleri, motor performansı ve operasyonel davranış farklılıklarından kaynaklanma olasılığı daha net biçimde değerlendirilebilmiştir. Bu durum, çalışmanın iç geçerliliğini güçlendirmekte ve marka bazlı analizlerin güvenilirliğini artırmaktadır.

Elde edilen veri seti, ön analizler yapılarak uç değer kontrolünden geçirilmiş ve zaman sıralı yapısı korunarak İPK analizlerine uygun hale getirilmiştir. Süreç ortalaması, hareketli aralık ortalaması ve kontrol limitleri hesaplanmadan önce veri bütünlüğü değerlendirilmiş; ölçümlerin ardışık bağımlılık yapısı dikkate alınmıştır. Böylece kontrol kartlarının sürecin gerçek davranışını yansıtması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada nakliyat kamyonlarının yakıt sarfiyatları, tekil gözlemlerden oluşan ve kronolojik sırada ilerleyen zaman serisi niteliği taşıdığı için Shewhart Bireysel (I) ve Hareketli Aralık (MR) kontrol kartları kullanılarak analiz edilmiştir. I kartı ile süreç ortalaması etrafındaki sapmalar ve olası kontrol dışı sinyaller belirlenirken; MR kartı ile ardışık iki gözlem arasındaki değişim miktarı incelenmiş ve kısa dönemli varyasyon

karakteri ortaya konulmuştur. Böylece süreçteki hem merkez eğilimi hem de değişkenlik yapısı eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir.

Montgomery (2019)'a göre, birim zamanda yalnızca tek ölçüm alınan süreçlerde klasik $\bar{X}$–R veya $\bar{X}$–S kontrol kartlarının uygulanması istatistiksel olarak uygun değildir; bu tür durumlarda I–MR kartları tercih edilmelidir. Bu yaklaşım, alt grup oluşturulamayan süreçlerde varyasyonun tahmin edilmesini ve kontrol limitlerinin hareketli aralık ortalaması üzerinden hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca I–MR kartları, küçük veri setlerinde dahi süreç kararlılığını değerlendirme imkânı sunarak operasyonel performans analizlerinde pratik ve etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 3.1. İPK Kontrol Kartı Sabit Tablosu (Shewhart Sabitleri)

N	**d_2**	**d_3**	**D_3**	**D_4**	**A_2**	**A_3**	**B_3**	**B_4**
2	1.128	0.853	0.000	3.267	1.880	–	–	–
3	1.693	0.888	0.000	2.574	1.023	2.659	0.000	2.568
4	2.059	0.880	0.000	2.282	0.729	1.954	0.000	2.266
5	2.326	0.864	0.000	2.114	0.577	1.628	0.000	2.089
6	2.534	0.848	0.000	2.004	0.483	1.427	0.030	1.970
7	2.704	0.833	0.076	1.924	0.419	1.287	0.118	1.882
8	2.847	0.819	0.136	1.864	0.373	1.182	0.185	1.817
9	2.970	0.807	0.184	1.816	0.337	1.099	0.239	1.764
10	3.078	0.797	0.223	1.777	0.308	1.032	0.284	1.718
11	3.173	0.787	0.256	1.744	0.285	0.976	0.321	1.680
12	3.258	0.778	0.283	1.717	0.266	0.929	0.354	1.646
13	3.336	0.770	0.307	1.693	0.249	0.886	0.382	1.617
14	3.407	0.763	0.328	1.672	0.235	0.850	0.406	1.591
15	3.472	0.756	0.347	1.653	0.223	0.817	0.428	1.568

Kaynak=ISO 7870-2 ve Montgomery (2019)

Bu sabitler, kontrol limitlerini hesaplamak için kullanılır. Alt grup büyüklüğü **n** değerine göre değişir.

3.5.1. İPK Kontrol Kartı Hesaplamaları

1. Hareketli Aralık (Moving Range - MR): Ardışık iki ölçüm arasındaki mutlak farktır. Tablomuzda 1.gün değeri hesaplanamamaktadır. 1.gün başlangıç kabul edildiğinden ve bir önceki günü olmadığından dolayı bu yüzden ya boş bırakılmalı ya da 0 yazılmalıdır.

Formülü ise ; $MR_i = \left| X_i - X_{i-1} \right|$ (3.1)

2. Ortalama (CL - MR): Bir süreçte ardışık iki ölçüm arasındaki farkların ortalamasıdır.

(CL) Formülü ise ; $\overline{X} = \frac{\sum X_i}{n}$ (3.2)

(MR) Formülü ise ; $\overline{MR} = \frac{\sum MR_i}{n-1}$ (3.3)

3. Standart Sapma Tahmini (σ): Bir süreçteki gerçek standart sapmanın **(σ)** bilinmediği durumlarda, eldeki verilere bakarak sürecin yayılımını (değişkenliğini) tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir ölçüdür. İPK (İstatistiksel Proses Kontrol) içinde buna **(σ) =** sigma denir.

Formülü ise ; $\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2}$ (3.4)

3.5.2. I–MR Kontrol Kartı Limitlerin Hesaplanması

I–MR (Individuals–Moving Range) kontrol kartı, alt grup büyüklüğü n = 1 olan süreçlerde kullanılan Shewhart kontrol kartıdır.

İki ayrı grafik içerir:

- **I Kartı** (Bireysel Değerler)
- **MR Kartı** (Hareketli Aralık – Sürecin değişkenliği)

1. **I (Bireysel Değerler) Kontrol Kartı Limitleri**: I kartı, günlük veya tekil ölçümlerin kontrol edildiği karttır. (Örneğin kamyon günlük yakıt tüketimleri) Tüm bireysel ölçümlerin ortalamasıdır.
    - **CL – Merkez Çizgisi:** Tüm bireysel ölçümlerin ortalamasıdır.

Formülü ise ; $CL_I = \bar{I}$ (3.5)

- **UCL – Üst Kontrol Limiti :** Bireysel değerlerin izin verilen üst sınırıdır. Bu seviyeyi aşan ölçümler özel neden içerir. d_2 sabiti n = 2 için 1.128'dir.

Formülü ise ; $UCL_I = \bar{I} + 3\left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right)$ (3.6)

- **LCL – Alt Kontrol Limiti**: Bireysel ölçümlerin alt sınırıdır. Eğer sonuç 0'dan küçük çıkarsa, fiziksel olarak negatif değer olamayacağı için 0 kabul edilir.

Formülü ise ; $LCL_I = \bar{I} - 3\left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right)$ (3.7)

2. **MR (Hareketli Aralık) Kontrol Kartı Limitleri:** MR kartı, iki ardışık ölçüm arasındaki değişimin kontrol kartıdır.

Formülü ise ; $MR_i = \left| X_i - X_{i-1} \right|$ (3.8)

- **CL – Merkez Çizgisi:** MR değerlerinin ortalamasını ve sürecin doğal değişkenliğini temsil eder.

Formülü ise ; $CL_{MR} = \overline{MR}$ (3.9)

- **UCL – Üst Kontrol Limiti:** Bu limitin üzeri, süreçte kontrol dışı değişkenlik olduğunu gösterir. D_4 sabiti n = 2 için 3.267'dir.

Formülü ise ; $UCL_{MR} = D_4 \text{ X } \overline{MR}$ (3.10)

- **LCL – Alt Kontrol Limiti:** Sürecin alt sınırıdır. LCL < 0 çıkarsa fiziksel olarak anlamlı olamayacağı, hiçbir kamyonun yakıt tüketimi sıfırın altında olamayacağı için sürecin alt sınırı 0 kabul edilir.

Formülü ise ; $LCL_{MR} = D_3 \text{ X } \overline{MR}$ (3.11)

n = 2 için sabiti için $D_3 = 0$' dır.

Bu nedenle ; $LCL_{MR} = 0$'dır.

3.6. Veri Analizi Yöntemi

Bu çalışmada nakliyat kamyonlarının yakıt tüketimi performansının değerlendirilmesi amacıyla Shewhart kontrol kartları kullanılmıştır. Alt grup oluşturulmasına olanak veren veri yapısı nedeniyle analizler $\bar{X}$–R kontrol kartları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Kontrol kartları aracılığıyla:

- Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı,
- Yakıt tüketimindeki değişkenliğin genel nedenlerden mi yoksa özel nedenlerden mi kaynaklandığı, incelenmiştir.
- Kamyon tipleri arasındaki performans farklılıkları incelenmiştir.

3.7. Nakliyat sürecinin İPK Değerlendirilmesi

Kontrol kartlarından elde edilen bulgular doğrultusunda, nakliyat sürecinin operasyonel istikrarı ve süreç içi değişkenlik düzeyi ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Kontrol sınırları dışına çıkan gözlemler; yol eğimi ve taşıma mesafesi, saha koşulları, taşınan malzemenin yoğunluğu ve tane boyutu gibi yığın özellikleri ile operatör davranışı, kamyon yükleme oranları ve bakım durumu gibi operasyonel faktörler dikkate alınarak yorumlanmıştır. Bu kapsamda, yakıt tüketiminde ve taşınan yüklerin tonajlarında meydana gelen sapmaların yalnızca rastlantısal nedenlerden kaynaklanmadığı, belirli dönemlerde sistematik etkilere bağlı olarak ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

Ayrıca, süreçte gözlenen bu sapmaların tekrar edebilirliği incelenerek, nakliyat operasyonunun istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı değerlendirilmiş; kontrol dışı sinyallerin süreç iyileştirme ve yakıt verimliliğini artırmaya yönelik önleyici faaliyetler için erken uyarı niteliği taşıdığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, açık ocak işletmelerinde nakliyat performansının izlenmesinde İPK yöntemlerinin etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

3.8. Analizlerin Katkısı

Uygulanan istatistiksel proses kontrol yaklaşımı sayesinde, açık ocak madenciliğinde nakliyat kamyonlarının**:**

- Yakıt tüketim davranışları,
- Süreç içi değişkenlik düzeyleri,
- Operasyonel istikrarları

nesnel ve sayısal göstergelerle değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarının, açık ocak madenciliğinde enerji verimliliğinin artırılmasına ve yakıt maliyetlerinin azaltılmasına yönelik karar destek süreçlerine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. 1.Tip Kamyonların Yakıt Tüketimi İPK (Shewhart) Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde işletmede nakliyat işinde kullanılan 6 adet ve her biri 32-50 ton aralığında malzeme taşıyan 1.Tip kamyonların performans durumları ve yakıt sarfiyatları konusunda Shewhart kontrol kartları (Çizelge ve grafik) üzerinde yorumlanmıştır.

Bunu için her bir kamyona ait haftalık yakıt sarfiyat verileri incelenmiştir. Araç için gün bazında verilen motorin miktarı, başlangıç ve bitiş kilometre değerleri, toplam yapılan mesafe, kilometre başına yakıt tüketimi (L/km), sefer sayısı ve sefer başına taşınan ortalama tonaj değerleri değerlendirilmiştir. 1.Tip 1 Nolu kamyona ait elde edilen veriler Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	152	75.343	75.497	**0,99**	154	14	36,270
2	Salı	147	75.497	75.588	**1,62**	91	8	42,140
3	Çarşamba	216	75.588	75.883	**0,73**	295	27	39,790
4	Perşembe	128	75.883	75.961	**1,64**	78	7	43,880
5	Cuma	101	75.961	76.044	**1,22**	83	8	40,590
6	Cumartesi	170	76.044	76.180	**1,25**	136	12	41,050
7	Pazar	190	76.180	76.331	**1,26**	151	14	41,750

Çizelge 4.1 incelendiğinde, haftalık toplam mesafenin günlere göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir. En yüksek günlük mesafe Çarşamba günü 295 km olarak kaydedilirken, en düşük mesafe Perşembe günü 78 km olarak gerçekleşmiştir.

Yakıt sarfiyatı (lt/km) açısından değerlendirildiğinde, en düşük tüketim (0,73 lt/km) ile çarşamba günü, en yüksek tüketim ise (1,64 lt/km) ile perşembe günü gerçekleşmiştir. Benzer şekilde salı günü de (1,62 lt/km) değeri ile yüksek tüketim gözlenmiştir.

Sefer sayıları incelendiğinde en yoğun operasyonun 27 sefer ile çarşamba günü, en düşük sefer sayısının ise 7 sefer ile perşembe günü olduğu belirlenmiştir. Sefer başına taşınan ortalama tonajın (36,270 ton ile 43,880 ton) arasında değiştiği ve en yüksek ortalama tonajın perşembe günü gerçekleştiği görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, sefer sayısının ve toplam kilometrenin arttığı günlerde birim kilometre başına yakıt tüketiminin daha düşük gerçekleştiği dikkat çekmektedir.

Elde edilen bulgular, araç operasyon yoğunluğu ile yakıt verimliliği arasında ilişki olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle çarşamba günü yüksek sefer sayısı 27 sefer ve 295 km uzun mesafeye rağmen en düşük yakıt tüketim değerinin (0,73 lt/km) elde edilmesi, aracın sabit ve düzenli çalışma koşullarında daha verimli performans gösterdiğini göstermektedir. Buna karşılık, perşembe günü düşük mesafe ve sefer sayısına rağmen yakıt tüketiminin yüksek çıkması (1,64 lt/km), kısa mesafeli ve sık dur-kalk operasyonlarının yakıt verimliliğini olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.

1. Tip 1 Nolu kamyonun haftalık operasyon performansı tonaj ve birim yakıt tüketimi açısından değerlendirilmiştir. Gün bazında taşınan toplam yük miktarı, sefer başına ortalama kilometre (km/sefer), sefer başına yakıt tüketimi (lt/Sefer) ve ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	507,780	11	10,86	**0,30**
2	Salı	337,120	11	18,38	**0,44**
3	Çarşamba	1074,33	11	8,00	**0,20**
4	Perşembe	307,160	11	18,29	**0,42**
5	Cuma	324,720	10	12,63	**0,31**
6	Cumartesi	492,60	11	14,17	**0,35**
7	Pazar	584,50	11	13,57	**0,33**

Çizelge 4.2 incelendiğinde, haftalık taşınan toplam tonajın günlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. En yüksek toplam taşıma miktarı 1074,33 ton ile çarşamba günü gerçekleşirken, en düşük taşıma miktarı 307,160 ton ile perşembe günü kaydedilmiştir.

Sefer başına ortalama kilometre değerinin hafta genelinde büyük ölçüde sabit olduğu (çoğunlukla 11 km/sefer) ve yalnızca cuma günü 10 km/sefer olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum operasyon mesafesinin genel olarak standart bir güzergâhta sürdürüldüğünü göstermektedir.

Sefer başına yakıt tüketimi incelendiğinde, en düşük değer 8,00 (lt/Sefer) ile çarşamba günü, en yüksek değer ise 18,38 (lt/Sefer) ile salı günü gerçekleşmiştir. Benzer şekilde perşembe günü de 18,29 (lt/Sefer) değeri ile yüksek tüketim gözlenmiştir.

Ton başına yakıt tüketimi açısından değerlendirildiğinde, en düşük tüketim (0,20 lt/ton) ile çarşamba günü, en yüksek tüketim ise (0,44 lt/ton) ile salı günü kaydedilmiştir. Perşembe günü de (0,42 lt/ton) değeri ile yüksek tüketim söz konusudur. Genel olarak değerlendirildiğinde, kamyonların sefer sayısı arttığında ton başına yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir.

Elde edilen bulgular, araç verimliliğinin operasyon yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olabileceğini göstermektedir. Özellikle çarşamba günü hem en yüksek toplam tonajın taşınması (1074,33 ton), en yüksek sefer sayısı (295 km) hem de ton başına yakıt tüketiminin en düşük seviyede gerçekleşmesi (0,20 lt/ton), aracın kapasiteye yakın ve düzenli çalışma koşullarında daha verimli performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Buna karşılık salı ve perşembe günlerinde taşınan toplam tonajın nispeten yüksek ve sefer sayılarının düşük olmasına rağmen yüksek kapasite ile yapılan taşımaların ve düşük sefer sayılarının (km) yakıt verimliliğini olumsuz etkilediğini düşündürmektedir. Bu durum, ağır vasıta operasyonlarında yük optimizasyonunun maliyet yönetimi açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Sefer mesafesinin haftalık olarak büyük ölçüde sabit olması, yakıt tüketimindeki farklılığın esas olarak yükleme verimliliği ve operasyon planlamasından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. 1. Tip 1 Nolu kamyon için ton başına yakıt tüketiminin azaltılabilmesi adına sefer planlamasının kapasite kullanımını maksimize edecek şekilde düzenlenmesi ve düşük tonajlı operasyonların minimize edilmesi önerilebilir.

1. Tip 1 nolu kamyonun lt/km cinsinden I- MR hesaplaması ;

- **Sarfiyat Verileri ;**

1. gün = **0,99**
2. gün = **1,62**
3. gün = **0,73**
4. gün = **1,64**
5. gün = **1,22**
6. gün = **1,25**
7. gün = **1,26**

- **Hareketli Aralıklar (MR) Hesabı;**

Formül = $MR_i = |X_i - X_{i-1}|$ (4.1)

1. Tip 1 Nolu kamyona ait günlük yakıt sarfiyat değerleri kullanılarak hareketli aralık (Moving Range – MR) analizi yapılmıştır. MR yöntemi, ardışık iki gün arasındaki tüketim farkının mutlak değerinin hesaplanmasına dayanmakta olup tüketimdeki değişkenliği ortaya koymayı amaçlamaktadır. Günlük sarfiyat değerleri ve hesaplanan MR sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun Hesaplanmış MR Çizelgesi

Gün	**Sarfiyat**	**MR Hesabı**	**MR**
1	0,99	0	**0**
2	1,62	|1,62 − 0,99|	**0,63**
3	0,73	|0,73 − 1,62|	**0,89**
4	1,64	|1,64 − 0,73|	**0,91**
5	1,22	|1,22 − 1,64|	**0,42**
6	1,25	|1,25 − 1,22|	**0,03**
7	1,26	|1,26 − 1,25|	**0,01**

Çizelge 4.3 incelendiğinde, ilk gün için referans değer olarak MR=0 alınmıştır. İkinci günden itibaren ardışık günler arasındaki tüketim farkları hesaplanmıştır.

En yüksek hareketli aralık değeri 0,91 ile 3. ve 4. günler arasında gerçekleşmiştir. Bunu 0,89 değeri ile 2. ve 3. günler arasındaki değişim takip etmektedir. Bu durum, haftanın ilk yarısında yakıt tüketiminde belirgin dalgalanmalar olduğunu göstermektedir.

Haftanın ilerleyen günlerinde ise MR değerlerinin belirgin şekilde düştüğü görülmektedir. Özellikle 6. ve 7. günler arasında MR değeri (0,01) olarak hesaplanmış olup bu durum tüketimin oldukça stabil hale geldiğini göstermektedir. Benzer şekilde 5.–6. günler arasında da değişim oldukça sınırlıdır (MR=0,03). Genel olarak değerlendirildiğinde, haftanın başında yüksek değişkenlik, son günlerinde ise daha dengeli bir tüketim eğilimi gözlenmiştir.

Hareketli aralık analiz sonuçları, 1. Tip 1 Nolu kamyonun yakıt tüketim performansının hafta boyunca homojen dağılmadığını göstermektedir. Özellikle haftanın ilk yarısında gözlenen yüksek MR değerleri, operasyon koşullarında düzensizlik, değişken yükleme miktarları veya operatör davranışlarının etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Buna karşılık haftanın son günlerinde MR değerlerinin düşmesi, operasyon planlamasının daha dengeli hale geldiğini veya çalışma koşullarının stabilize olduğunu göstermektedir. Tüketimdeki dalgalanmanın azalması, maliyet kontrolü açısından olumlu bir göstergedir.

MR analizinin ortaya koyduğu bu değişkenlik, yalnızca ortalama tüketim değerlerinin değerlendirilmesinin yeterli olmadığını; performansın süreklilik ve istikrar açısından da analiz edilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yüksek dalgalanma gösteren günler için operasyonel nedenlerin ayrıca incelenmesi, yakıt yönetiminde iyileştirme sağlayabilir.

- **Ortalama – Merkez Çizgi (CL)**

$$\overline{X} = \left(\frac{0.99+1.62+0.73+1.64+1.22+1.25+1.26}{7}\right)$$

$$\overline{X} = \frac{8.71}{7} = \mathbf{1.2442}\ \text{L}$$

- **M$\bar{R}$ Hesabı**

$$\overline{MR} = \left(\frac{0.63+0.89+0.91+0.42+0.03+0.01}{6}\right)$$

$$\overline{MR} = \frac{2.89}{6} = \mathbf{0.4816}$$

- **Standart Sapma Tahmini - (Sıgma)**

Shewhart Formülü = $\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2}$

n = 2 olduğundan , d_2 = **1.128**

$$\sigma = \frac{0.4816}{1.128} = \mathbf{0.4270}$$

- **I Kontrol Kartı Üst ve Alt Sınır (UCL – LCL)**

Formül = UCL = $\bar{I} + 3\sigma$

LCL = $\bar{I} - 3\sigma$

$3\sigma = 3 \times 0.4270 =$ **1.2810**

UCL = 1.2442 + 1.2810 = **2.5253**

LCL = 1.2442 – 1.2810 = **- 0.0367**

LCL = **0**

- **MR Kartı Üst ve Alt Sınır UCL – LCL**

Formül = $UCL_{MR} = D_4 \text{ X } \overline{MR}$

$LCL_{MR} = D_3 \text{ X } \overline{MR}$

n = 2 olduğundan , D_4 = **3.267** , D_3 = **0**

UCL_{MR} = 3.267 x 0.4816 = **1.5736**

LCL_{MR} = 0 x 0.4816 = **0**

1.Tip 1 nolu kamyonun L/ton cinsinden I ve MR hesaplanması ;

Toplam Ton Hesabı

Formül = Toplam Ton = Sefer Sayısı x (Ton/Sefer)

1. Tip 1 Nolu kamyonun haftalık taşıma performansı sefer sayısı ve tonaj açısından değerlendirilmiştir. Gün bazında gerçekleştirilen sefer sayısı, sefer başına taşınan ortalama ton miktarı ve günlük toplam taşınan yük değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.4'te sunulmuştur

Çizelge 4.4. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun Toplam Taşıdığı Yük Çizelgesi

Gün	Sefer Sayısı	Ton/Sefer	Toplam Ton
Pazartesi	14	36,270	507,780
Salı	8	42,140	337,120
Çarşamba	27	39,790	1074,33
Perşembe	7	43,880	307,160
Cuma	8	40,590	324,720
Cumartesi	12	41,050	492,60
Pazar	14	41,750	584,50

Çizelge 4.4 incelendiğinde, haftalık toplam taşınan yük miktarının günlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. En yüksek toplam tonaj 1074,33 ton ile çarşamba günü gerçekleşmiştir. Bu gün aynı zamanda 27 sefer ile haftanın en yoğun operasyon günüdür.

En düşük toplam taşıma miktarı ise 307,160 ton ile perşembe günü kaydedilmiştir. Bu gün gerçekleştirilen sefer sayısının 7 ile haftanın en düşük seviyesinde olduğu görülmektedir.

Sefer başına taşınan tonaj değerleri incelendiğinde, hafta boyunca nispeten dengeli bir dağılım olduğu dikkat çekmektedir. Ton/sefer değeri (36,270 ton) ile (43,880 ton) arasında değişmektedir. En yüksek sefer başı tonaj perşembe günü (43,880 ton), en düşük değer ise pazartesi günü (36,270 ton) olarak belirlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, toplam taşınan tonajın esas olarak sefer sayısına bağlı olarak değiştiği, sefer başına yük miktarının ise haftalık bazda büyük ölçüde istikrarlı olduğu görülmektedir.

Elde edilen bulgular, 1. Tip 1 Nolu kamyonun üretim kapasitesinin sefer sayısındaki değişime duyarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle çarşamba günü yüksek toplam tonajın temel nedeni, sefer başına yük artışından ziyade sefer sayısındaki belirgin artıştır. Bu durum operasyon planlamasının günlük üretim miktarı üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Sefer başına taşınan tonajın hafta boyunca belirli bir bant aralığında seyretmesi, aracın kapasite kullanımının genel olarak dengeli olduğunu göstermektedir. Ancak düşük sefer sayısının gerçekleştiği günlerde toplam üretim miktarında belirgin düşüş yaşandığı görülmektedir.

Bu sonuçlar, ağır vasıta performans değerlendirmelerinde yalnızca ton/sefer değerinin değil, günlük sefer organizasyonunun da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Operasyon planlamasında sefer sürekliliğinin sağlanması, toplam üretim miktarının artırılmasına katkı sağlayabilir.

- **L/ton I (Bireysel değerler) hesabı,**

Formül = $I = \frac{\text{Motorin}}{\text{Toplam Ton}}$

1. Tip 1 Nolu kamyonun haftalık yakıt verimliliği (lt/ton) göstergesi üzerinden değerlendirilmiştir. Gün bazında verilen motorin miktarı ile taşınan toplam tonaj dikkate alınarak birim yük başına yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun lt/ton Çizelgesi.

Gün	Motorin (lt)	Toplam Ton	L/ton (lt/t) (I)	ORTALAMA
Pazartesi	152	507,780	0,30	
Salı	147	337,120	0,44	
Çarşamba	216	1074,33	0,20	
Perşembe	128	307,160	0,42	$\bar{I}$ = **0.333**
Cuma	101	324,720	0,31	
Cumartesi	170	492,600	0,35	
Pazar	190	584,500	0,33	

Çizelge 4.5 incelendiğinde, lt/ton değerlerinin hafta boyunca değişkenlik gösterdiği görülmektedir. En düşük lt/ton değeri (0,20 lt/ton) ile çarşamba günü hesaplanmıştır. Aynı gün (1074,33 ton) ile haftanın en yüksek toplam taşıma miktarına ulaşılmıştır. En yüksek lt/ton değeri ise (0,44 lt/ton) ile salı günü gerçekleşmiştir. Benzer şekilde perşembe günü de (0,42 lt/ton) değeri ile yüksek birim yakıt tüketimi gözlenmiştir. Haftanın diğer günlerinde (0,30–0,35 lt/ton) değerleri aralığında seyretmiş olup, bu durum nispeten dengeli bir tüketim eğilimine işaret etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, taşınan toplam tonajın arttığı günlerde lt/ton değerinin düştüğü; düşük tonajlı günlerde ise birim yakıt tüketiminin yükseldiği görülmektedir.

lt/ton göstergesi, ağır vasıta performans değerlendirmelerinde doğrudan maliyet etkinliğini yansıtan temel parametrelerden biridir. Elde edilen bulgular, 1. Tip 1 Nolu kamyonun yüksek taşıma kapasitesiyle çalıştığı günlerde daha verimli yakıt kullanımı sağladığını göstermektedir.

Özellikle çarşamba günü yüksek toplam tonaj ile birlikte en düşük lt/ton değerinin elde edilmesi, kapasite kullanım oranının yakıt verimliliği üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık salı ve perşembe günlerinde düşük toplam tonajla birlikte yüksek lt/ton değerlerinin hesaplanması, eksik kapasite ile yapılan operasyonların maliyet etkinliğini azalttığını düşündürmektedir.

Bu durum, yakıt tüketiminin yalnızca kilometre bazlı değil; taşınan yük miktarı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Operasyon planlamasında araçların mümkün olduğunca optimal yük kapasitesine yakın çalıştırılması, birim ton başına yakıt maliyetinin düşürülmesine katkı sağlayabilir. Sonuç olarak, L/ton analizi 1. Tip 1 Nolu kamyon için verimliliğin operasyon yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle düşük doluluk oranlarıyla gerçekleştirilen seferlerin birim yakıt tüketimini artırdığı görülmektedir. Bu nedenle yükleme planlaması ile nakliye organizasyonunun entegre biçimde yürütülmesi, hem maliyet kontrolü hem de enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir. Ayrıca süreç performansının sürdürülebilirliği için operasyonel disiplinin korunması gerekmektedir.

- **MR (Hareketli Aralık) Değerleri hesabı:**

1. Tip 1 Nolu kamyonun L/ton değerlerine ait hareketli aralık (Moving Range – MR) analizi yapılmıştır. Günlük L/ton değerleri (I) esas alınarak ardışık günler arasındaki mutlak farklar hesaplanmış ve verimlilikteki değişkenlik ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. 1.Tip 1 Nolu Kamyonun lt/ton Çizelgesi.

Gün	I	MR
Pazartesi	0,30	0
Salı	0,44	0,14
Çarşamba	0,20	0,24
Perşembe	0,42	0,22
Cuma	0,31	0,11
Cumartesi	0,35	0,03
Pazar	0,33	0,02

Çizelge 4.6 incelendiğinde, ilk gün için MR değeri referans olarak 0 alınmıştır. İkinci günden itibaren ardışık günler arasındaki değişimler hesaplanmıştır. En yüksek MR değeri (0,24 lt/ton) ile salı–çarşamba günleri arasında gerçekleşmiştir. Bunu (0,22 lt/ton) değeri ile çarşamba–perşembe arasındaki değişim takip etmektedir. Bu durum, haftanın ilk yarısında lt/ton değerlerinde belirgin dalgalanmalar olduğunu göstermektedir.

Haftanın ilerleyen günlerinde ise MR değerlerinin kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Özellikle cumartesi (0,03) ve pazar (0,02) günlerinde değişkenlik oldukça düşük seviyededir. Bu durum, lt/ton değerlerinin hafta sonuna doğru daha dengeli bir seyir izlediğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, haftanın başında yüksek değişkenlik, son günlerinde ise daha stabil bir verimlilik eğilimi gözlenmiştir. lt/ton değerlerine ilişkin MR analizi, 1. Tip 1 Nolu kamyonun yakıt verimliliğinin hafta boyunca homojen bir dağılım göstermediğini ortaya koymaktadır. Özellikle haftanın ilk yarısında gözlenen yüksek MR değerleri, operasyonel koşullarda değişkenlik olduğunu düşündürmektedir. Bu değişkenlik yük miktarındaki farklılıklar, güzergâh yoğunluğu veya günlük planlama farklılıklarından kaynaklanmış olabilir.

Hafta sonuna doğru MR değerlerinin düşmesi, verimlilik göstergesinin daha istikrarlı hale geldiğini göstermektedir. Bu durum, operasyon planlamasının belirli bir düzene oturduğunu veya çalışma koşullarının daha dengeli hale geldiğini düşündürmektedir.

Verimlilik analizlerinde yalnızca ortalama L/ton değerlerinin değerlendirilmesi yeterli değildir; bu değerlerin sürekliliği ve istikrarı da önem taşımaktadır. Çizelge 4.6'da elde edilen bulgular, 1. Tip 1 Nolu kamyonun yakıt performansında belirli günlerde iyileştirme potansiyeli bulunduğunu göstermektedir.

- **I–MR İçin Kontrol Limitleri**

Ortalama değerler: $\overline{\text{MR}} = \left(\frac{0.137+0.235+0.215+0.105+0.034+0.020}{6}\right)$ = **0.1243**

I Kartı limitleri (d_2 = 1.128) :

$\sigma = \frac{\overline{\text{MR}}}{d_2}$, $\sigma = \frac{0.1243}{1.128}$ = **0.1102**

$\text{UCL}_\text{I} = \bar{\text{I}} + 3\sigma$ = **0.663** , $\text{LCL}_\text{I} = \bar{\text{I}} - 3\sigma$ = **0.003**

MR Kartı limitleri (D_3 = 0) , (D_4 = 3.267) :

$\text{UCL}_\text{MR} = D_4 \text{ X } \overline{\text{MR}}$, UCL_MR = 3.267 X 0.1243 = **0.406**
$\text{LCL}_\text{MR} = D_3 \text{ X } \overline{\text{MR}}$, LCL_MR = 0 x 0.1243 = **0**

1. Tip 1 Nolu kamyona ait kilometre başına yakıt tüketim değerleri (lt/km) için Bireysel Gözlem – Hareketli Aralık (I-MR) kontrol analizi uygulanmıştır. Günlük sarfiyat değerleri kullanılarak süreç ortalaması (CL), üst kontrol limiti (UCL) ve alt kontrol limiti (LCL) hesaplanmış; ayrıca ardışık günler arasındaki değişkenliği göstermek amacıyla MR, MR ortalama (MR CL) ve MR kontrol limitleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,99**	1,24	2,53	0	0	0,48	1,57	0
2	**1,62**	1,24	2,53	0	0,63	0,48	1,57	0
3	**0,73**	1,24	2,53	0	0,89	0,48	1,57	0
4	**1,64**	1,24	2,53	0	0,91	0,48	1,57	0
5	**1,22**	1,24	2,53	0	0,42	0,48	1,57	0
6	**1,25**	1,24	2,53	0	0,03	0,48	1,57	0
7	**1,26**	1,24	2,53	0	0,01	0,48	1,57	0

Çizelge 4.7 incelendiğinde, kilometre başına yakıt tüketimi için hesaplanan merkez çizgi CL değeri (1,24 lt/km) olarak belirlenmiştir. Üst kontrol limiti UCL (2,53 lt/km), alt kontrol limiti (LCL) ise 0 olarak hesaplanmıştır.

Günlük sarfiyat değerlerinin tamamının kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. En yüksek sarfiyat değeri (1,64 lt/km) ile 4. gün gerçekleşmiş olup bu değer üst kontrol limitinin altında kalmıştır. En düşük sarfiyat değeri ise (0,73 lt/km) ile 3. gün kaydedilmiş ve alt kontrol limitinin üzerinde yer almıştır.

MR analizine bakıldığında, MR ortalaması MR CL (0,48 lt/km) olarak hesaplanmıştır. En yüksek MR değeri (0,91 lt/km) ile 4. gün gerçekleşmiş olup ancak MR üst kontrol limiti olan (1,57 lt/km) değerini aşmamıştır. Haftanın son günlerinde MR değerlerinin belirgin şekilde azaldığı ve 0,01 seviyesine kadar düştüğü görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, hem I grafiği hem de MR grafiği açısından süreç kontrol limitleri dışına çıkmamıştır.

I-MR kontrol grafiği sonuçları, 1. Tip 1 Nolu kamyonun kilometre başına yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. Günlük tüketim değerlerinin tamamının kontrol sınırları içerisinde kalması, sistematik bir sapma veya olağandışı bir durumun oluşmadığını ortaya koymaktadır.

Haftanın ilk yarısında gözlenen nispeten yüksek MR değerleri sürecin değişkenliğini artırmış olsa da bu değişkenlik kontrol limitlerini aşmamıştır. Bu durum, gözlenen dalgalanmaların rastlantısal (common cause variation) nitelikte olduğunu düşündürmektedir.

Haftanın son günlerinde MR değerlerinin düşmesi, sürecin daha stabil hale geldiğini göstermektedir. Bu sonuç, operasyon planlamasının hafta ilerledikçe daha dengeli bir yapıya kavuştuğunu düşündürmektedir.

Sonuç olarak, kilometre başına yakıt tüketimi açısından değerlendirildiğinde 1. Tip 1 Nolu kamyonun performansı kontrol altında olmakla birlikte, haftanın ilk yarısındaki dalgalanmaların azaltılması durumunda süreç daha da iyileştirilebilir. Bu kapsamda operasyon planlaması ve yük dağılımının daha dengeli yapılması önerilebilir.

1. Tip 1 Nolu kamyonun lt/ton değerleri için Bireysel Gözlem – Hareketli Aralık (I-MR) kontrol analizi uygulanmıştır. Günlük birim yakıt tüketim değerleri esas alınarak süreç ortalaması (CL), üst kontrol limiti (UCL) ve alt kontrol limiti (LCL) hesaplanmış; ayrıca ardışık günler arasındaki değişkenliği göstermek amacıyla MR değerleri ve MR kontrol limitleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I - MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR_CL	MR_UCL	MR_LCL
1	**0,30**	0,33	0,66	0	0	0,12	0,41	0
2	**0,44**	0,33	0,66	0	0,14	0,12	0,41	0
3	**0,20**	0,33	0,66	0	0,24	0,12	0,41	0
4	**0,42**	0,33	0,66	0	0,22	0,12	0,41	0
5	**0,31**	0,33	0,66	0	0,11	0,12	0,41	0
6	**0,35**	0,33	0,66	0	0,03	0,12	0,41	0
7	**0,33**	0,33	0,66	0	0,02	0,12	0,41	0

Çizelge 4.8 incelendiğinde, L/ton değerleri için hesaplanan merkez çizgi CL (0,33 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Üst kontrol limiti UCL (0,66 lt/ton), alt kontrol limiti LCL ise (0 lt/ton)olarak hesaplanmıştır.

Günlük sarfiyat değerlerinin tamamının kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. En yüksek sarfiyat değeri 2. gün gerçekleşmiş olup üst kontrol limitinin oldukça altında kalmıştır. En düşük sarfiyat değeri ise 3. gün kaydedilmiş ve alt kontrol limitinin üzerinde yer almıştır.

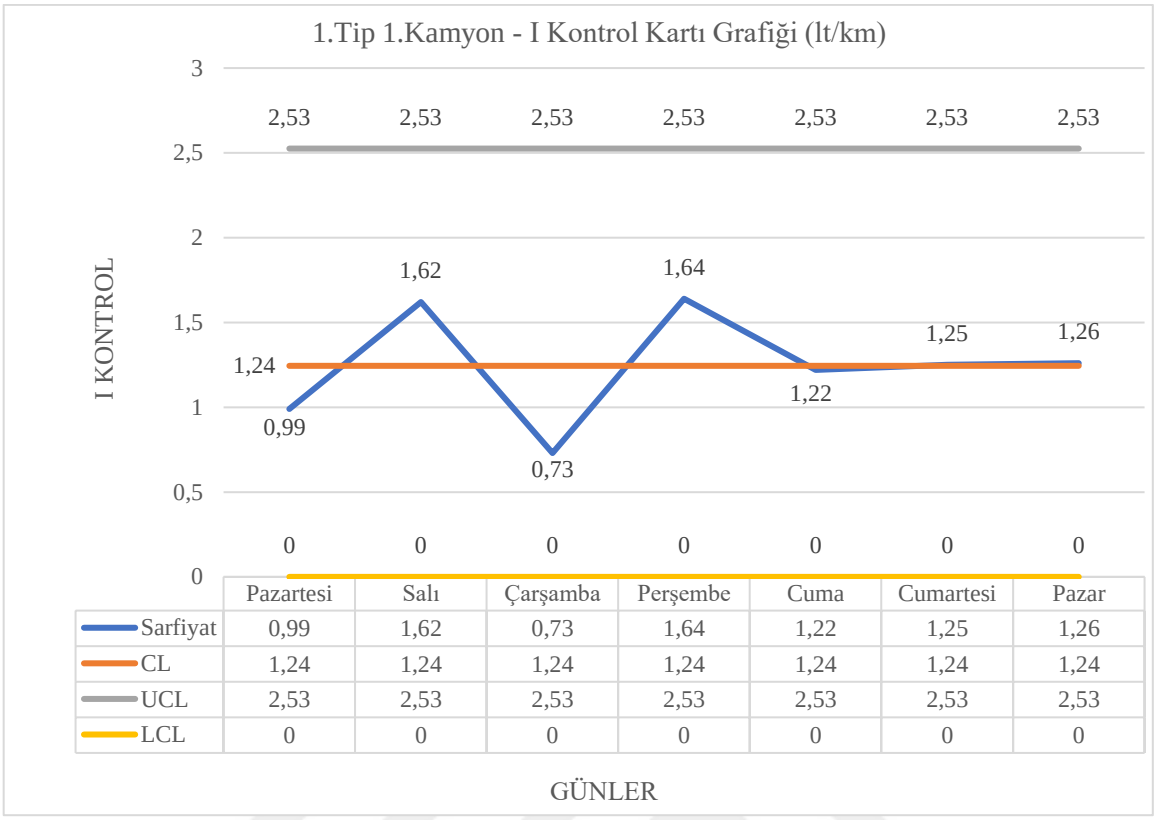
MR analizine bakıldığında, MR ortalaması MR CL (0,12 lt/ton) olarak hesaplanmıştır. En yüksek MR değeri (0,24 lt/ton) ile 3. gün gerçekleşmiş olup ancak MR üst kontrol limiti olan (0,41 lt/ton) değerini aşmamıştır. Haftanın son günlerinde MR değerlerinin belirgin şekilde azaldığı ve son gün 0,02 seviyesine kadar düştüğü görülmektedir.

Genel olarak hem bireysel gözlem (I) hem de hareketli aralık (MR) değerlerinin kontrol sınırları içerisinde kaldığı belirlenmiştir. I-MR analiz sonuçları, 1. Tip 1 Nolu kamyonun ton başına yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. lt/ton değerlerinin tamamının kontrol limitleri içerisinde kalması, süreçte özel nedenli (assignable cause) bir sapma olmadığını düşündürmektedir.

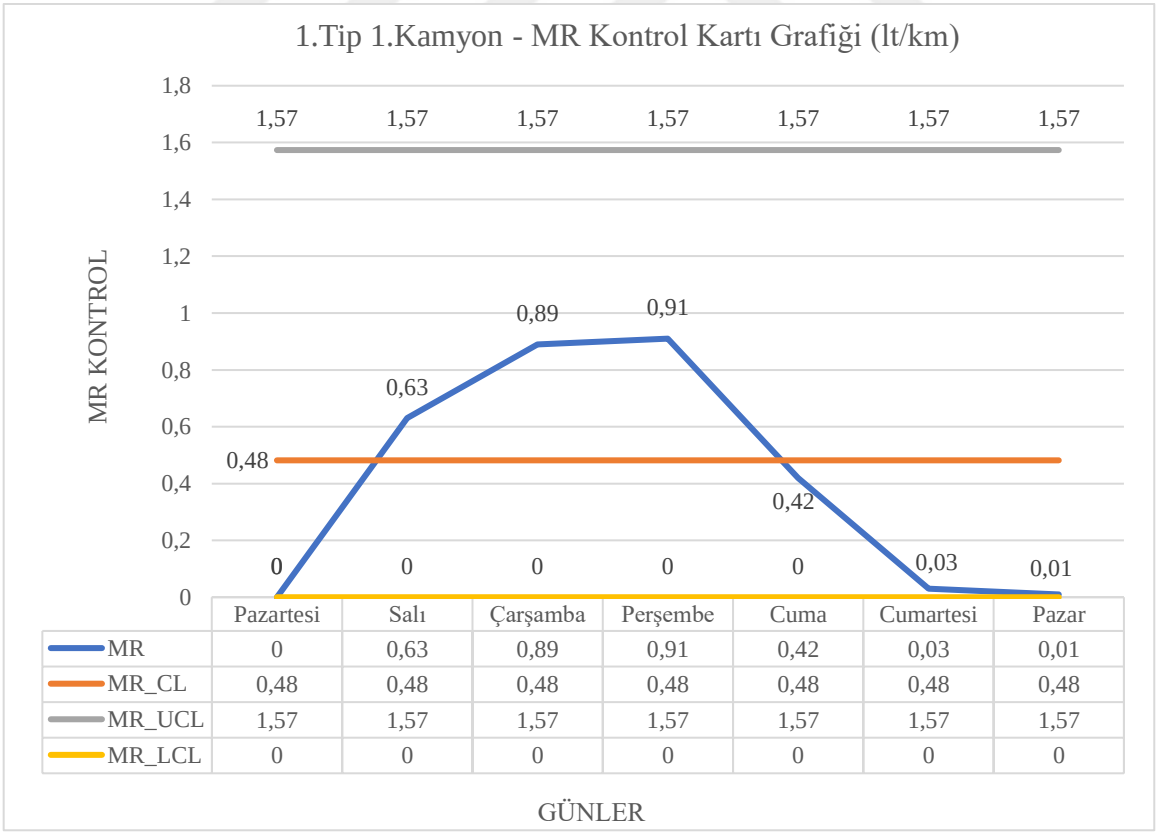
Haftanın ilk yarısında gözlenen nispeten yüksek MR değerleri, verimlilikte geçici dalgalanmalar yaşandığını göstermektedir. Ancak bu dalgalanmaların kontrol limitlerini aşmaması, değişkenliğin doğal süreç varyasyonu (common cause variation) kapsamında değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Haftanın son günlerinde MR değerlerinin azalması ve son gün sıfıra yaklaşması, sürecin daha dengeli hale geldiğini göstermektedir. Bu durum, operasyon planlamasının ve yük optimizasyonunun hafta ilerledikçe daha istikrarlı bir yapıya kavuştuğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak, lt/ton bazlı yakıt performansı hem verimlilik hem de süreç istikrarı açısından kontrol altında olmakla birlikte, haftanın ilk yarısındaki dalgalanmaların azaltılması performansın daha sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlayabilir.

1. Tip 1 Nolu kamyona ait kilometre başına yakıt tüketim değerlerinin (lt/km) süreç kontrol durumu değerlendirilmiştir. Günlük bireysel gözlem (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol grafikleri oluşturularak süreç ortalaması ve kontrol limitleri dikkate alınmıştır. Elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil 4.1'de sunulmuştur.



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	0,99	1,62	0,73	1,64	1,22	1,25	1,26
CL	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
UCL	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
LCL	0	0	0	0	0	0	0



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,63	0,89	0,91	0,42	0,03	0,01
MR_CL	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
MR_UCL	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

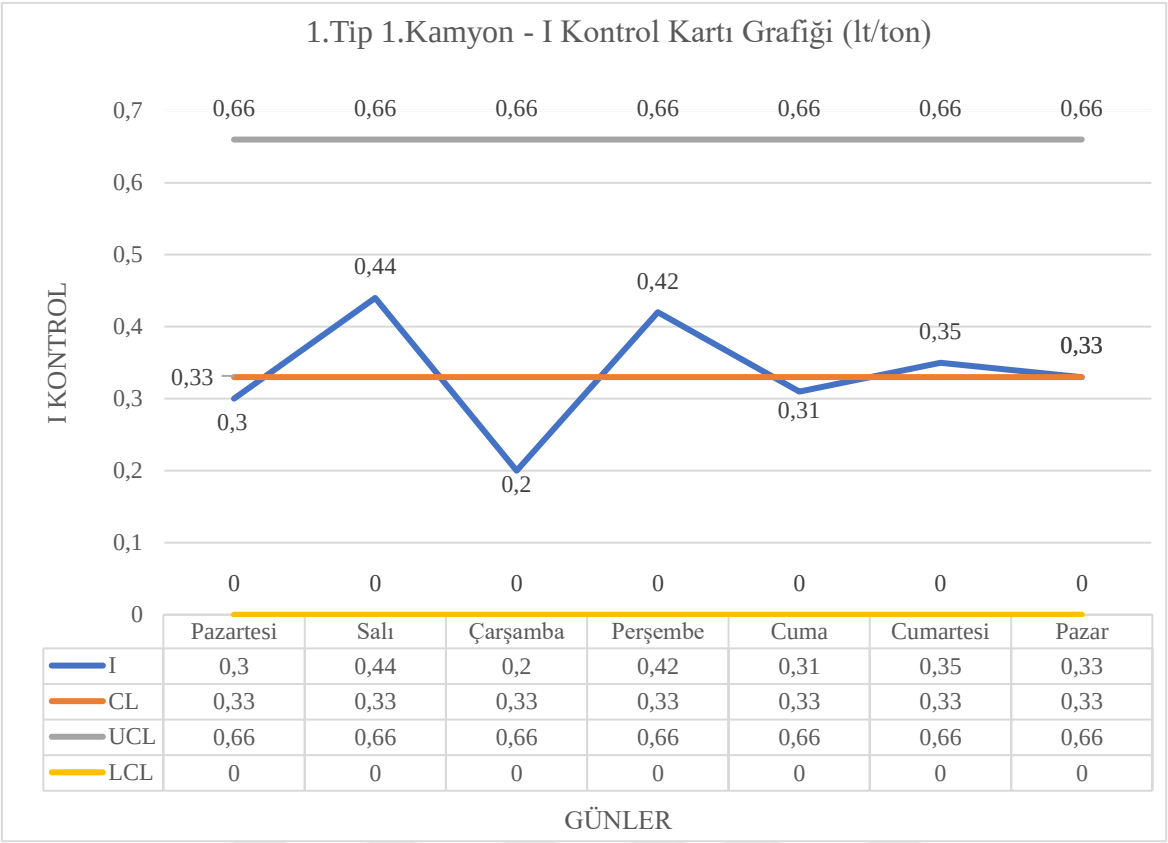
Şekil 4.1. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)

Şekil 4.1 incelendiğinde, bireysel gözlem (I) grafiğinde günlük lt/km değerlerinin tamamının üst ve alt kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Süreç ortalaması (1,24 lt/km) olarak hesaplanmış olup, gözlemler bu değer etrafında dağılım göstermektedir. Kontrol limitleri dışına çıkan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.

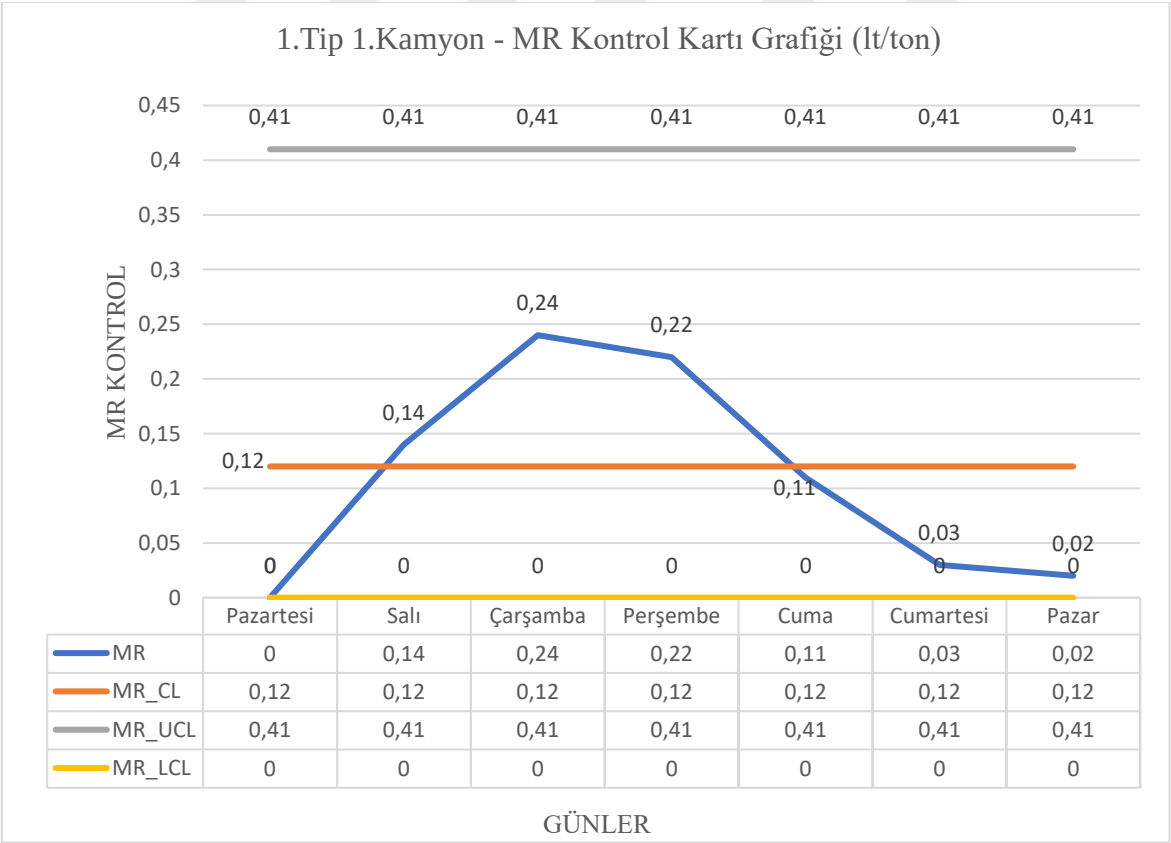
MR grafiği değerlendirildiğinde ise haftanın ilk yarısında nispeten yüksek dalgalanmalar gözlenmekle birlikte, hareketli aralık değerlerinin tamamının MR üst kontrol limiti (1,57 lt/km) altında kaldığı belirlenmiştir. Haftanın son günlerinde MR değerlerinin belirgin şekilde azaldığı ve sürecin daha stabil bir yapıya kavuştuğu görülmektedir. Bu durum, haftalık operasyon planlamasındaki düzenliliğin artmasıyla birlikte tüketim değişkenliğinin azaldığını düşündürmektedir. Ayrıca kontrol limitlerinin aşılmaması, süreçte özel nedenli bir sapma bulunmadığını ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, kilometre başına yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve gözlenen değişkenliğin doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir. Sürecin öngörülebilir bir performans sergilemesi, yakıt tüketiminin operasyonel disiplin çerçevesinde yönetildiğini desteklemektedir.

1.Tip 1 Nolu kamyonun ton başına yakıt tüketim değerlerine (lt/ton) ilişkin bireysel gözlem (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde süreç ortalaması ve kontrol limitleri dikkate alınarak yakıt verimliliğinin istatistiksel süreç kontrol perspektifinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 4.2’de sunulmuştur. Bu analiz ile yalnızca ortalama tüketim düzeyi değil, aynı zamanda ton başına tüketimin zamana bağlı değişkenlik yapısı da incelenmiştir. Böylece aracın yük verimliliği açısından süreç kararlılığı bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,3	0,44	0,2	0,42	0,31	0,35	0,33
CL	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
UCL	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
LCL	0	0	0	0	0	0	0



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,14	0,24	0,22	0,11	0,03	0,02
MR_CL	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
MR_UCL	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.2. 1.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Şekil 4.2'de yer alan I kontrol kartı grafiği incelendiğinde, lt/ton değerlerinin tamamının kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Süreç ortalaması (0,33 lt/ton) olarak hesaplanmış olup gözlemler bu değer etrafında dağılım göstermektedir. En yüksek değer (0,44 lt/ton), en düşük değer ise (0,20 lt/ton) olarak gerçekleşmiş olup bu değerler üst kontrol limiti olan (0,66 lt/ton) sınırını aşmamıştır.

MR grafiği incelendiğinde, haftanın ilk yarısında nispeten daha yüksek değişkenlik gözlenmiş, en yüksek hareketli aralık değeri (0,24 lt/ton) olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte MR değerlerinin tamamı üst kontrol limiti olan (0,41 lt/ton) değerinin altında kalmıştır. Haftanın son günlerinde MR değerlerinin azalması, sürecin daha dengeli hale geldiğini göstermektedir.

Grafiksel analiz sonuçları, ton başına yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve gözlenen değişkenliğin doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir.

1. Tip 2 Nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri değerlendirilmiştir. Gün bazında verilen motorin miktarı, başlangıç ve bitiş kilometreleri, kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km), toplam mesafe, sefer sayısı ve sefer başına taşınan ortalama tonaj değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	215	102.094	102.275	**1,19**	181	16	39,260
2	Salı	116	102.275	102.370	**1,22**	95	9	37,660
3	Çarşamba	114	102.370	102.437	**1,70**	67	6	45,280
4	Perşembe	85	102.437	102.496	**1,44**	59	5	40,800
5	Cuma	178	102.496	102.652	**1,14**	156	14	39,820
6	Cumartesi	224	102.652	102.878	**0,99**	226	21	37,340
7	Pazar	174	102.878	102.982	**1,67**	104	9	42,300

1. Tip 2 Nolu kamyonun tonaj ve birim yakıt tüketimi göstergeleri incelenmiştir. Günlük toplam taşınan yük, sefer başına ortalama kilometre, sefer başına yakıt tüketimi ve ton başına yakıt tüketim değerleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.10. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	628,16	11	13,44	**0,34**
2	Salı	338,94	11	12,89	**0,34**
3	Çarşamba	271,68	11	19	**0,42**
4	Perşembe	204	12	17	**0,42**
5	Cuma	557,48	11	12,71	**0,32**
6	Cumartesi	784,14	11	10,67	**0,29**
7	Pazar	380,7	12	19,33	**0,46**

1. Tip 2 Nolu kamyonun ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) değerleri (0,29 ile 0,46 lt/ton) arasında değişmektedir. En düşük değer (0,29 lt/ton) ile cumartesi günü, en yüksek değer ise 0,46 lt/ton ile pazar günü gerçekleşmiştir. Yüksek tonajlı günlerde birim tüketimin düştüğü; düşük tonajlı günlerde ise birim tüketimin arttığı görülmektedir.

Kilometre başına yakıt tüketim değerlerine ilişkin I-MR kontrol analizi uygulanmıştır. Süreç ortalaması CL (1,34 lt/km) olarak hesaplanmış olup üst kontrol limiti (2,18 lt/km) ve alt kontrol limiti ise (0,49 lt/km) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,19**	1,34	2,18	0,49	0	0,32	1,04	0
2	**1,22**	1,34	2,18	0,49	0,03	0,32	1,04	0
3	**1,14**	1,34	2,18	0,49	0,48	0,32	1,04	0
4	**1,44**	1,34	2,18	0,49	0,26	0,32	1,04	0
5	**1,14**	1,34	2,18	0,49	0,3	0,32	1,04	0
6	**0,99**	1,34	2,18	0,49	0,15	0,32	1,04	0
7	**1,67**	1,34	2,18	0,49	0,68	0,32	1,04	0

Tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. En yüksek değer (1,67 lt/km) ile Pazar günü gerçekleşmiş olup kontrol sınırını aşmamıştır. MR analizinde de tüm değerler MR üst kontrol limitinin altında kalmıştır. Bu durum, (lt/km) bazlı sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

1. Tip 2 Nolu kamyonun Ton başına yakıt tüketim değerlerini kontrol etmek için I-MR analizi uygulanmış olup CL ortalaması (0,37 lt/ton) olarak hesaplanmıştır. Tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

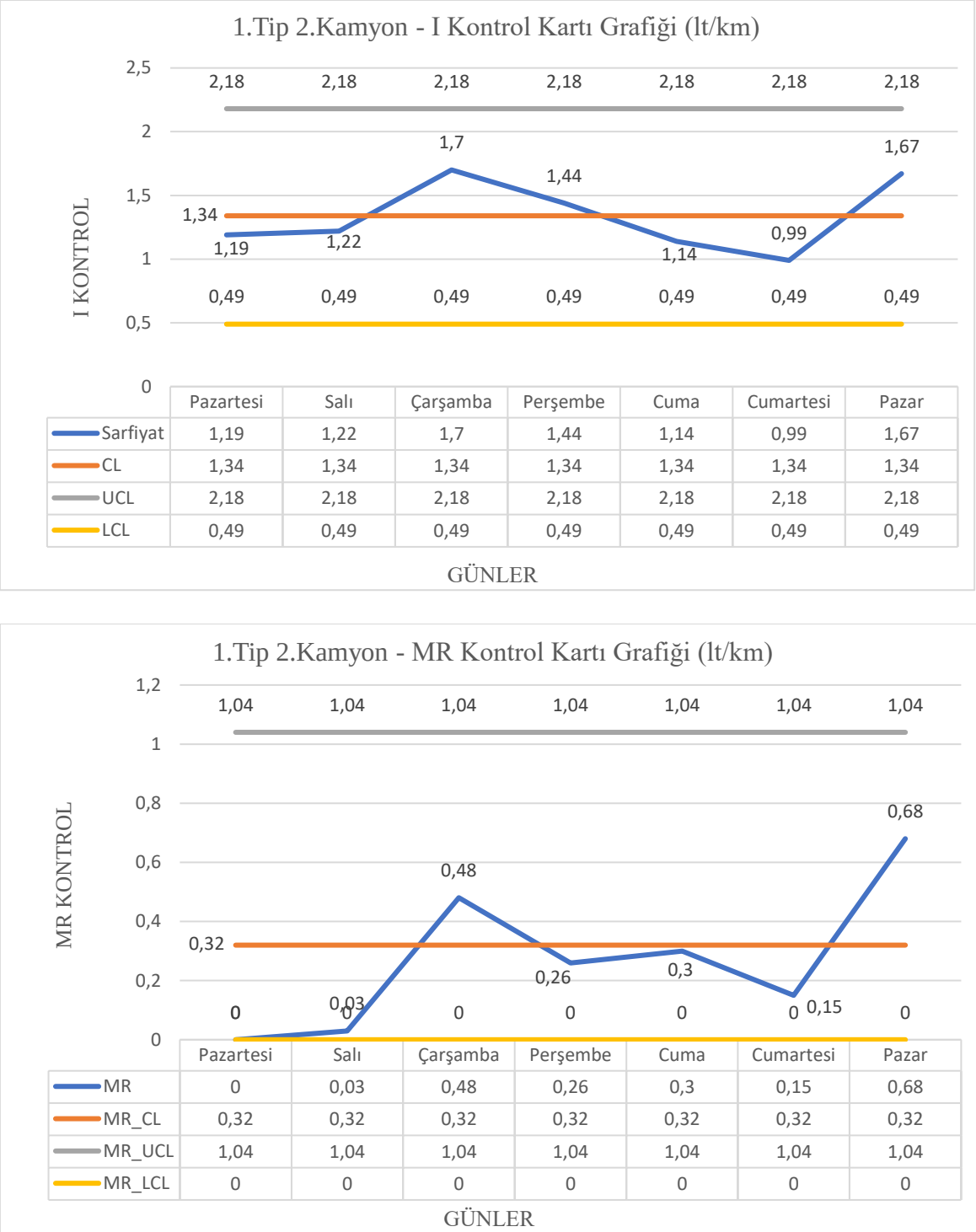
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,34**	0,37	0,54	0,20	0	0,06	0,21	0
2	**0,34**	0,37	0,54	0,20	0	0,06	0,21	0
3	**0,42**	0,37	0,54	0,20	0,08	0,06	0,21	0
4	**0,42**	0,37	0,54	0,20	0	0,06	0,21	0
5	**0,32**	0,37	0,54	0,20	0,1	0,06	0,21	0
6	**0,29**	0,37	0,54	0,20	0,03	0,06	0,21	0
7	**0,46**	0,37	0,54	0,20	0,17	0,06	0,21	0

L/ton değerlerinin tamamı üst kontrol limiti olan UCL (0,54 lt/ton) değerinin altında kalmıştır. MR analizinde de hareketli aralık değerlerinin tamamı kontrol sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu durum, ton başına yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

1.Tip 2 Nolu kamyonun haftalık verileri birlikte değerlendirildiğinde, kilometre başına ve ton başına yakıt tüketiminin kontrol limitleri içerisinde kaldığı ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu görülmektedir.

Ancak haftanın belirli günlerinde birim tüketim değerlerinde artış gözlenmiştir. Özellikle düşük tonajlı ve kısa mesafeli operasyon günlerinde lt/ton değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Buna karşılık yüksek tonaj ve yoğun operasyon günlerinde birim yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir.

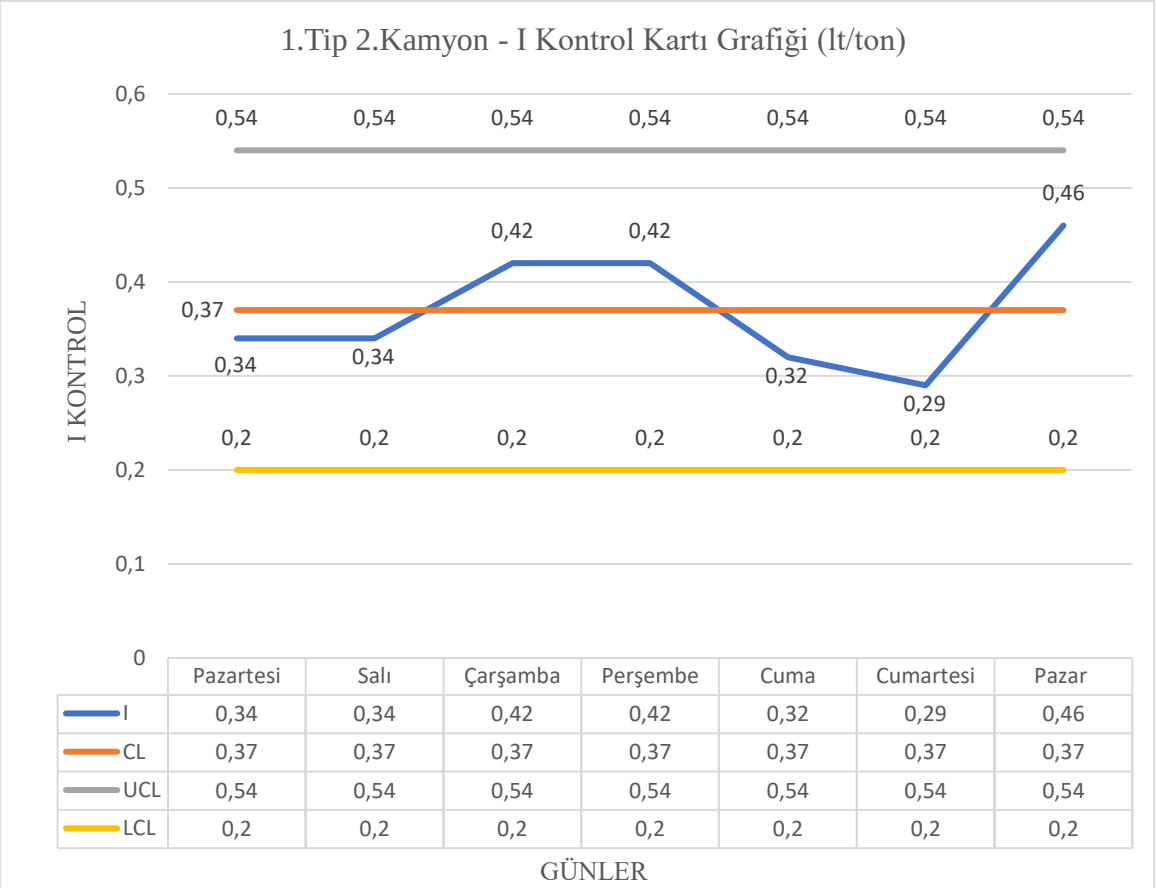
Bu sonuçlar, araç performansının yalnızca teknik kapasiteye değil; operasyon planlaması ve yük optimizasyonuna da bağlı olduğunu göstermektedir. Süreç genel olarak kontrol altında olmakla birlikte, düşük kapasite ile gerçekleştirilen operasyonların yakıt verimliliğini olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmektedir.



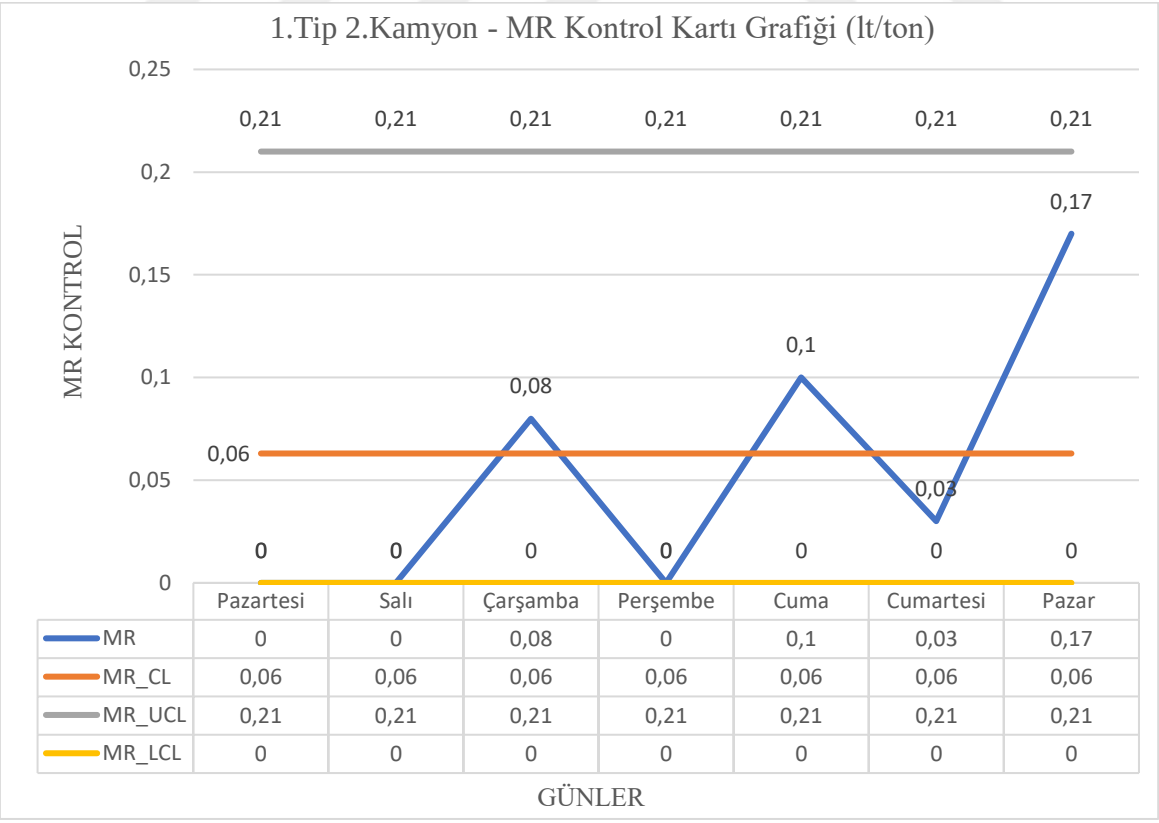
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	1,19	1,22	1,7	1,44	1,14	0,99	1,67
CL	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
UCL	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
LCL	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49

	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,03	0,48	0,26	0,3	0,15	0,68
MR_CL	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
MR_UCL	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.3. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,34	0,34	0,42	0,42	0,32	0,29	0,46
CL	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
UCL	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
LCL	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0	0,08	0	0,1	0,03	0,17
MR_CL	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
MR_UCL	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.4. 1.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Şekil 4.3 incelendiğinde, kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km) için süreç ortalamasının CL (1,34 lt/km) olduğu görülmektedir. Üst kontrol limiti UCL (2,18 lt/km), alt kontrol limiti LCL ise (0,49 lt/km) olarak hesaplanmıştır.

Günlük tüketim değerlerinin tamamı kontrol limitleri içerisinde yer almaktadır. En yüksek tüketim değeri (1,70 lt/km) ile çarşamba günü, ikinci en yüksek değer ise (1,67 lt/km) ile pazar günü gerçekleşmiştir. En düşük değer ise (0,99 lt/km) ile cumartesi günü kaydedilmiştir. Ancak bu değerlerin hiçbiri kontrol sınırlarını aşmamıştır.

MR grafiği incelendiğinde, en yüksek hareketli aralık değeri (0,68 lt/km) olarak pazar günü oluşmuş olup bu değer MR üst kontrol limiti olan (1,04 lt/km)'nin altında kalmıştır. Haftanın ortasında Çarşamba günü ise (0,48 lt/km) düzeyinde bir artış görülmüş, ancak süreç kontrol dışına çıkmamıştır. Bu bulgular, lt/km bazlı yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.4'te ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) için süreç ortalaması CL (0,37 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Üst kontrol limiti (0,54 lt/ton), alt kontrol limiti ise (0,20 lt/ton)'dur. Gözlemler incelendiğinde, en yüksek değer (0,46 lt/ton) ile pazar günü gerçekleşmiş, en düşük değer ise (0,29 lt/ton) ile cumartesi günü kaydedilmiştir. Tüm değerlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir.

MR grafiğinde en yüksek hareketli aralık değeri (0,17 lt/ton) olarak pazar günü oluşmuş ve bu değer MR üst kontrol limiti olan (0,21 lt/ton)'un altında kalmıştır. çarşamba ve cuma günlerinde kısmi dalgalanmalar gözlenmiş, ancak istatistiksel sınırlar aşılmamıştır. Bu sonuçlar, ton başına yakıt tüketim sürecinin de kontrol altında olduğunu göstermektedir.

1.Tip 2 Nolu kamyona ait I-MR grafik sonuçları, hem kilometre başına hem de ton başına yakıt tüketiminin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ortaya koymaktadır. Süreç boyunca hiçbir gözlemin kontrol limitlerini aşmaması, sistematik bir bozulma veya özel nedenli varyasyon bulunmadığını göstermektedir.

Bununla birlikte, haftanın belirli günlerinde tüketim artışları gözlenmiştir. Özellikle çarşamba ve pazar günlerinde lt/km değerlerinin süreç ortalamasının üzerinde gerçekleştiği

dikkat çekmektedir. Benzer şekilde pazar günü lt/ton değerinin de haftanın en yüksek seviyesine ulaşması, operasyonel koşullardaki değişkenliğin yakıt verimliliği üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir. Öte yandan cumartesi günü hem lt/km hem de lt/ton değerlerinin haftanın en düşük seviyelerinde gerçekleşmesi, yüksek operasyon hacmi ve daha dengeli yük dağılımının yakıt verimliliğini artırabileceğini göstermektedir. Bu durum, yük optimizasyonunun yakıt maliyetleri üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir.

MR analizleri incelendiğinde, haftanın son gününde daha yüksek değişkenlik gözlenmesine rağmen kontrol sınırlarının aşılmamış olması, sürecin doğal varyasyon sınırları içerisinde kaldığını göstermektedir. Bu bulgu, operasyonel dalgalanmaların kontrol edilebilir düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 1. Tip 2 Nolu kamyonun yakıt tüketim süreci istatistiksel olarak stabil olmakla birlikte, haftalık operasyon planlamasında yük optimizasyonu ve sefer dengesi sağlandığında birim yakıt tüketiminin daha düşük seviyelere çekilebileceği değerlendirilmektedir.

1.Tip 3 Nolu kamyona ait veriler Çizelge 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16'de veriler gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	142	96.062	96.184	**1,16**	122	11	32,60
2	Salı	111	96.184	96.250	**1,68**	66	6	36,27
3	Çarşamba	230	96.250	96.402	**1,51**	152	14	35,35
4	Perşembe	194	96.402	96.538	**1,43**	136	12	34,68
5	Cuma	167	96.538	96.659	**1,38**	121	11	33,82
6	Cumartesi	193	96.659	96.749	**2,14**	90	8	45,74
7	Pazar	114	96.749	96.817	**1,68**	68	6	38,16

Çizelge 4.14. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

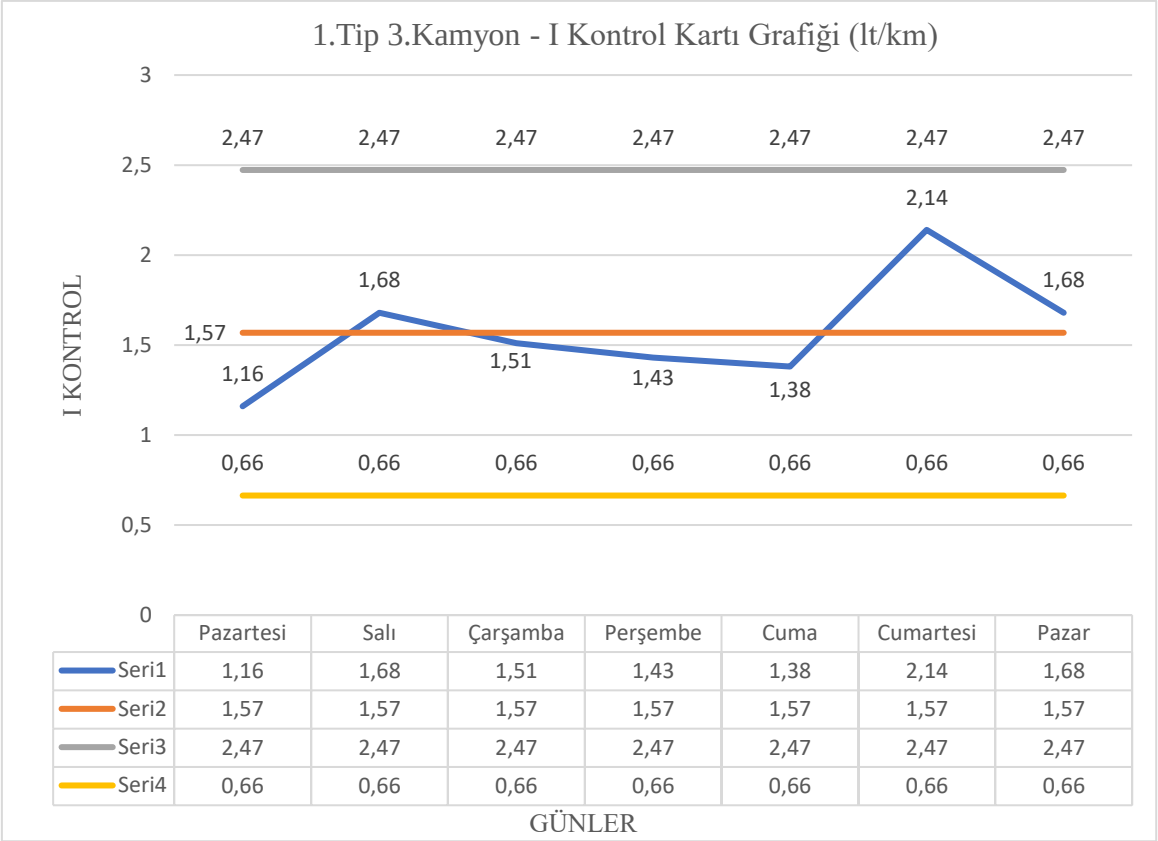
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	358,6	11	12,91	**0,40**
2	Salı	217,62	11	18,50	**0,51**
3	Çarşamba	494,9	11	16,43	**0,46**
4	Perşembe	416,16	11	16,17	**0,47**
5	Cuma	372,02	11	15,18	**0,45**
6	Cumartesi	365,92	11	24,13	**0,53**
7	Pazar	228,96	11	19,00	**0,50**

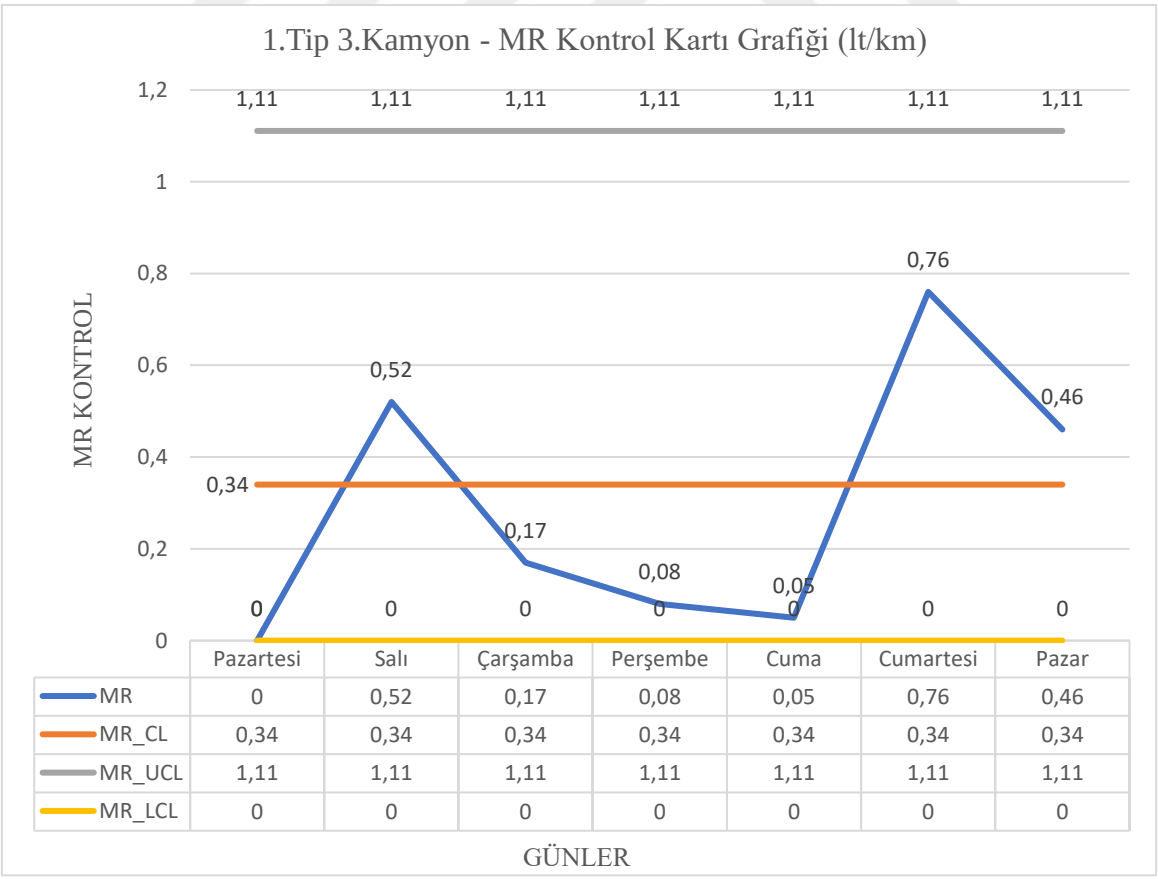
Çizelge 4.15. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,16**	1,57	2,47	0,66	0	0,34	1,11	0
2	**1,68**	1,57	2,47	0,66	0,52	0,34	1,11	0
3	**1,51**	1,57	2,47	0,66	0,17	0,34	1,11	0
4	**1,43**	1,57	2,47	0,66	0,08	0,34	1,11	0
5	**1,38**	1,57	2,47	0,66	0,05	0,34	1,11	0
6	**2,14**	1,57	2,47	0,66	0,76	0,34	1,11	0
7	**1,68**	1,57	2,47	0,66	0,46	0,34	1,11	0

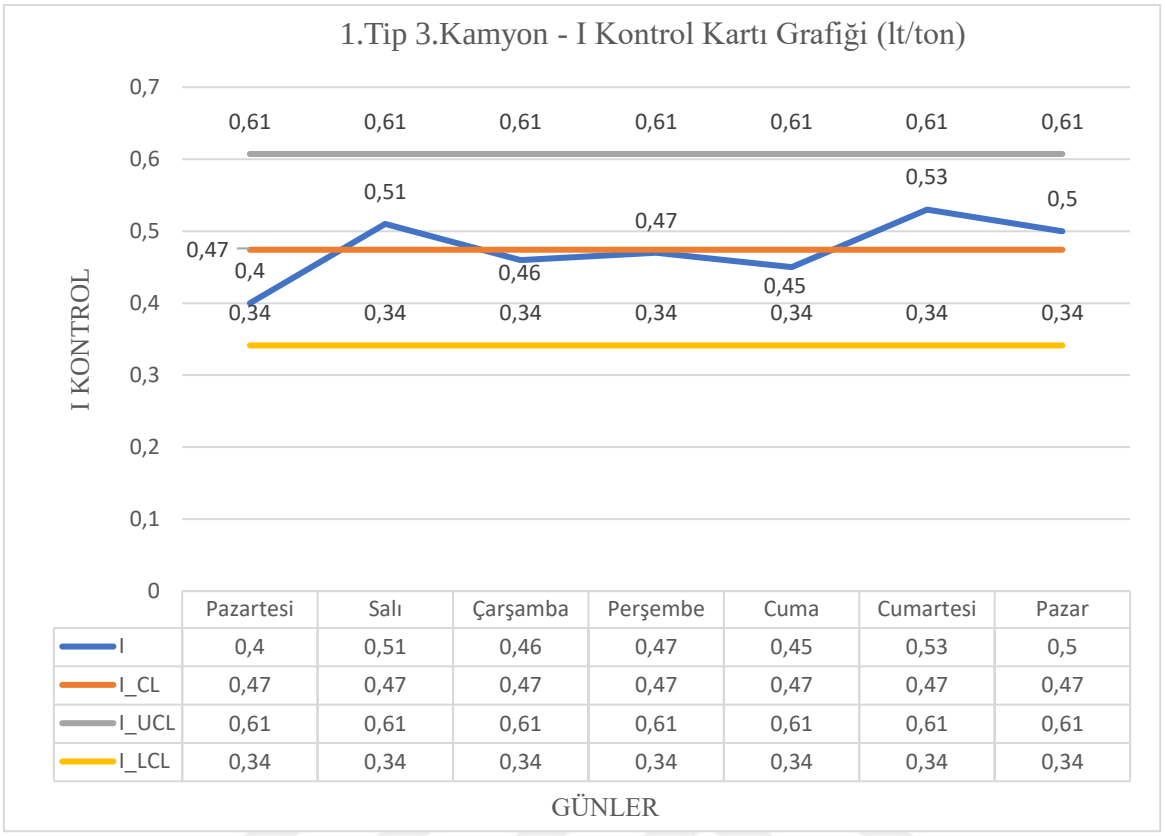
Çizelge 4.16. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

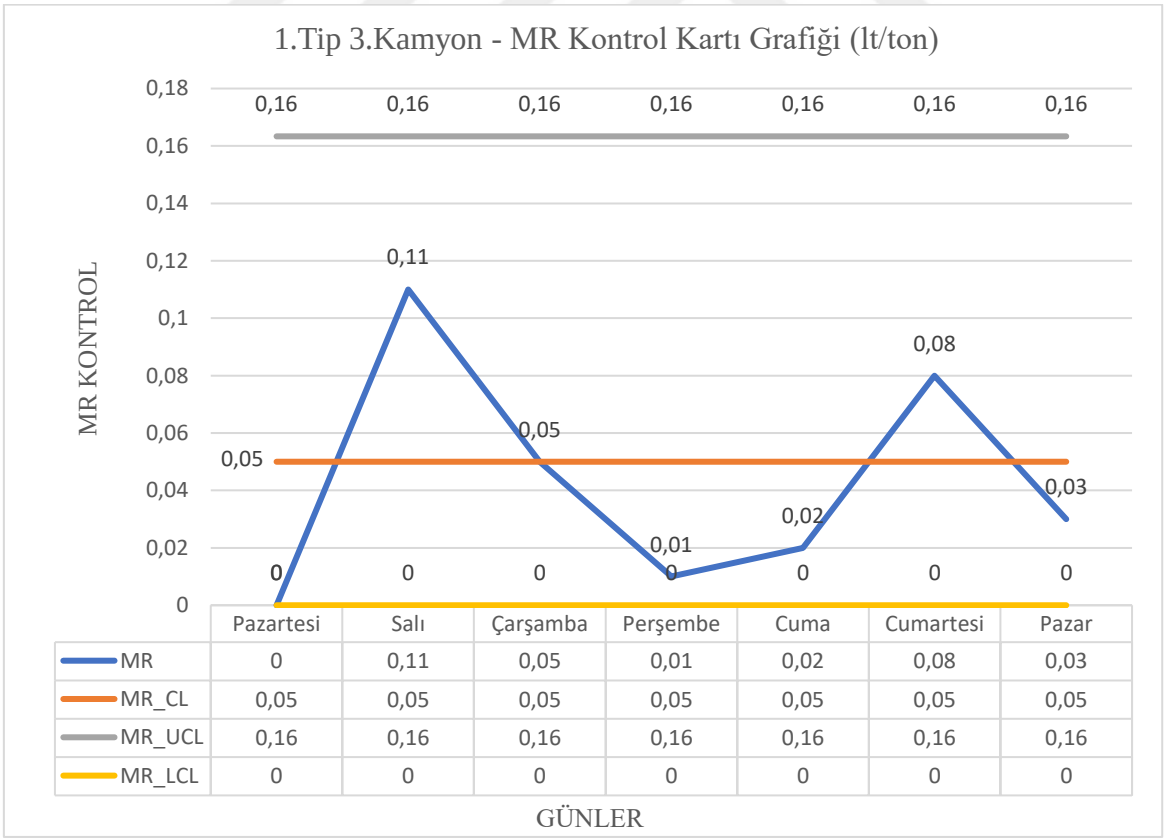
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,4**	0,47	0,61	0,34	0	0,05	0,16	0
2	**0,51**	0,47	0,61	0,34	0,11	0,05	0,16	0
3	**0,46**	0,47	0,61	0,34	0,05	0,05	0,16	0
4	**0,47**	0,47	0,61	0,34	0,01	0,05	0,16	0
5	**0,45**	0,47	0,61	0,34	0,02	0,05	0,16	0
6	**0,53**	0,47	0,61	0,34	0,08	0,05	0,16	0
7	**0,5**	0,47	0,61	0,34	0,03	0,05	0,16	0





Şekil 4.5. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)





Şekil 4.6. 1.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.13'te 1.Tip 3 nolu kamyona ait haftalık günlük yakıt tüketim verileri sunulmuştur. Sunulan verilere göre 1.Tip 3 nolu kamyonun günlük yakıt sarfiyat değerleri (1,16 lt/km ile 2,14 lt/km) arasında değişmekte olup, ortalama yakıt tüketimi (1,57 lt/km) olarak hesaplanmıştır. En düşük sarfiyat pazartesi günü (1,16 lt/km), en yüksek sarfiyat ise cumartesi günü (2,14 lt/km) gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.14' te 1.Tip 3 nolu kamyona ait bir haftalık günlük yakıt sarfiyatı (lt/ton) verileri sunulmuştur. Günlük yapılan seferlerde ton başına yakıt tüketim verilerine bakıldığında, yakıt tüketiminin en yüksek olduğu günün cumartesi (0,53 lt/ton), en düşük olduğu günün ise pazartesi günü (0,40 lt/ton) olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.15'de verilen İPK parametrelerine göre bireysel (I) kontrol kartı merkez çizgisi CL (1.57 lt/km), üst kontrol limiti UCL (2.47 lt/km) ve alt kontrol limiti LCL ise (0.66 lt/km) olarak hesaplanmıştır. Tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde yer aldığı ve herhangi bir noktanın limit dışına çıkmadığı görülmektedir. Bu bulgu, 1.Tip 3 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında ve kararlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte altıncı gün ölçülen (2.14 lt/km)'lik tüketim değerinin üst kontrol limitine yakın seyretmesi, belirli günlerde süreç performansında yükselen dalgalanmalar yaşanabildiğine işaret etmektedir.

Çizelge 4.16'da verilen İPK parametrelerine göre bireysel (I) kontrol kartı için merkez çizgi CL (0,47 lt/ton) olarak hesaplanmış; üst kontrol limiti UCL (0,61 lt/ton), alt kontrol limiti LCL ise (0,34 lt/ton) olarak belirlenmiştir. İpk kontrol kartı incelendiğinde, tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu durum, 1.Tip 3 nolu kamyonun yakıt tüketim (lt/ton) sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve süreçte özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) kontrol kartına ait sonuçlar (lt/km) incelendiğinde MR CL değeri (0,34 lt/km) olarak hesaplanmış, MR için üst kontrol limiti MR UCL (1,11 lt/km) ve alt kontrol limiti MR LCL (0 lt/km) olarak belirlenmiştir. Hareketli aralık değerlerinin tamamı kontrol sınırları içinde kalmış olup en yüksek MR değeri (0,76 lt/km) ile altıncı günde gözlenmiştir. Bu sonuç, günler arası yakıt tüketimi değişiminin genel olarak düşük

düzeyde olduğunu, ancak altıncı gün operasyonunda önceki güne kıyasla belirgin bir artış meydana geldiğini göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) kontrol kartına ait sonuçlar (lt/ton) incelendiğinde, MR CL değeri (0,05 lt/ton) olarak hesaplandığı, MR UCL değerinin (0,16 lt/ton) olduğu görülmektedir. Günlük ardışık ölçümler arasındaki en yüksek değişim (0,11 lt/ton) ile 2. gün, en düşük değişim ise (0,01 lt/ton) ile 4. gün ve alt kontrol limiti MR LCL (0 lt/km) olarak belirlenmiştir. Tüm MR değerlerinin üst kontrol limitinin altında kalması, alt kontrol limitine göre ise eşit ve üzerinde kalması kısa dönemli değişkenliğin de kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, 1.Tip 3 nolu kamyonun açık ocak işletmesinde yakıt tüketimi açısından istatistiksel olarak kararlı bir süreç sergilediği anlaşılmaktadır. Ancak bazı günlerde ortaya çıkan yüksek sarfiyat değerleri, saha koşulları, operatör davranışı, yükleme–boşaltma süreleri ve taşıma mesafesindeki değişimlerin yakıt tüketimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle süreçte süreklilik arz eden bir performans iyileştirmesi sağlanabilmesi için operatör eğitimlerinin aksatılmaması, taşıma güzergâhlarının düzenli olarak izlenmesi önerilmektedir.

Bu bulgular, 1.Tip 3 nolu kamyonun genel olarak kontrol altında bir performans sunduğunu; ancak operasyonel çevre koşullarına duyarlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.17. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	91	47.163	47.235	**1,26**	72	7	41,51
2	Salı	123	47.292	47.370	**1,58**	78	7	38,52
3	Çarşamba	223	47.370	47.507	**1,63**	137	12	39,76
4	Perşembe	204	47.507	47.700	**1,06**	193	18	46,28
5	Cuma	134	47.700	47.808	**1,24**	108	10	43,70
6	Cumartesi	149	47.808	47.940	**1,13**	132	12	35,34
7	Pazar	88	47.940	48.027	**1,01**	87	8	36,53

Çizelge 4.18. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

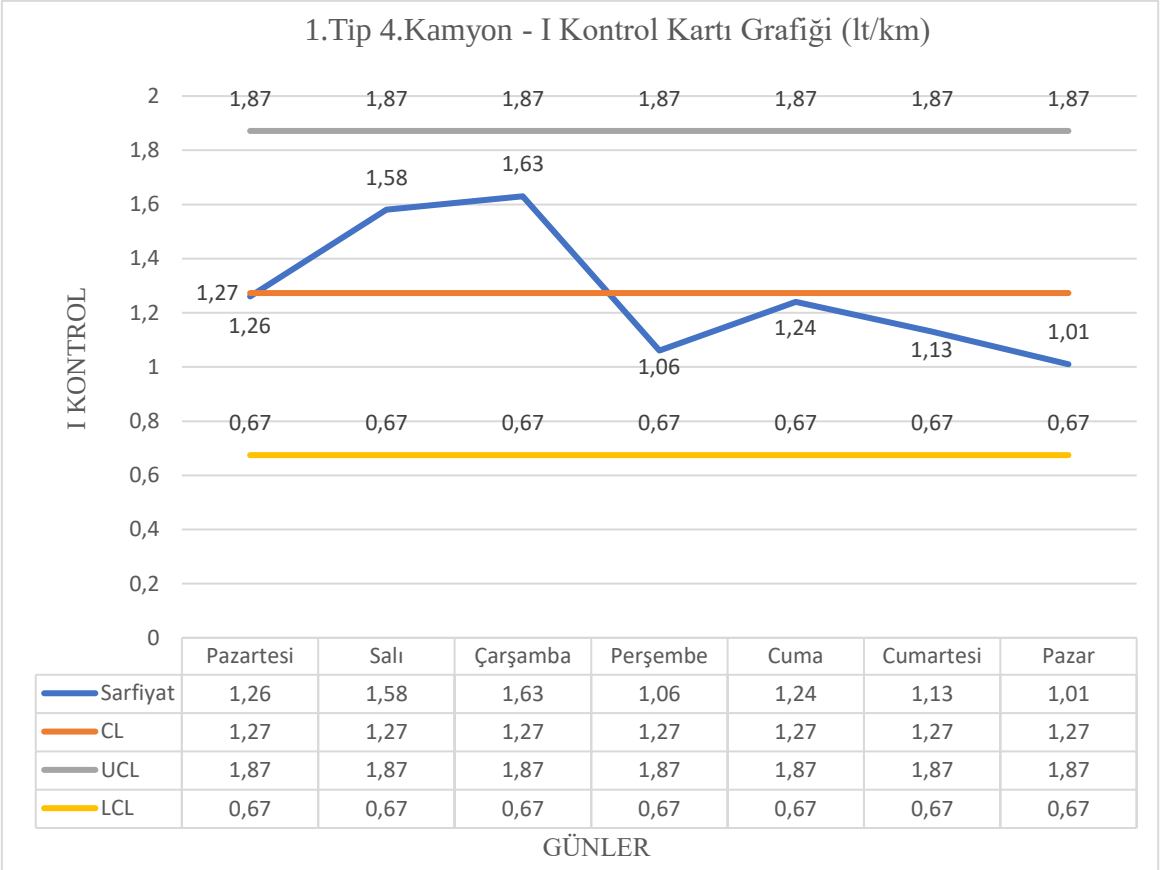
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	290,57	10	13	**0,31**
2	Salı	269,64	11	18	**0,46**
3	Çarşamba	477,12	11	19	**0,47**
4	Perşembe	833,04	11	11	**0,24**
5	Cuma	437	11	13	**0,31**
6	Cumartesi	424,08	11	12	**0,35**
7	Pazar	292,24	11	11	**0,30**

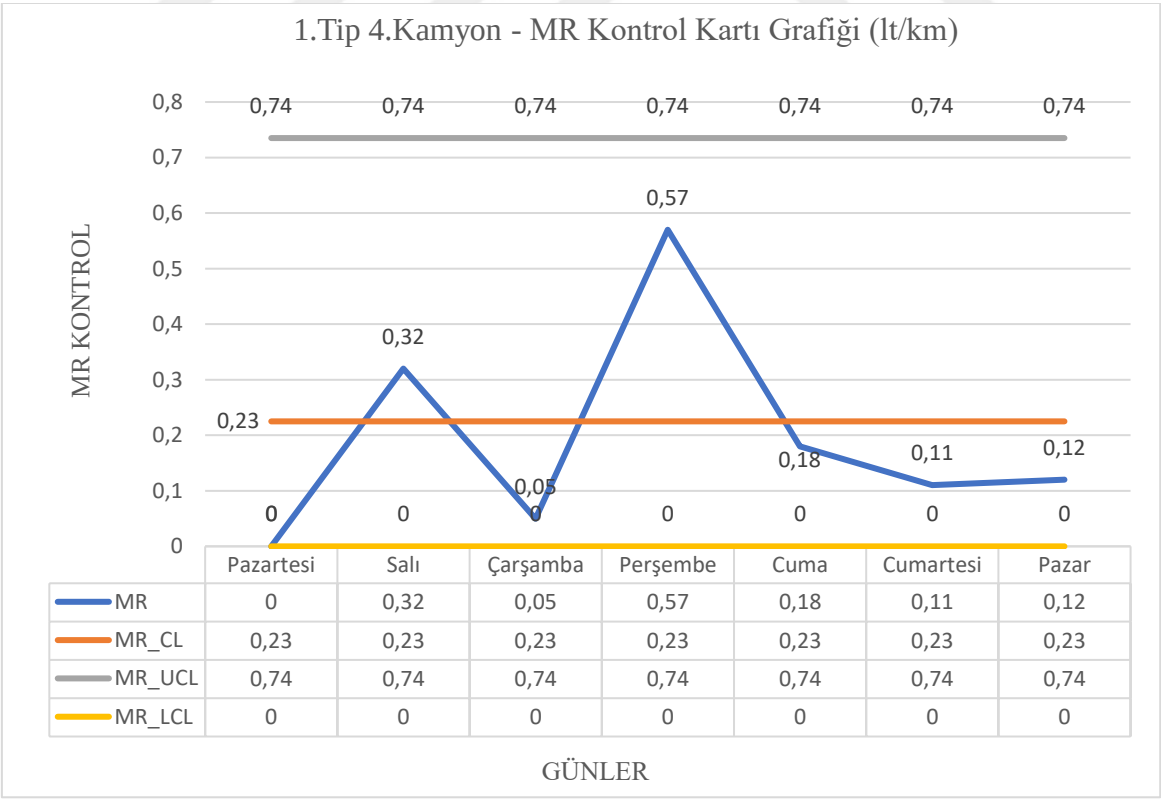
Çizelge 4.19. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,26**	1,27	1,87	0,67	0	0,23	0,74	0
2	**1,58**	1,27	1,87	0,67	0,32	0,23	0,74	0
3	**1,63**	1,27	1,87	0,67	0,05	0,23	0,74	0
4	**1,06**	1,27	1,87	0,67	0,57	0,23	0,74	0
5	**1,24**	1,27	1,87	0,67	0,18	0,23	0,74	0
6	**1,13**	1,27	1,87	0,67	0,11	023	0,74	0
7	**1,01**	1,27	1,87	0,67	0,12	0,23	0,74	0

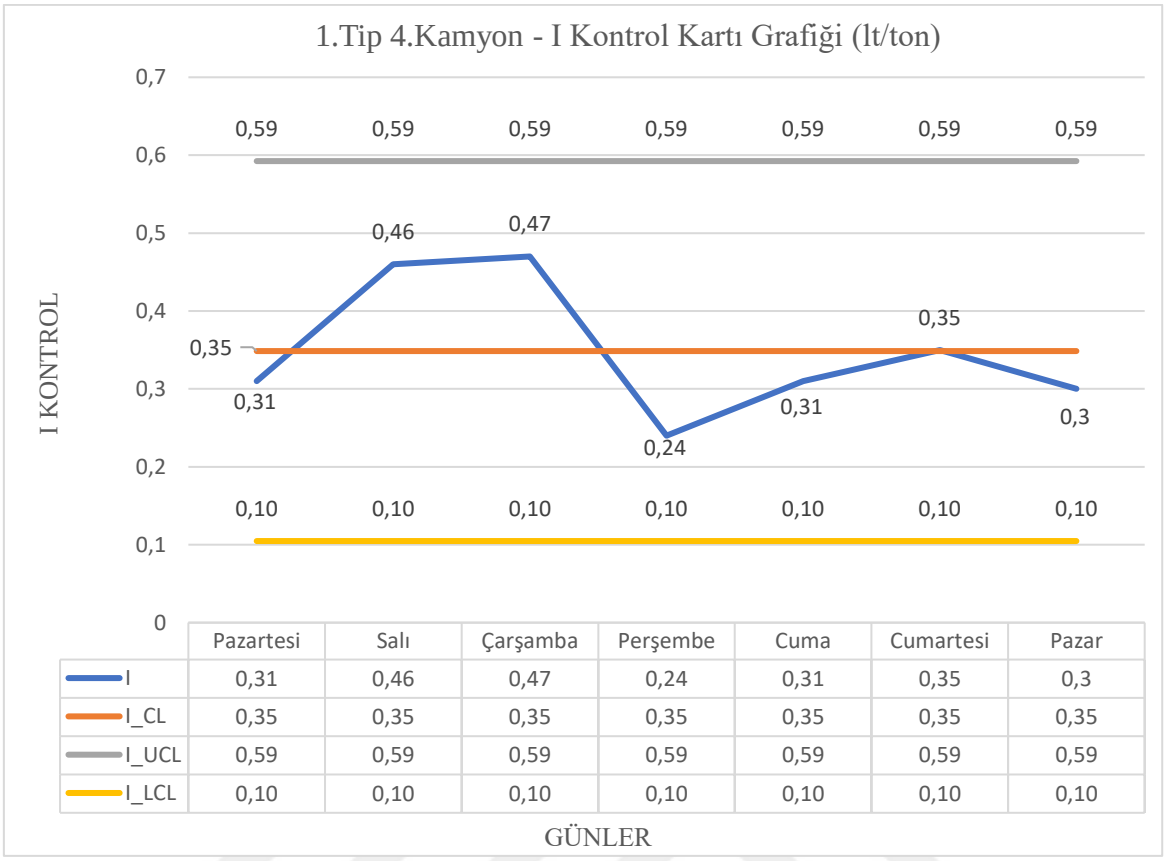
Çizelge 4.20. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

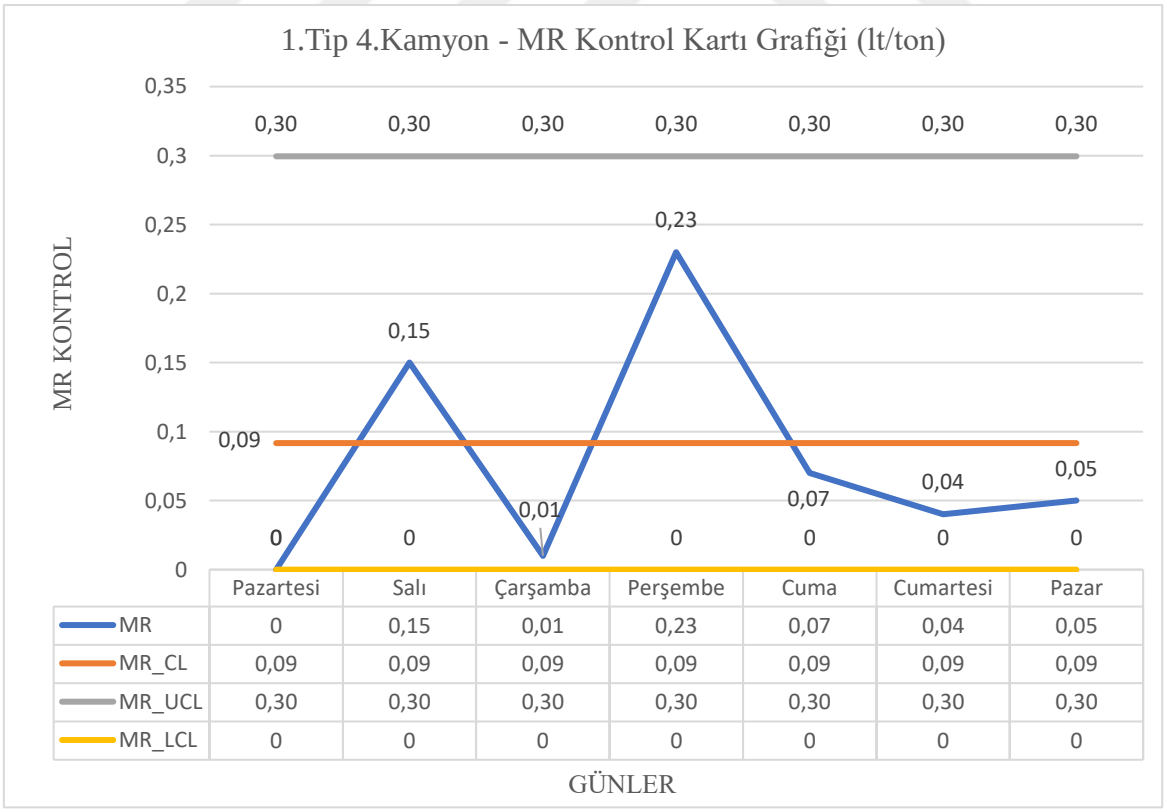
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,31**	0,35	0,59	0,10	0	0,09	0,30	0
2	**0,46**	0,35	0,59	0,10	0,15	0,09	0,30	0
3	**0,47**	0,35	0,59	0,10	0,01	0,09	0,30	0
4	**0,24**	0,35	0,59	0,10	0,23	0,09	0,30	0
5	**0,31**	0,35	0,59	0,10	0,07	0,09	0,30	0
6	**0,35**	0,35	0,59	0,10	0,04	0,09	0,30	0
7	**0,3**	0,35	0,59	0,10	0,05	0,09	0,30	0





Şekil 4.7. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)





Şekil 4.8. 1.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.17'de 1.Tip 4 nolu kamyona ait haftalık günlük yakıt tüketim verileri sunulmuştur. Günlük yakıt sarfiyatının (1,01 lt/km ile 1,63 lt/km) arasında değiştiği, haftalık ortalama yakıt tüketiminin ise (1,27 lt/km) olduğu belirlenmiştir. En düşük tüketim pazar günü (1,01 lt/km), en yüksek tüketim ise çarşamba günü (1,63 lt/km) gerçekleşmiştir. Bu farklılıklar, günlük taşıma mesafesi, sefer sayısı ve yük miktarındaki değişkenliğin yakıt tüketimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.18'de 1.Tip 4 nolu kamyona ait bir haftalık günlük yakıt sarfiyatı (lt/ton) verileri sunulmuştur. Günlük yapılan seferlerde ton başına yakıt tüketim verilerine bakıldığında, yakıt tüketiminin en yüksek olduğu günün çarşamba (0,47 lt/ton), en düşük olduğu günün ise perşembe günü (0,24 lt/ton) olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.19' da verilen İPK parametrelerine göre bireysel (I) kontrol kartı merkez çizgisi CL (1,27 lt/km) olarak hesaplanmıştır. Üst kontrol limiti UCL (1,87 lt/km), alt kontrol limiti LCL ise (0,67 lt/km) olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7'de sunulan İPK kontrol kartı incelendiğinde, tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, 1.Tip 4 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir.

Gözlemler merkez çizgisi etrafında dengeli bir dağılım sergilemekte olup, özellikle hafta ortasında ölçülen (1,63 lt/km) değeri sürecin kısa süreli yüksek tüketim eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu değer kontrol limitlerinin altında kaldığından, süreç doğal varyasyon sınırları içerisinde değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.20'de verilen İPK parametrelerine göre bireysel (I) kontrol kartı için merkez çizgi CL (0,35 lt/ton) olarak, üst kontrol limiti UCL (0,59 lt/ton) ve alt kontrol limiti LCL ise (0,10 lt/ton) olarak belirlenmiştir. 1.Tip 4 nolu kamyonun yakıt tüketim (lt/ton) sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve süreçte özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) kontrol kartına ait sonuçlar (lt/km) incelendiğinde MR CL değeri (0,23 lt/km) olarak hesaplanmış, MR için üst kontrol limiti (0,74 lt/km) olarak belirlenmiştir. Ardışık ölçümler arasındaki en yüksek değişim (0,57 lt/km) 4. gün olarak

gerçekleşmiştir. Tüm MR değerlerinin üst kontrol limitinin altında kalması, kısa dönemli değişkenliğin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Özellikle hafta sonuna doğru MR değerlerinin (0,11–0,12 lt/km) seviyelerinde seyretmesi, süreçteki günlük değişkenliğin azaldığını ve operasyonun daha stabil bir yapıya ulaştığını göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) kontrol kartına ait sonuçlar (lt/ton) incelendiğinde, MR CL değeri (0,09 lt/ton) olarak hesaplandığı, MR UCL değerinin (0,30 lt/ton) olduğu görülmektedir. Günlük ardışık ölçümler arasındaki en yüksek değişim (0,23 lt/ton) ile 4. gün, en düşük değişim ise (0,01 lt/ton) ile 3. gün olarak belirlenmiştir. Tüm MR değerlerinin üst kontrol limitinin altında kalması, alt kontrol limitine göre ise eşit ve üzerinde kalması kısa dönemli değişkenliğin de kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Genel olarak I ve MR kontrol kartları birlikte değerlendirildiğinde, 1.Tip 4 nolu kamyona ait yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kararlı olduğu ve süreç performansının öngörülebilir sınırlar içerisinde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, 1.Tip marka kamyonların açık ocak taşıma operasyonlarında istikrarlı yakıt tüketim davranışı sergilediğini bir kez daha doğrulamaktadır. Ayrıca kontrol limitleri içerisinde kalan varyasyon yapısı, sürecin özel nedenli sapmalardan arındırılmış olduğunu ve operasyonel disiplinin sürdürülebilir biçimde sağlandığını göstermektedir.

1. Tip 5 Nolu kamyona ait haftalık yakıt tüketim verileri operasyonel ve istatistiksel süreç kontrol perspektifinden değerlendirilmiştir. Gün bazında verilen motorin miktarı, kilometre artışı, kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km), taşınan toplam tonaj, ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) ve sefer göstergeleri incelenmiştir. Ayrıca süreç performansının istikrarını belirlemek amacıyla (lt/km ve lt/ton) değerleri için I-MR kontrol analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar (Çizelge 4.21–4.24)'te sunulmuştur. Bu kapsamda hem ortalama tüketim düzeyi hem de değişkenlik yapısı birlikte değerlendirilerek aracın süreç kararlılığı ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.21. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	203	100.100	100.296	**1,04**	196	18	34,47
2	Salı	109	102.678	102.775	**1,12**	97	9	38,19
3	Çarşamba	131	102.775	102.860	**1,54**	85	8	42,85
4	Perşembe	233	102.860	102.978	**1,97**	118	11	44,04
5	Cuma	205	102.978	103.114	**1,51**	136	12	41,11
6	Cumartesi	113	103.114	103.194	**1,41**	80	7	39,70
7	Pazar	103	103.194	103.268	**1,39**	74	7	40,56

Çizelge 4.22. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	620,46	11	11,28	**0,33**
2	Salı	343,71	11	12,11	**0,32**
3	Çarşamba	342,8	11	16,38	**0,38**
4	Perşembe	484,44	11	21,18	**0,48**
5	Cuma	493,32	11	17,08	**0,42**
6	Cumartesi	277,9	11	16,14	**0,41**
7	Pazar	283,92	11	14,71	**0,36**

Çizelge 4.23. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,04**	1,43	2,10	0,76	0	0,25	0,82	0
2	**1,12**	1,43	2,10	0,76	0,08	0,25	0,82	0
3	**1,54**	1,43	2,10	0,76	0,42	0,25	0,82	0
4	**1,97**	1,43	2,10	0,76	0,43	0,25	0,82	0
5	**1,51**	1,43	2,10	0,76	0,46	0,25	0,82	0
6	**1,41**	1,43	2,10	0,76	0,1	0,25	0,82	0
7	**1,39**	1,43	2,10	0,76	0,02	0,25	0,82	0

Çizelge 4.24. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

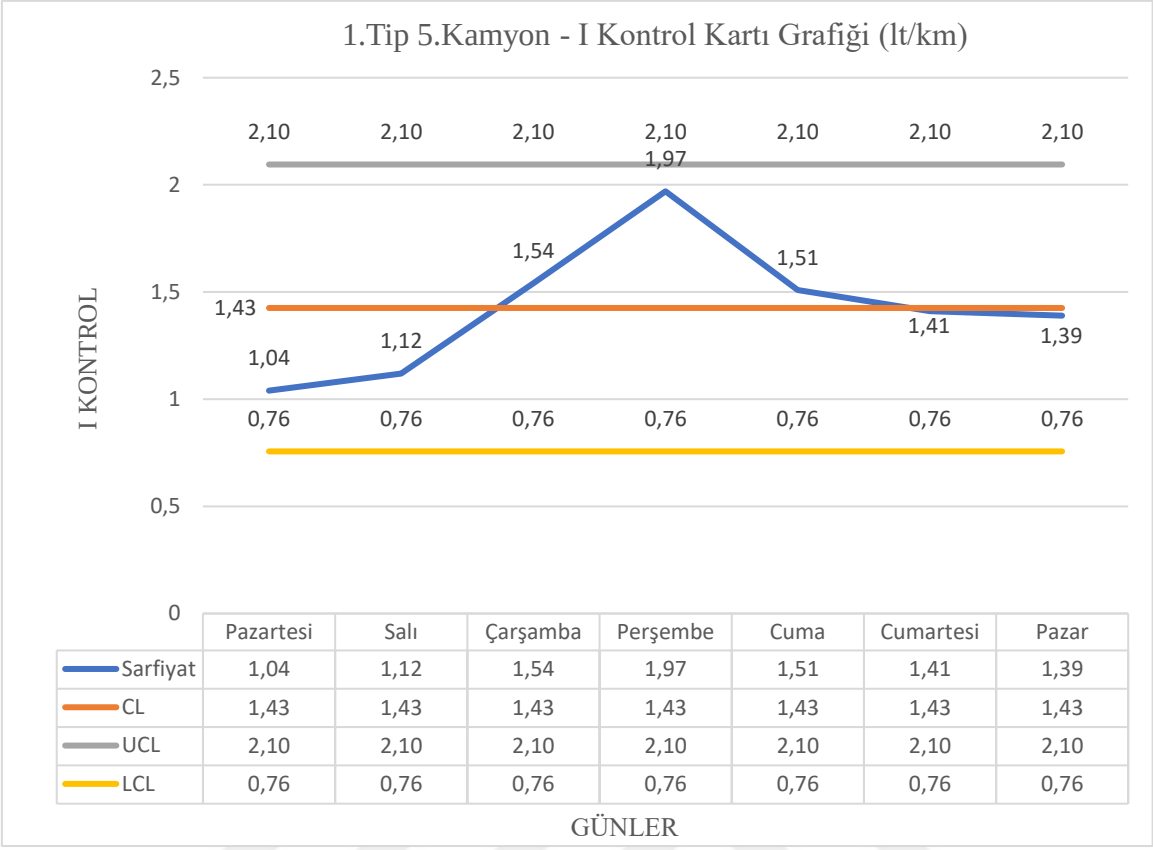
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,33**	0,39	0,51	0,26	0	0,05	0,16	0
2	**0,32**	0,39	0,51	0,26	0,01	0,05	0,16	0
3	**0,38**	0,39	0,51	0,26	0,06	0,05	0,16	0
4	**0,48**	0,39	0,51	0,26	0,1	0,05	0,16	0
5	**0,42**	0,39	0,51	0,26	0,06	0,05	0,16	0
6	**0,41**	0,39	0,51	0,26	0,01	0,05	0,16	0
7	**0,36**	0,39	0,51	0,26	0,05	0,05	0,16	0

Çizelge 4.21 ve 4.22'te 1. Tip 5 Nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. Kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km) değerlerinin (1,04 ile 1,97 lt/km) arasında değiştiği görülmektedir. En düşük tüketim pazartesi günü (1,04 lt/km), en yüksek tüketim ise perşembe günü (1,97 lt/km) gerçekleşmiştir. Özellikle perşembe günü tüketim değerinin haftalık ortalamanın belirgin biçimde üzerinde olduğu dikkat çekmektedir.

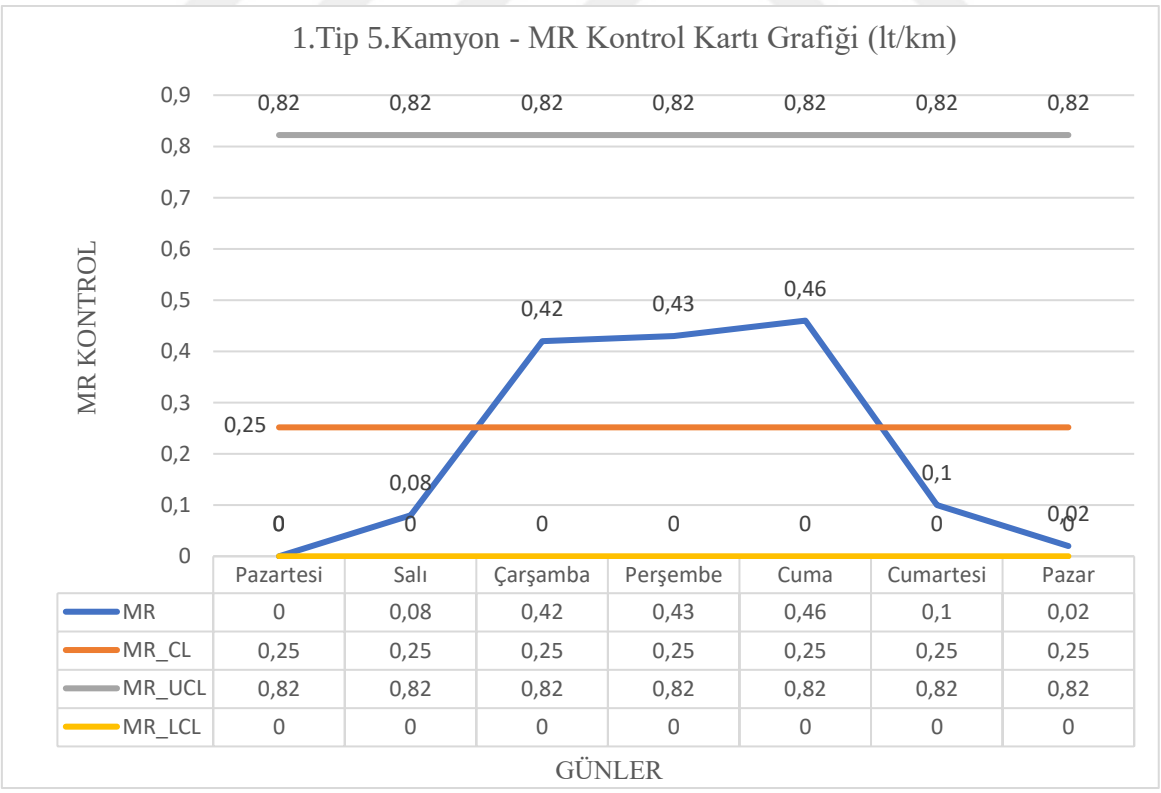
Ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) değerleri incelendiğinde ise (0,32–0,48 lt/ton) aralığında bir değişim söz konusudur. En düşük değer salı günü (0,32 lt/ton), en yüksek değer perşembe günü (0,48 lt/ton) olarak hesaplanmıştır. perşembe ve cuma günlerinde hem (lt/km) hem de (lt/ton) değerlerinin görece yüksek gerçekleştiği görülmektedir.

I-MR analiz sonuçları (Çizelge 4.23 ve Şekil 4.9) incelendiğinde, L/km için süreç ortalamasının CL (1,43 lt/km) olduğu, tüm gözlemlerin üst kontrol limiti UCL (2,10 lt/km) ve alt kontrol limiti LCL (0,76 lt/km) kaldığı belirlenmiştir. MR grafiğinde en yüksek hareketli aralık değeri (0,46 lt/km) olup bu değer (0,82 lt/km) MR üst kontrol limitini aşmamıştır. Sürecin genel olarak kontrol sınırları içerisinde seyrettiği anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde L/ton değerlerine ilişkin I-MR analizi (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.10) sonucunda süreç ortalaması (0,39 lt/ton) olarak hesaplanmış olup tüm gözlemlerin (0,26–0,51 lt/ton) kontrol aralığında yer aldığı görülmüştür. MR değerleri de kontrol limitlerini aşmamıştır.

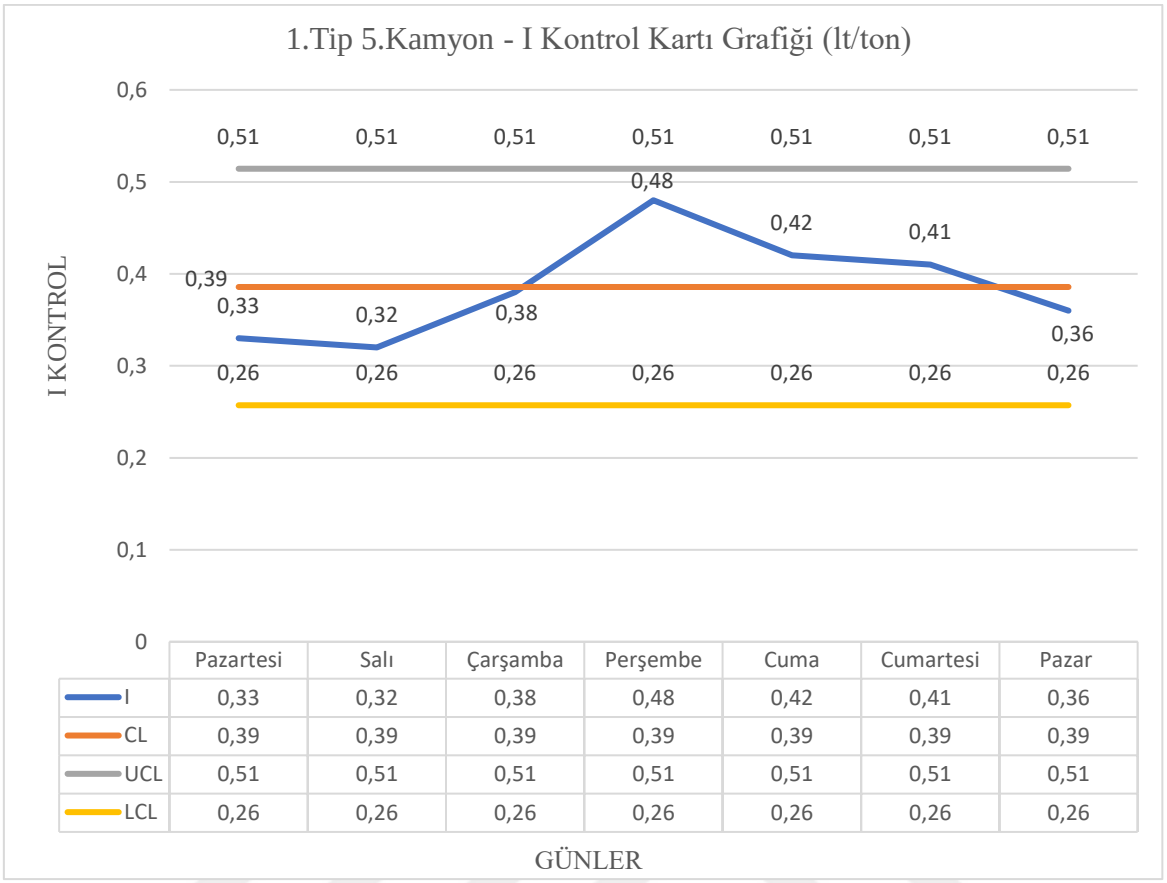


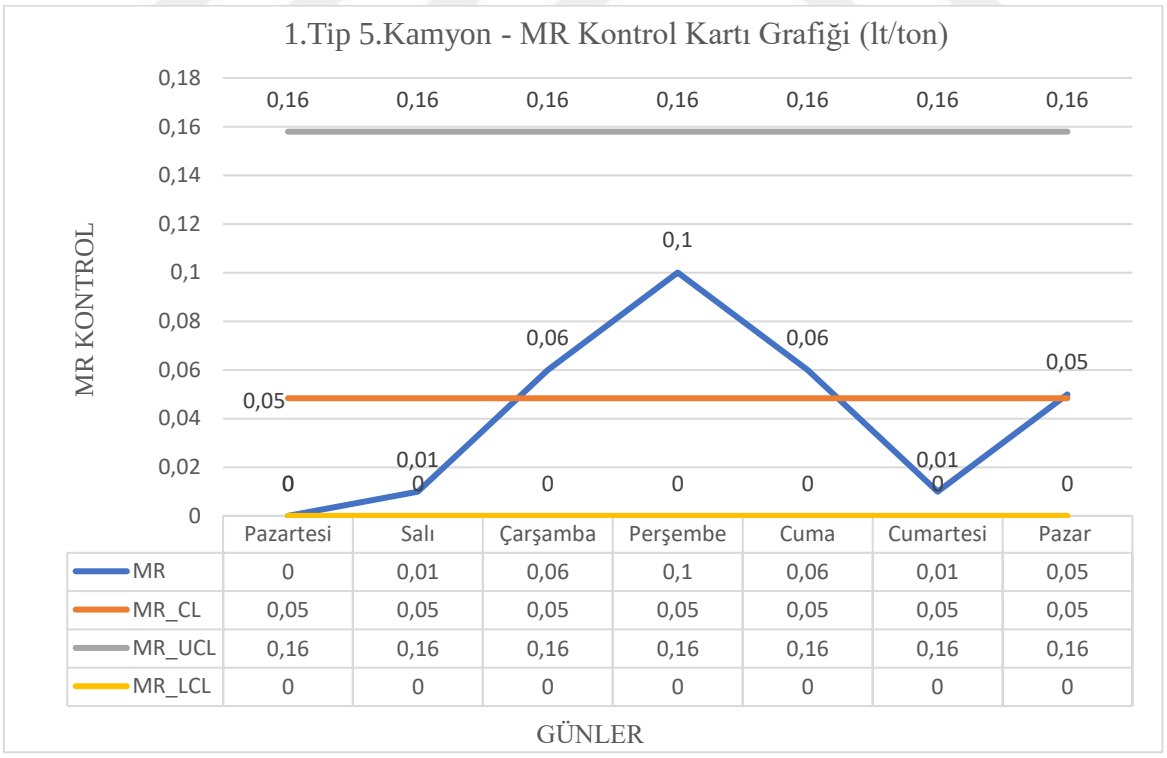
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	1,04	1,12	1,54	1,97	1,51	1,41	1,39
CL	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
UCL	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
LCL	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,08	0,42	0,43	0,46	0,1	0,02
MR_CL	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
MR_UCL	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.9. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)





Şekil 4.10. 1.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Grafiksel inceleme, haftanın ortasında ve özellikle perşembe günü birim tüketim değerlerinde artış eğilimi olduğunu; haftanın sonuna doğru ise değerlerin ortalama çevresinde daha dengeli dağıldığını göstermektedir.

1.Tip 5 Nolu kamyonun yakıt tüketim verileri birlikte değerlendirildiğinde, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu ancak haftalık bazda belirli dalgalanmalar içerdiği görülmektedir. Özellikle perşembe günü hem kilometre başına hem de ton başına yakıt tüketiminin yükselmiş olması, operasyonel koşullardaki değişkenliğin yakıt performansını etkileyebileceğini düşündürmektedir. Bu durum; yük dağılımı, güzergâh koşulları veya çalışma yoğunluğu ile ilişkili olabilir.

Ton başına yakıt tüketimi açısından bakıldığında, düşük tonajlı günlerde birim tüketimin yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu bulgu, yük optimizasyonunun yakıt verimliliği üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir. Kapasite kullanım oranının arttığı günlerde birim yakıt maliyetinin daha dengeli seyrettiği anlaşılmaktadır.

I-MR grafiklerinin tüm gözlemler için kontrol limitleri içerisinde kalması, gözlenen değişkenliğin özel nedenli değil, doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, süreç ortalamasının üzerinde gerçekleşen günlerin operasyonel açıdan ayrıca incelenmesi, yakıt performansının iyileştirilmesine katkı sağlayabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 1. Tip 5 Nolu kamyonun yakıt tüketim süreci istatistiksel olarak stabil olmakla birlikte, haftalık operasyon planlamasında yük dengesi ve sefer organizasyonunun optimize edilmesi durumunda birim tüketim değerlerinin daha düşük seviyelere çekilebileceği değerlendirilmektedir.

1. Tip 6 Nolu kamyona ait haftalık yakıt tüketim verileri operasyonel ve istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Gün bazında verilen motorin miktarı, başlangıç ve bitiş kilometreleri, kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km), sefer sayısı ve taşınan yük miktarına ilişkin göstergeler incelenmiştir. Ayrıca birim tüketim değerlerinin süreç içerisindeki değişkenliğini ortaya koymak amacıyla lt/km ve lt/ton parametreleri için Bireysel Gözlem –

Hareketli Aralık (I-MR) analizleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 4.25-4.28) ve ilgili grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.11-4.12).

Çizelge 4.25. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	125	85.970	86.113	**0,87**	143	13	38,80
2	Salı	228	86.113	86.251	**1,65**	138	13	46,33
3	Çarşamba	92	86.251	86.336	**1,08**	85	8	43,42
4	Perşembe	149	86.336	86.443	**1,39**	107	10	44,12
5	Cuma	141	86.443	86.564	**1,17**	121	11	44,93
6	Cumartesi	140	86.564	86.668	**1,35**	104	9	41,91
7	Pazar	90	86.668	86.739	**1,27**	71	6	40,38

Çizelge 4.26. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	504,4	11	10	**0,25**
2	Salı	602,29	11	18	**0,38**
3	Çarşamba	347,36	11	12	**0,26**
4	Perşembe	441,2	11	15	**0,34**
5	Cuma	494,23	11	13	**0,29**
6	Cumartesi	377,19	12	16	**0,37**
7	Pazar	242,28	12	15	**0,37**

Çizelge 4.27. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,87**	1,25	2,20	0,31	0	0,36	1,17	0
2	**1,65**	1,25	2,20	0,31	0,78	0,36	1,17	0
3	**1,08**	1,25	2,20	0,31	0,57	0,36	1,17	0
4	**1,39**	1,25	2,20	0,31	0,31	0,36	1,17	0
5	**1,17**	1,25	2,20	0,31	0,22	0,36	1,17	0
6	**1,35**	1,25	2,20	0,31	0,18	0,36	1,17	0
7	**1,27**	1,25	2,20	0,31	0,08	0,36	1,17	0

Çizelge 4.28. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

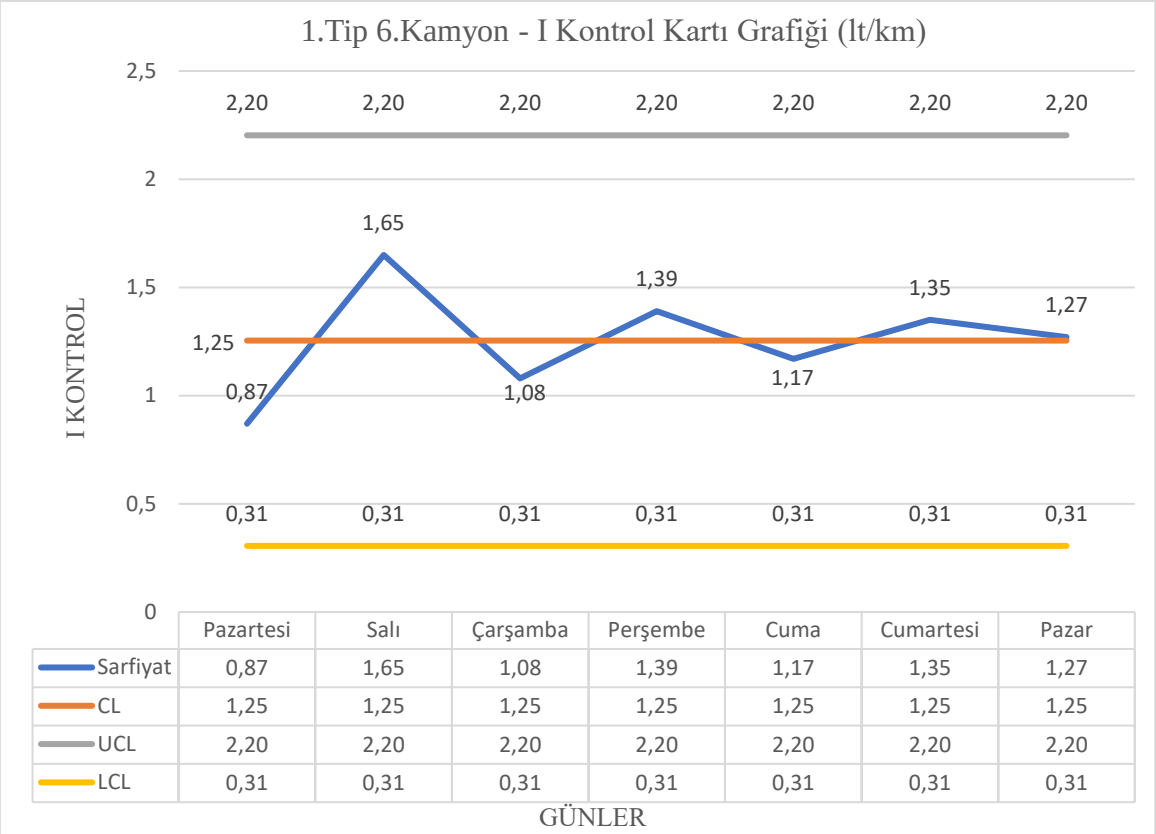
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,25**	0,32	0,52	0,12	0	0,08	0,25	0
2	**0,38**	0,32	0,52	0,12	0,13	0,08	0,25	0
3	**0,26**	0,32	0,52	0,12	0,11	0,08	0,25	0
4	**0,34**	0,32	0,52	0,12	0,07	0,08	0,25	0
5	**0,29**	0,32	0,52	0,12	0,05	0,08	0,25	0
6	**0,35**	0,32	0,52	0,12	0,07	0,08	0,25	0
7	**0,37**	0,32	0,52	0,12	0,02	0,08	0,25	0

Çizelge 4.25 ve 4.26'da 1.Tip 6 Nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. Kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km) değerlerinin (0,87 lt/km ile 1,65 lt/km) arasında değiştiği görülmektedir. En düşük tüketim pazartesi günü (0,87 lt/km), en yüksek tüketim ise salı günü (1,65 lt/km) gerçekleşmiştir. Haftalık ortalama değer dikkate alındığında tüketim değerlerinin genel olarak (1,25 lt/km) merkez çizgi CL etrafında dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.

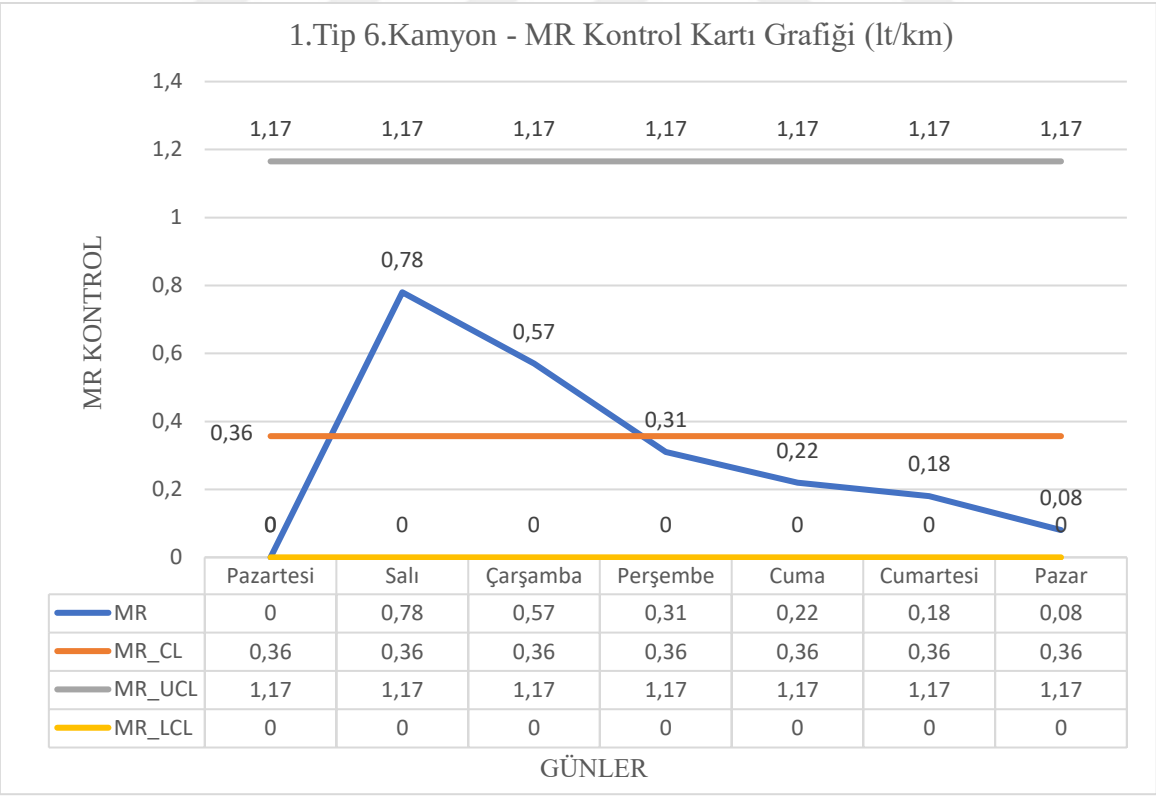
Ton başına yakıt tüketimi (lt/ton) değerleri (0,25 ile 0,38 lt/ton) arasında değişmektedir. En düşük değer pazartesi günü (0,25 lt/ton), en yüksek değer ise salı günü (0,38 lt/ton) olarak hesaplanmıştır. Özellikle Salı günü hem (lt/km hem de lt/ton) değerlerinde artış gözlenmesi dikkat çekmektedir.

I-MR analiz sonuçları (Çizelge 4.27 ve Şekil 4.11) incelendiğinde, lt/km için süreç ortalamasının CL (1,25 lt/km) olduğu; tüm gözlemlerin üst kontrol limiti UCL (2,20 lt/km) ve alt kontrol limiti LCL (0,31 lt/km) arasında yer aldığı belirlenmiştir. MR grafiğinde en yüksek hareketli aralık değeri (0,78 lt/km) olup bu değer MR UCL üst kontrol limitinin (1,17 lt/km) altında kalmıştır.

Benzer şekilde lt/ton değerlerine ilişkin I-MR analizi Çizelge 4.28 ve Şekil 4.12) sonucunda süreç ortalaması (0,32 lt/ton) olarak hesaplanmış; tüm gözlemlerin kontrol sınırları içerisinde yer aldığı görülmüştür. MR değerleri de (0,25 lt/ton) üst kontrol limitini aşmamıştır.

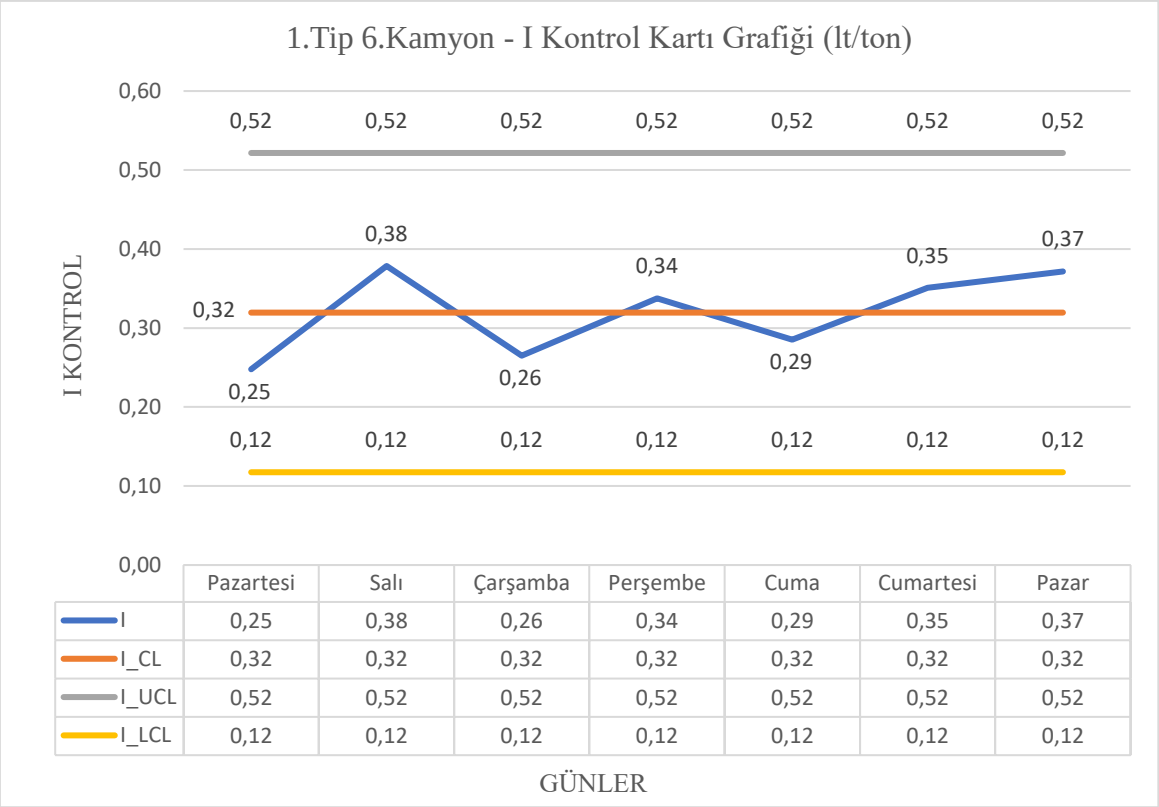


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	0,87	1,65	1,08	1,39	1,17	1,35	1,27
CL	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
UCL	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
LCL	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

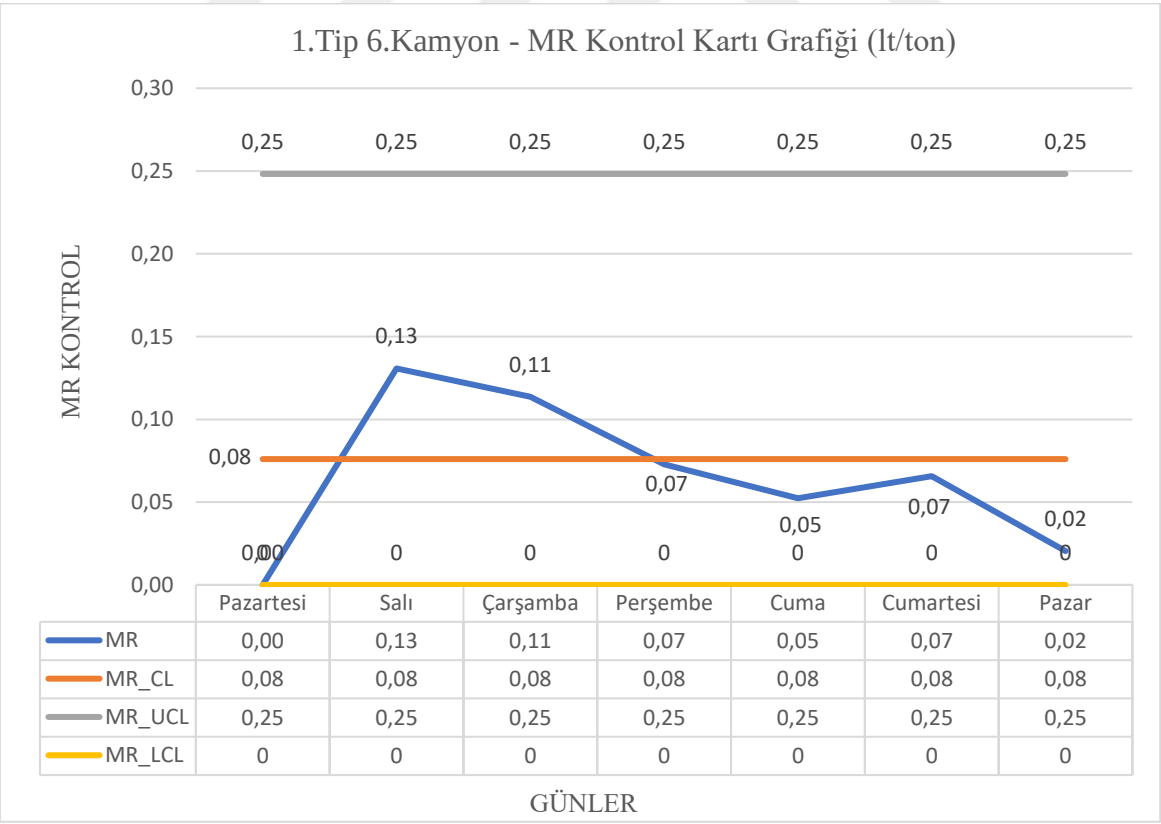


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,78	0,57	0,31	0,22	0,18	0,08
MR_CL	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
MR_UCL	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.11. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,25	0,38	0,26	0,34	0,29	0,35	0,37
I_CL	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
I_UCL	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
I_LCL	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0,00	0,13	0,11	0,07	0,05	0,07	0,02
MR_CL	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
MR_UCL	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.12. 1.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Grafiksel inceleme, haftanın başında tüketim değerlerinde daha belirgin dalgalanma olduğunu; haftanın ilerleyen günlerinde ise sürecin daha dengeli bir seyir izlediğini göstermektedir.

1. Tip 6 Nolu kamyonun yakıt tüketim verileri birlikte değerlendirildiğinde, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu görülmektedir. Kontrol kartlarında herhangi bir gözlemin sınır dışına çıkmaması, tüketimde özel nedenli bir sapma bulunmadığını göstermektedir.

Bununla birlikte haftanın başında özellikle salı günü tüketim değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın sefer yoğunluğu, yük dağılımı veya operasyon koşullarındaki değişikliklerden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir. Aynı gün ton başına tüketimin de yükselmiş olması, kapasite kullanım oranının yakıt verimliliği üzerinde belirleyici olduğunu düşündürmektedir.

Haftanın ilerleyen günlerinde hem lt/km hem de lt/ton değerlerinin süreç ortalamasına daha yakın gerçekleşmesi, operasyon planlamasının daha dengeli yürütüldüğünü göstermektedir. MR değerlerinin hafta sonuna doğru azalması da bu istikrarı desteklemektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 1. Tip 6 Nolu kamyonun yakıt tüketim süreci kontrol altında olmakla birlikte, haftanın başında gözlenen dalgalanmaların azaltılması yönünde operasyonel iyileştirmeler yapılabilir. Yük optimizasyonu ve sefer planlamasının dengeli yürütülmesi, birim yakıt maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayabilir.

.

4.2. 1.Tip Kamyonlarının Kendi İçinde Karşılaştırmalı İPK Değerlendirmesi

Hazırlanan çalışmada 1. Tip marka altı farklı kamyona ait günlük yakıt tüketim verileri bireysel (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol kartları kullanılarak analiz edilmiş ve her bir kamyonun süreç kararlılığı ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise filo genelinde yakıt tüketim davranışları karşılaştırmalı olarak ele alınmış; süreç ortalamaları, değişkenlik düzeyleri ve kontrol kartı sonuçları bütüncül bir çerçevede yorumlanmıştır.

Bireysel kontrol kartlarından elde edilen süreç ortalamaları incelendiğinde, 1. Tip 1, 4 ve 6 nolu kamyonların ortalama kilometre başına yakıt tüketimlerinin yaklaşık (1,24–1,27 lt/km) aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, filo içinde temel tüketim seviyesinin büyük ölçüde homojen olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık 1. Tip 2 nolu kamyonun süreç ortalaması (1,34 lt/km), 1. Tip 3 nolu kamyonun süreç ortalaması (1,57 lt/km), 1. Tip 5 nolu kamyonun ise (1,43 lt/km) olarak hesaplanmıştır. Özellikle 1. Tip 3 nolu kamyonun daha yüksek ortalama değer göstermesi, ilgili aracın daha yüksek yük ortalamaları veya daha zorlayıcı saha koşullarında çalıştığını düşündürmektedir. Bu farklılık, teknik performans farklılığından ziyade operasyonel koşullara bağlı bir artış olarak değerlendirilebilir.

Tüm kamyonlara ait bireysel kontrol kartları incelendiğinde, gözlemlerin tamamının üst ve alt kontrol limitleri içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, filo genelinde yakıt tüketim süreçlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle, gözlenen değişkenlik doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebilir.

Kamyonlar arası farklılıklar daha belirgin biçimde hareketli aralık (MR) kartlarında ortaya çıkmaktadır. 1. Tip 1 ve 1. Tip 4 nolu kamyonlarda MR ortalamalarının görece düşük olduğu ve ardışık günler arasındaki değişkenliğin sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu araçlarda operasyonel koşulların daha stabil seyrettiğini göstermektedir.

1.Tip 2 ve 1. Tip 6 nolu kamyonlarda ise MR değerleri belirli günlerde artış göstermiş olmakla birlikte hiçbir gözlem kontrol limitlerini aşmamıştır. Bu araçlarda gözlenen kısa dönemli dalgalanmalar, günlük saha koşullarına daha duyarlı bir çalışma düzenine işaret etmektedir; ancak bu durum süreç kararlılığını bozacak düzeyde değildir.

1.Tip 3 nolu kamyonun günlük tüketim değerlerinin (1,16–2,14 lt/km) aralığında değiştiği ve ortalama tüketimin (1,57 lt/km) olarak gerçekleştiği görülmektedir. MR kartında özellikle altıncı gün gözlenen artış dikkat çekmekle birlikte kontrol dışı bir durum oluşmamıştır. Bu bulgu, söz konusu kamyonun da filo genelinde doğal varyasyon sınırları içerisinde çalıştığını göstermektedir.

1.Tip 5 nolu kamyon ise hem ortalama tüketim hem de MR değerleri açısından görece daha geniş bir bantta hareket etmiştir. Özellikle hafta ortasında gözlenen artışlar, yükleme yoğunluğu veya eğimli taşıma koşullarının etkisini düşündürmektedir. Bununla birlikte süreç istatistiksel kontrol altında kalmaya devam etmiştir.

Genel değerlendirme yapıldığında:

- Tüm kamyonlarda süreç ortalamaları birbirine yakın düzeydedir.
- Hiçbir kamyonda kontrol dışı gözlem oluşmamıştır.
- Kısa dönemli değişkenlik tüm kamyonlarda kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.
- Filo genelinde yakıt tüketimi öngörülebilir ve istikrarlı bir yapı göstermektedir.

Bu sonuçlar, 1. Tip marka kamyonların açık ocak taşımacılığında benzer teknik performans karakteristiklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Filo içerisinde gözlenen sınırlı farklılıkların temel olarak saha koşulları, yük dağılımı ve operatör etkisi ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Genel olarak, 1. Tip filosu yakıt tüketim süreci İPK perspektifinden değerlendirildiğinde; süreçlerin doğal varyasyon sınırları içerisinde çalıştığı, kontrol altında olduğu ve yönetilebilir bir performans düzeyi sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.3. 2.Tip Kamyonlarına Ait Yakıt Kullanımı Üzerine Shewhart – İPK Bulguları

Açık ocak maden işletmesinde nakliyat faaliyetlerinde kullanılan 2. Tip model kamyonlardan 1 nolu araca ait haftalık yakıt tüketim verileri bu bölümde incelenmiştir. Günlük verilen motorin miktarı, kilometre artışı, kilometre başına yakıt tüketimi (lt/km), sefer sayısı ve taşınan yük miktarına ilişkin veriler ilgili çizelgelerde sunulmuştur. Ayrıca yakıt tüketim sürecinin kararlılığını değerlendirmek amacıyla (lt/km ve lt/ton) parametreleri için Bireysel Gözlem – Hareketli Aralık (I-MR) kontrol kartları oluşturulmuş ve grafiksel sonuçlar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Bu analiz ile sürecin doğal varyasyon sınırları içerisinde olup olmadığı ve özel nedenli sapmaların bulunup bulunmadığı değerlendirilmiştir. Böylece yalnızca ortalama tüketim düzeyi değil, aynı zamanda tüketim davranışının zamana bağlı değişkenlik yapısı da incelenmiştir. Elde edilen bulgular, aracın operasyonel performansının istatistiksel süreç kontrol yaklaşımı çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirilmesine imkân sağlamıştır.

Çizelge 4.29. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	178	14.680	14.816	**1,31**	136	12	35,76
2	Salı	133	14.816	14.876	**2,22**	60	5	48,64
3	Çarşamba	196	14.876	15.045	**1,16**	169	15	32,05
4	Perşembe	185	15.045	15.162	**1,58**	117	11	41,82
5	Cuma	161	15.162	15.284	**1,32**	122	11	35,74
6	Cumartesi	138	15.284	15.386	**1,35**	102	9	36,21
7	Pazar	116	15.386	15.444	**2,00**	58	5	47,94

Çizelge 4.30. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON (t)	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	429,12	11	14,83	**0,41**
2	Salı	243,2	12	26,60	**0,55**
3	Çarşamba	480,75	11	13,07	**0,41**
4	Perşembe	460,02	11	16,82	**0,40**
5	Cuma	393,14	11	14,64	**0,41**
6	Cumartesi	325,89	11	15,33	**0,42**
7	Pazar	239,7	12	23,20	**0,48**

Çizelge 4.31. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,31**	1,56	3,04	0,09	0	0,56	1,81	0
2	**2,22**	1,56	3,04	0,09	0,91	0,56	1,81	0
3	**1,16**	1,56	3,04	0,09	1,06	0,56	1,81	0
4	**1,58**	1,56	3,04	0,09	0,42	0,56	1,81	0
5	**1,32**	1,56	3,04	0,09	0,26	0,56	1,81	0
6	**1,35**	1,56	3,04	0,09	0,03	0,56	1,81	0
7	**2**	1,56	3,04	0,09	0,65	0,56	1,81	0

Çizelge 4.32. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

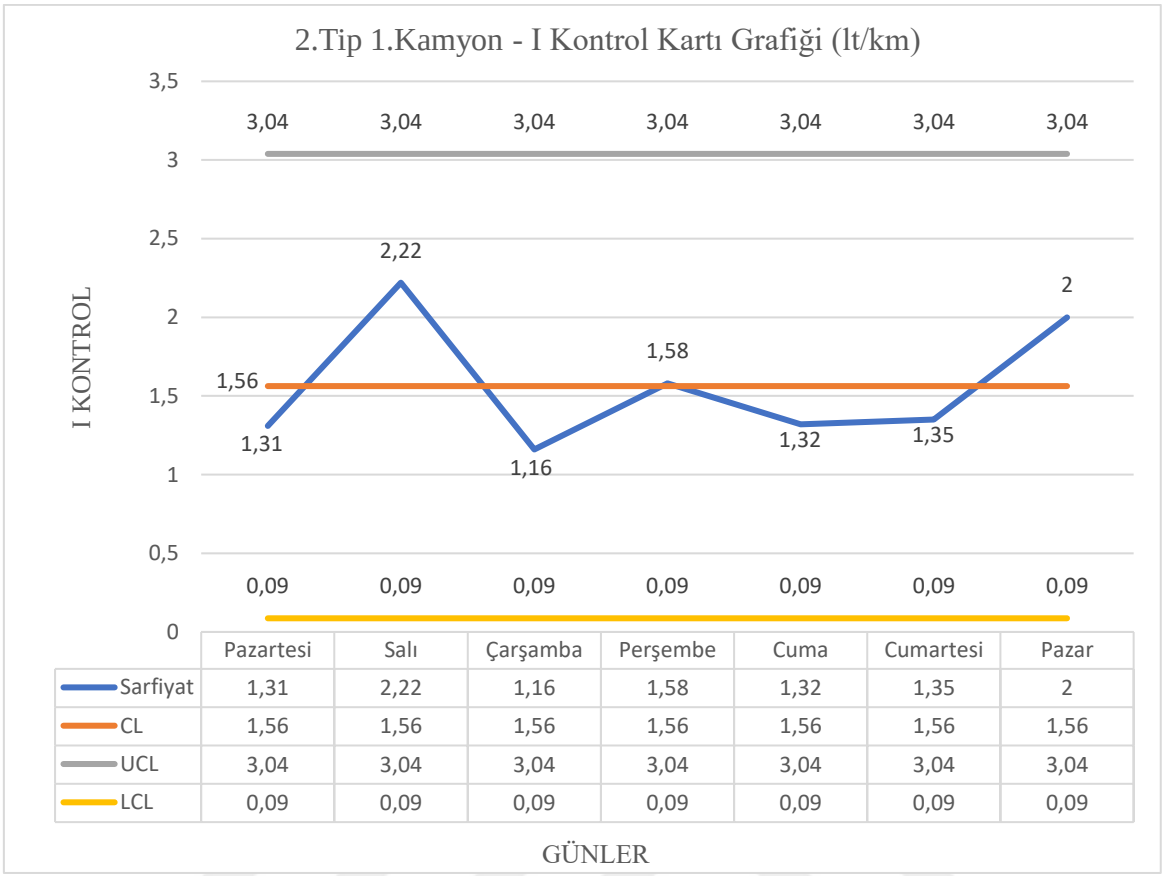
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,41**	0,44	0,60	0,28	0	0,06	0,20	0
2	**0,55**	0,44	0,60	0,28	0,13	0,06	0,20	0
3	**0,41**	0,44	0,60	0,28	0,14	0,06	0,20	0
4	**0,40**	0,44	0,60	0,28	0,01	0,06	0,20	0
5	**0,41**	0,44	0,60	0,28	0,01	0,06	0,20	0
6	**0,42**	0,44	0,60	0,28	0,01	0,06	0,20	0
7	**0,48**	0,44	0,60	0,28	0,06	0,06	0,20	0

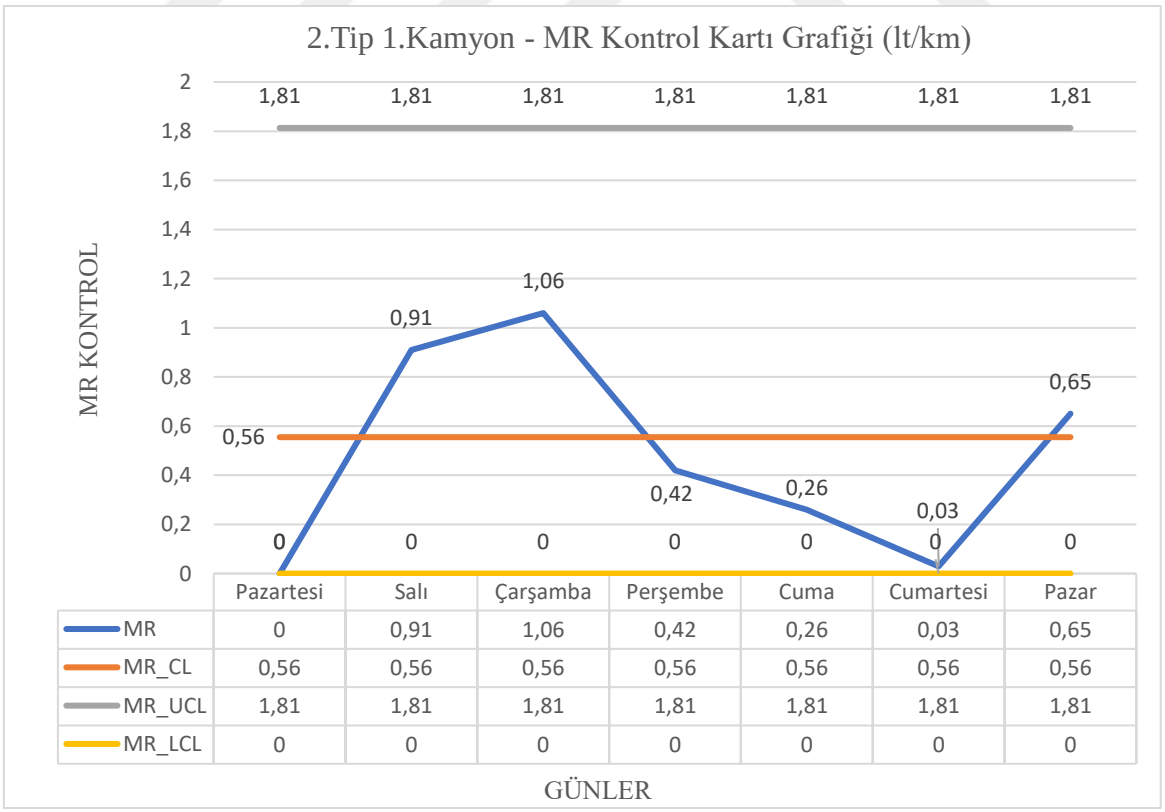
Çizelge 4.29 incelendiğinde kilometre başına yakıt tüketiminin (1,16 ile 2,22 lt/km) arasında değiştiği görülmektedir. En düşük tüketim çarşamba günü (1,16 lt/km), en yüksek tüketim ise salı günü (2,22 lt/km) gerçekleşmiştir. Pazar günü de (2,00 lt/km) ile haftalık ortalamanın üzerinde bir değer kaydedilmiştir. Süreç ortalaması (1,56 lt/km) olarak hesaplanmıştır.

Ton başına yakıt tüketimi (Çizelge 4.30), (0,40 ve 0,55 lt/ton) aralığında değişmektedir. En düşük değer perşembe günü (0,40 lt/ton), en yüksek değer ise salı günü (0,55 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Düşük sefer sayısına sahip günlerde birim tüketimin arttığı dikkat çekmektedir.

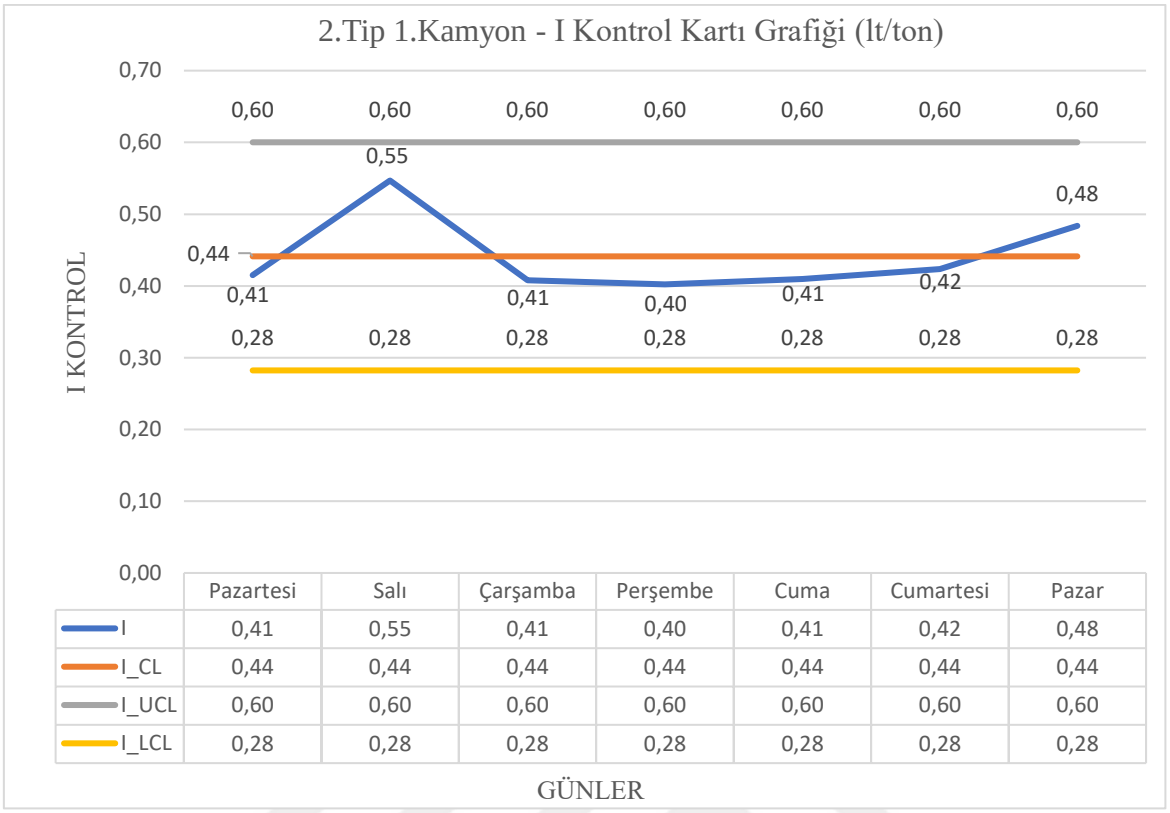
I-MR analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.31 ve Şekil 4.13), tüm lt/km değerleri kontrol limitleri (LCL=0,09, UCL=3,04 L/km) içerisinde kalmıştır. MR grafiğinde en yüksek hareketli aralık değeri (1,06 lt/km) olarak hesaplanmış olup bu değer MR üst kontrol limitini MR UCL (1,81 lt/km)'yi aşmamıştır.

Benzer şekilde lt/ton değerlerine ilişkin I-MR analizinde (Çizelge 4.32 ve Şekil 4.14), süreç ortalaması CL (0,44 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,28 ve 0,60 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 1 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

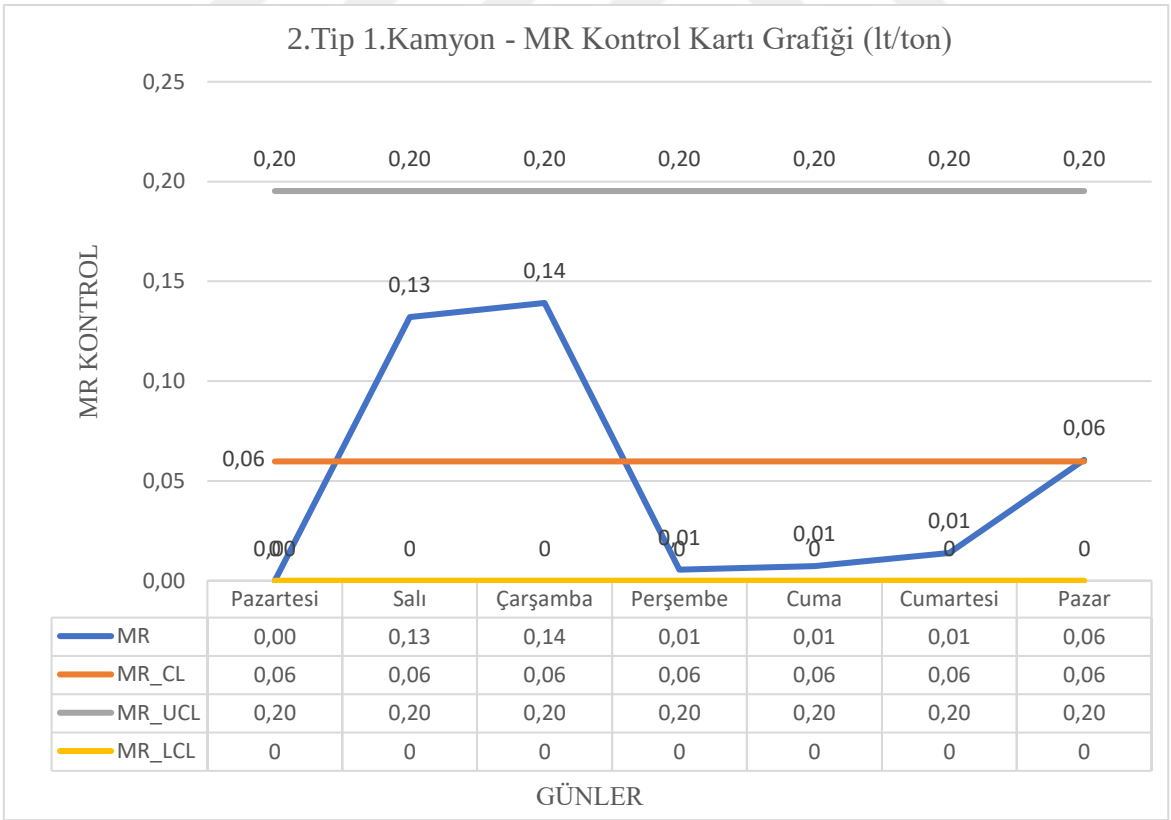




Şekil 4.13. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,41	0,55	0,41	0,40	0,41	0,42	0,48
I_CL	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
I_UCL	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
I_LCL	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0,00	0,13	0,14	0,01	0,01	0,01	0,06
MR_CL	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
MR_UCL	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.14. 2.Tip 1 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

2. Tip 1 nolu kamyona ait veriler birlikte değerlendirildiğinde, yakıt tüketim sürecinin kontrol altında olmakla birlikte haftalık bazda belirgin dalgalanmalar içerdiği görülmektedir. Özellikle salı günü hem lt/km hem de lt/ton değerlerinin yükselmiş olması, düşük kilometre ve düşük sefer sayısına rağmen birim tüketimin arttığını göstermektedir. Bu durum, kısa mesafeli ve düzensiz operasyonların yakıt verimliliğini olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Çarşamba günü ise daha uzun mesafe ve daha fazla sefer yapılmasına rağmen lt/km değerinin düşmesi, operasyon yoğunluğunun dengeli yürütülmesi durumunda yakıt verimliliğinin arttığını göstermektedir. Bu bulgu, yük optimizasyonu ve düzenli sefer planlamasının yakıt performansı üzerindeki etkisini desteklemektedir.

MR analizinde Salı–Çarşamba arasında yüksek bir değişkenlik gözlenmiş olmakla birlikte süreç kontrol dışına çıkmamıştır. Bu durum, dalgalanmanın özel nedenli değil doğal varyasyon kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Genel olarak 2. Tip 1 nolu kamyonun yakıt tüketim süreci istatistiksel olarak kararlı olmakla birlikte, operasyon planlamasında sefer düzeninin ve kapasite kullanım oranının optimize edilmesi durumunda birim yakıt tüketim değerlerinin daha dengeli hale getirilebileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.33. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	142	26.838	26.989	**0,94**	151	14	32,06
2	Salı	164	26.989	27.064	**2,19**	75	7	49,77
3	Çarşamba	186	27.064	27.223	**1,17**	159	14	40,48
4	Perşembe	194	27.223	27.364	**1,38**	141	13	44,89
5	Cuma	175	27.364	27.507	**1,22**	143	13	43,21
6	Cumartesi	161	27.507	27.600	**1,73**	93	8	43,41
7	Pazar	105	27.600	27.675	**1,40**	75	7	37,26

Çizelge 4.34. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

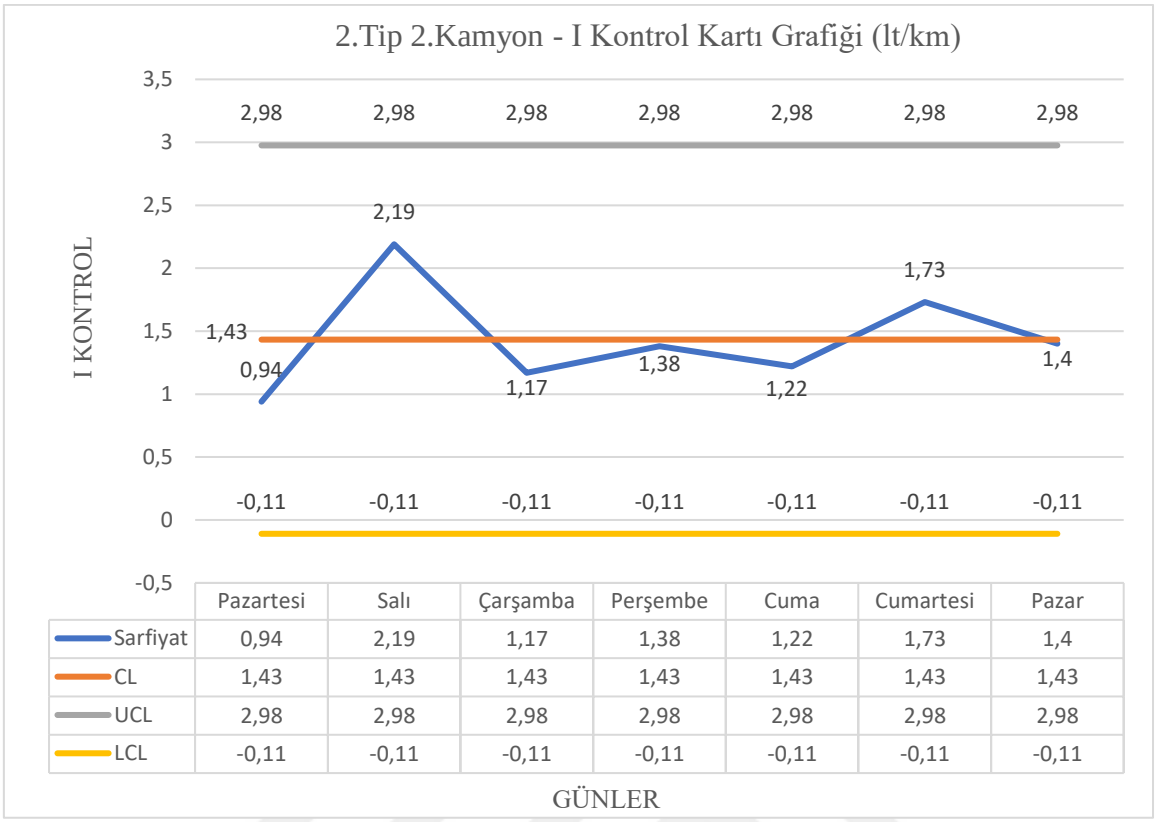
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	448,84	11	10,14	**0,32**
2	Salı	348,39	11	23,43	**0,47**
3	Çarşamba	566,72	11	13,29	**0,33**
4	Perşembe	583,57	11	14,92	**0,33**
5	Cuma	561,73	11	13,46	**0,31**
6	Cumartesi	347,28	12	20,13	**0,46**
7	Pazar	260,82	11	15,00	**0,40**

Çizelge 4.35. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

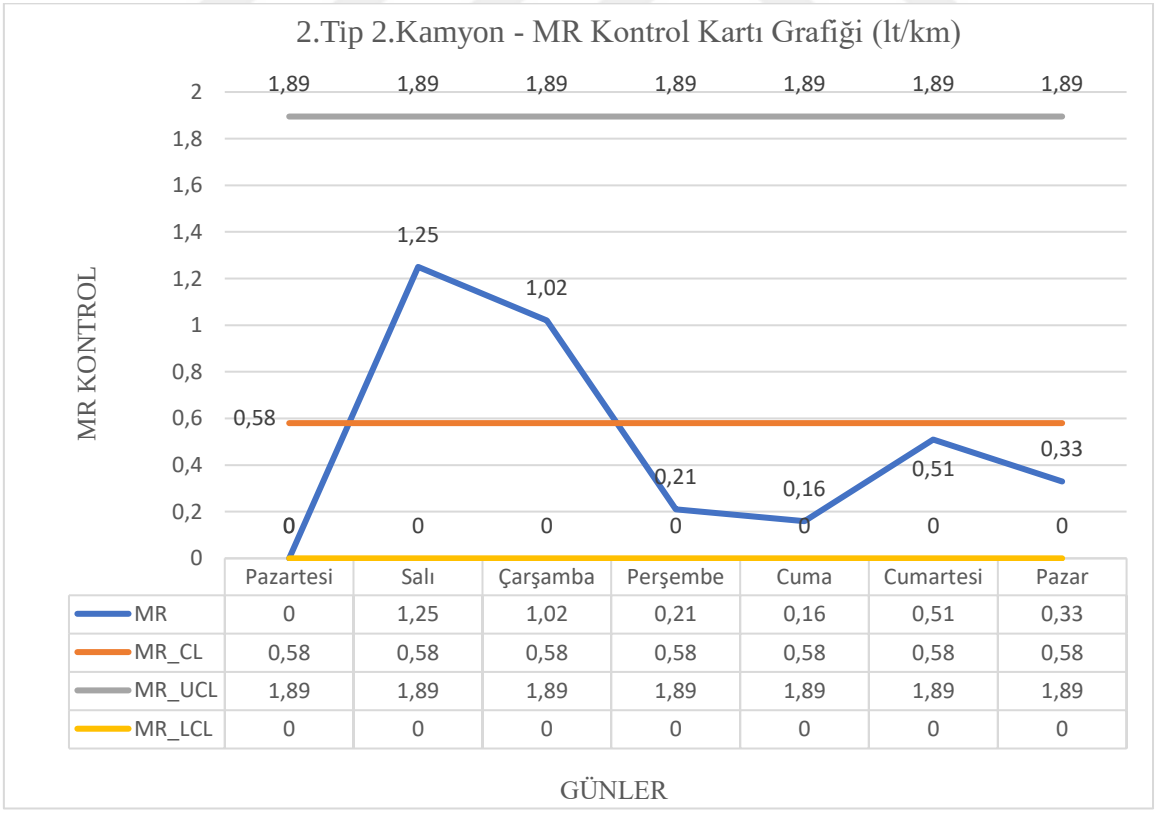
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0.94**	1,43	2,98	0	0	0,58	1,89	0
2	**2.19**	1,43	2,98	0	1,25	0,58	1,89	0
3	**1.17**	1,43	2,98	0	1,02	0,58	1,89	0
4	**1.38**	1,43	2,98	0	0,21	0,58	1,89	0
5	**1.22**	1,43	2,98	0	0,16	0,58	1,89	0
6	**1.73**	1,43	2,98	0	0,51	0,58	1,89	0
7	**1.4**	1,43	2,98	0	0,33	0,58	1,89	0

Çizelge 4.36. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,32**	0,38	0,61	0,14	0	0,09	0,29	0
2	**0,47**	0,38	0,61	0,14	0,15	0,09	0,29	0
3	**0,33**	0,38	0,61	0,14	0,14	0,09	0,29	0
4	**0,33**	0,38	0,61	0,14	0,00	0,09	0,29	0
5	**0,31**	0,38	0,61	0,14	0,02	0,09	0,29	0
6	**0,46**	0,38	0,61	0,14	0,15	0,09	0,29	0
7	**0,40**	0,38	0,61	0,14	0,06	0,09	0,29	0

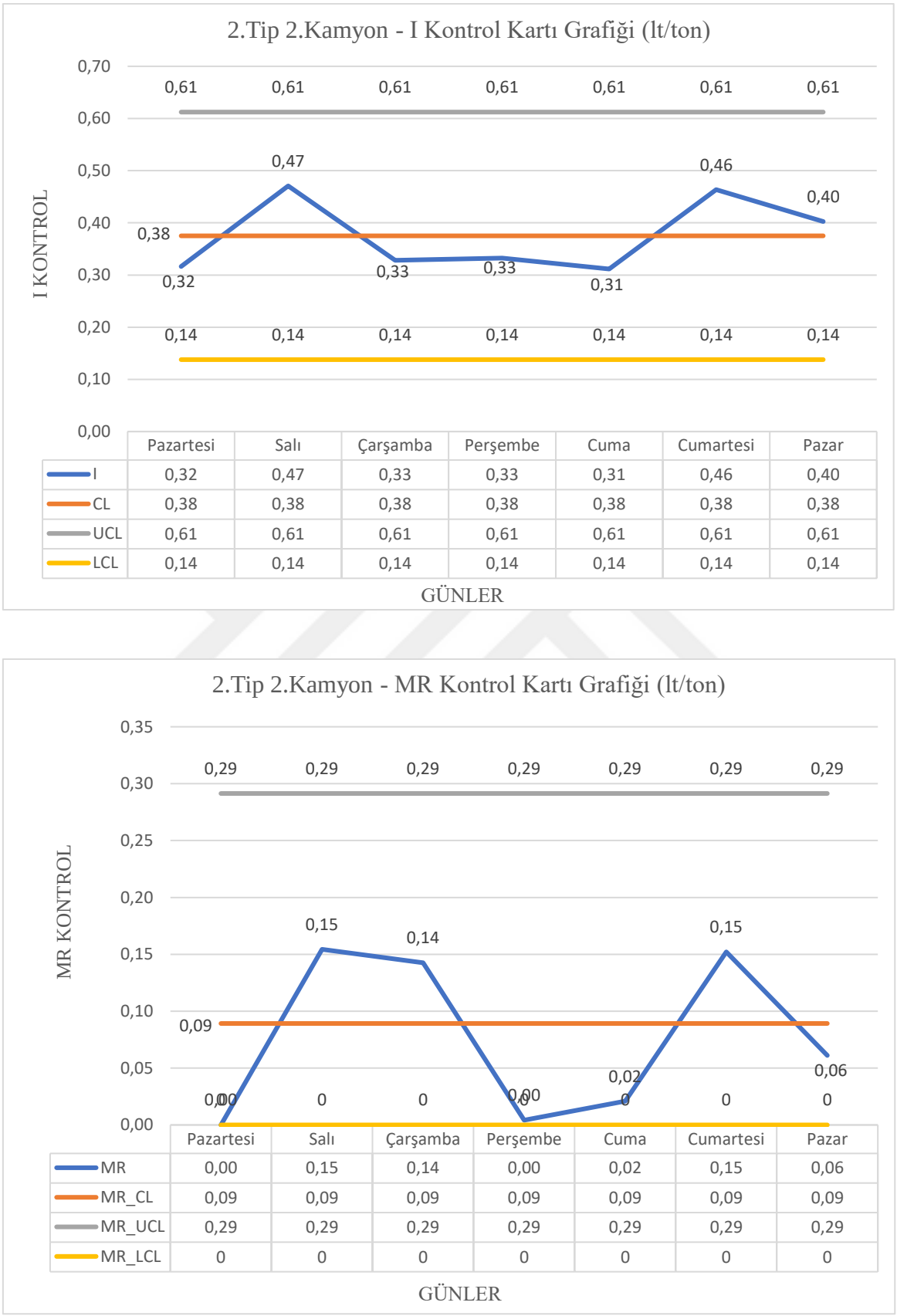


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	0,94	2,19	1,17	1,38	1,22	1,73	1,4
CL	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
UCL	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
LCL	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	1,25	1,02	0,21	0,16	0,51	0,33
MR_CL	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
MR_UCL	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.15. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



Şekil 4.16. 2.Tip 2 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34'te 2. Tip 2 nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. İlgili kamyon bir haftalık süreçte toplam 76 sefer gerçekleştirmiş, 837 km yol kat etmiş, 3117,35 ton yük taşımış ve toplam 1.127 litre yakıt tüketmiştir. Günlük kilometre başına yakıt tüketiminin (0,94–2,19 L/km) aralığında değiştiği, haftalık süreç ortalamasının ise (1,43 lt/km) olduğu belirlenmiştir.

En düşük tüketim değeri Pazartesi günü (0,94 lt/km), en yüksek tüketim değeri ise Salı günü (2,19 lt/km) kaydedilmiştir. Özellikle salı günü gözlenen yüksek tüketim, sefer sayısının düşük olmasına rağmen birim yakıt sarfiyatının artmış olması bakımından dikkat çekicidir. Bu durum, kısa mesafeli taşıma, yüksek rampa eğimi veya yoğun dur-kalk operasyonlarının yakıt verimliliğini olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Ton başına yakıt tüketimi değerleri (0,31–0,47 lt/ton) aralığında gerçekleşmiştir. En düşük değer cuma günü (0,31 lt/ton), en yüksek değer ise salı ve cumartesi günlerinde (0,47 ve 0,46 lt/ton) ölçülmüştür. Özellikle düşük tonajlı ve düşük sefer sayılı günlerde birim tüketimin arttığı görülmektedir. Bu bulgu, kapasite kullanım oranı ile yakıt verimliliği arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.35 ve Şekil 4.15'te sunulan bireysel kontrol kartı (I grafiği) incelendiğinde, merkez çizgi CL (1,43 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti UCL (2,98 lt/km) olarak belirlenmiştir. Alt kontrol limitinin (LCL) teorik olarak negatif çıkması nedeniyle fiziksel anlamlılık açısından sıfır kabul edilmiştir. Tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu sonuç, 2. Tip 2 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinde özel nedenli varyasyon bulunmadığını ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) analizinde MR ortalaması (0,58 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti MR UCL (1,89 lt/km) olarak belirlenmiştir. En yüksek ardışık gün değişimi (1,25 lt/km) değeri ile 1. ve 2. günler arasında gerçekleşmiştir. MR değerlerinin tamamının kontrol sınırları içinde kalması, gözlenen dalgalanmaların doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte haftanın ilk yarısında MR değerlerinin görece yüksek seyretmesi, 2. Tip 2 nolu kamyonun operasyonel koşullardaki değişimlere karşı daha hassas bir tüketim profili sergilediğini ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde (lt/ton) değerlerine ilişkin I-MR analizinde (Çizelge 4.36 ve Şekil 4.16), süreç ortalaması CL (0,38 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,14–0,61 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 2 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. Kontrol grafikleri incelendiğinde özel nedenli varyasyona işaret eden herhangi bir limit aşımı, ani sıçrama ya da sistematik trend davranışı gözlenmemiştir. Sürecin doğal değişkenlik sınırları içerisinde istikrarlı bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır. Bu durum, ilgili kamyonun mevcut saha ve yük koşulları altında öngörülebilir ve dengeli bir yakıt tüketim performansına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında, 2. Tip 2 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu ancak süreç değişkenliğinin 1. Tip kamyonlarda gözlenen daha dar bantlı dağılıma kıyasla daha geniş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, 2. Tip kamyonların yük kapasitesi ve saha kullanım karakteristiği nedeniyle operasyonel değişkenliklere daha duyarlı bir tüketim davranışı sergileyebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.37. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (KM)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	180	32.333	32.496	1,10	163	15	**38,57**
2	Salı	122	32.496	32.551	2,22	55	5	**47,22**
3	Çarşamba	174	32.551	32.687	1,28	136	12	**43,49**
4	Perşembe	156	32.687	32.796	1,43	109	10	**40,49**
5	Cuma	145	32.796	32.895	1,46	99	9	**44,09**
6	Cumartesi	157	32.895	33.005	1,43	110	10	**38,84**
7	Pazar	124	33.005	33.073	1,82	68	6	**45,26**

Çizelge 4.38. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

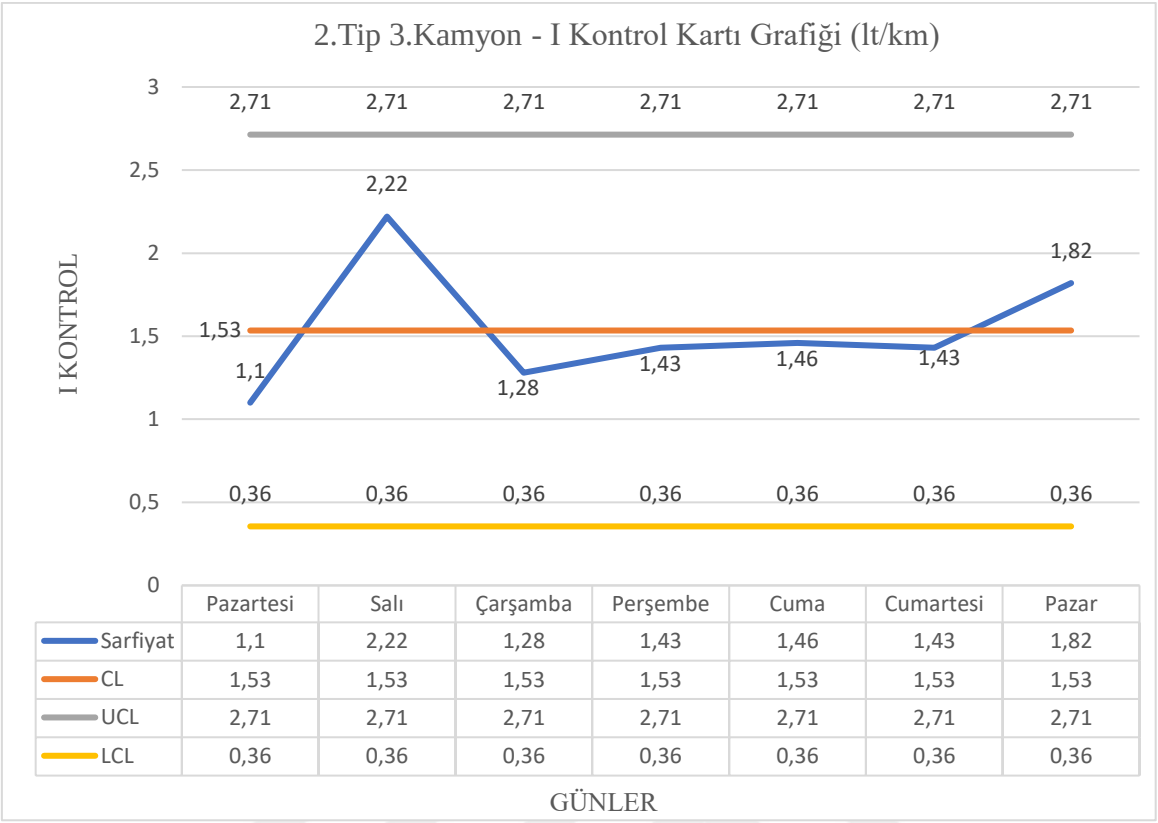
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	578,55	11	12,00	**0,31**
2	Salı	236,1	11	24,40	**0,52**
3	Çarşamba	521,88	11	14,50	**0,33**
4	Perşembe	404,9	11	15,60	**0,39**
5	Cuma	396,81	11	16,11	**0,37**
6	Cumartesi	388,4	11	15,70	**0,40**
7	Pazar	271,56	11	20,67	**0,46**

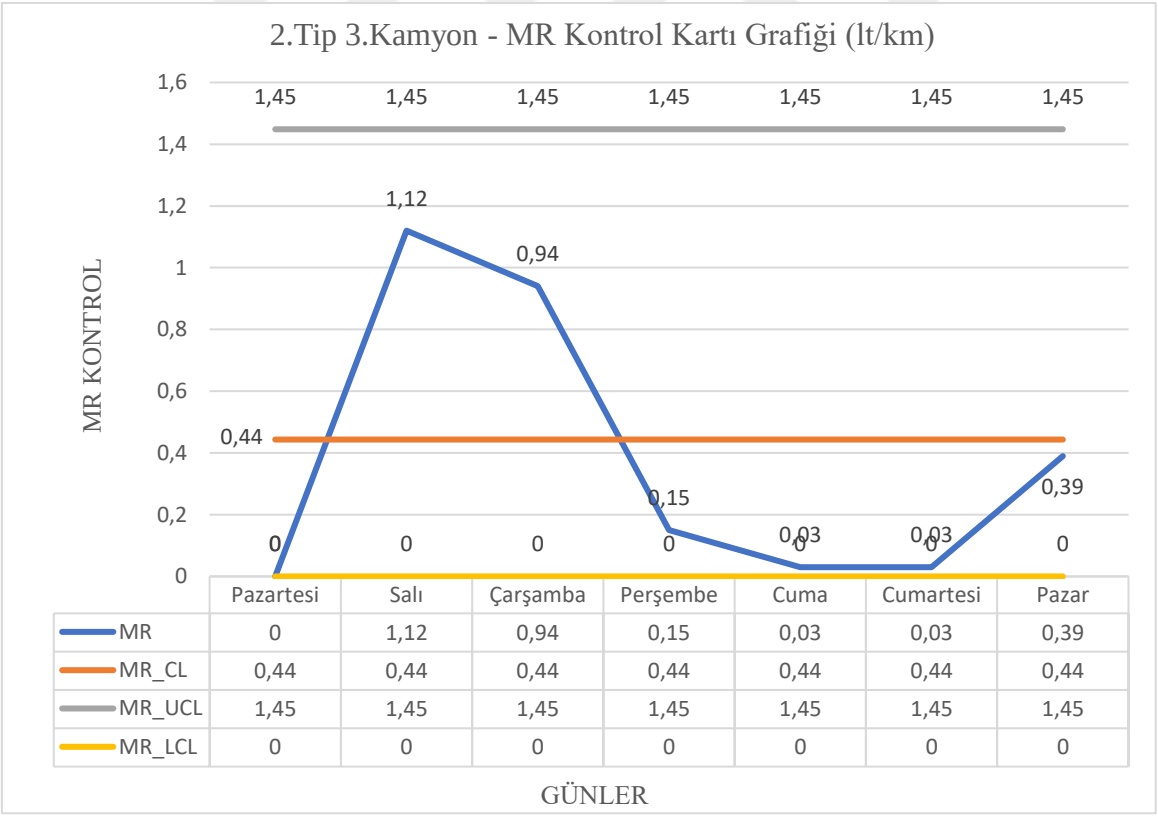
Çizelge 4.39. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1.1**	1.53	2.71	0.36	0	0.44	1.45	0
2	**2.22**	1.53	2.71	0.36	1.12	0.44	1.45	0
3	**1.28**	1.53	2.71	0.36	0.94	0.44	1.45	0
4	**1.43**	1.53	2.71	0.36	0.15	0.44	1.45	0
5	**1.46**	1.53	2.71	0.36	0.03	0.44	1.45	0
6	**1.43**	1.53	2.71	0.36	0.03	0.44	1.45	0
7	**1.82**	1.53	2.71	0.36	0.39	0.44	1.45	0

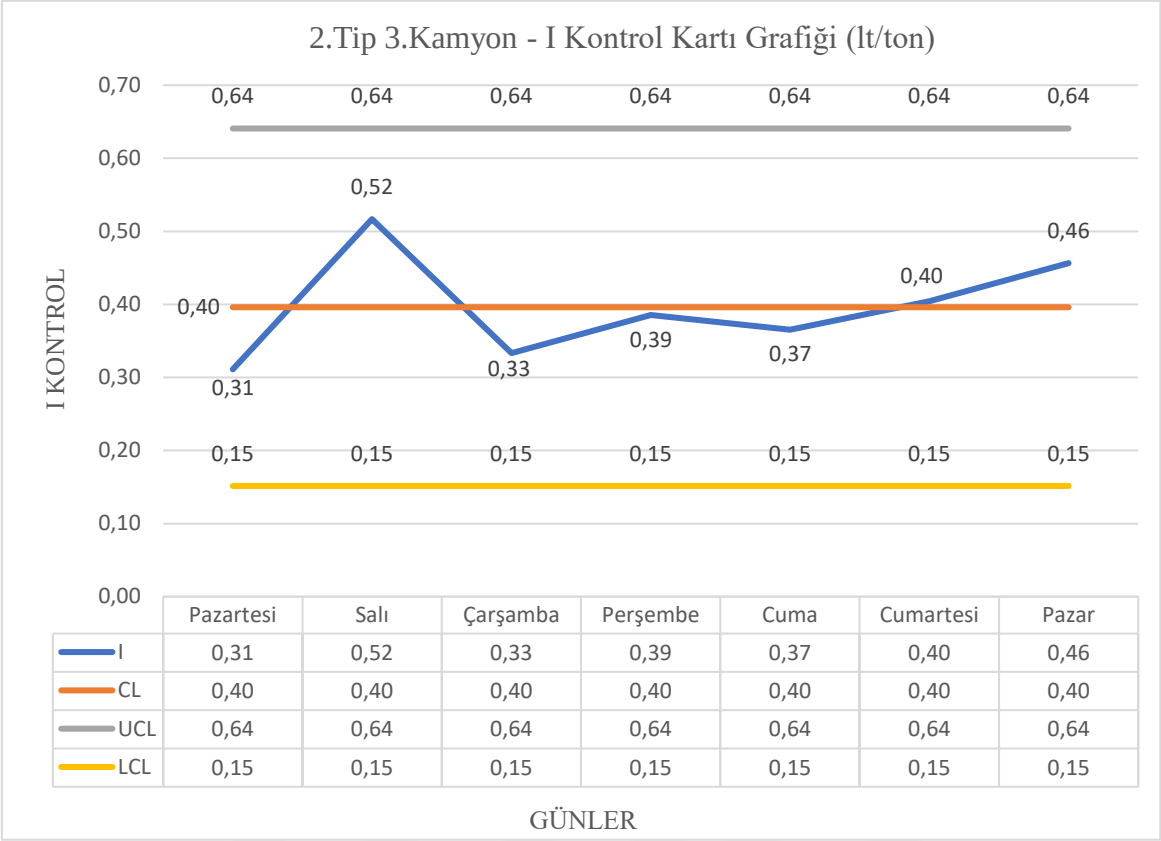
Çizelge 4.40. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,31**	0,40	0,64	0,15	0	0,09	0,30	0
2	**0,52**	0,40	0,64	0,15	0,21	0,09	0,30	0
3	**0,33**	0,40	0,64	0,15	0,18	0,09	0,30	0
4	**0,39**	0,40	0,64	0,15	0,05	0,09	0,30	0
5	**0,37**	0,40	0,64	0,15	0,02	0,09	0,30	0
6	**0,40**	0,40	0,64	0,15	0,04	0,09	0,30	0
7	**0,46**	0,40	0,64	0,15	0,05	0,09	0,30	0

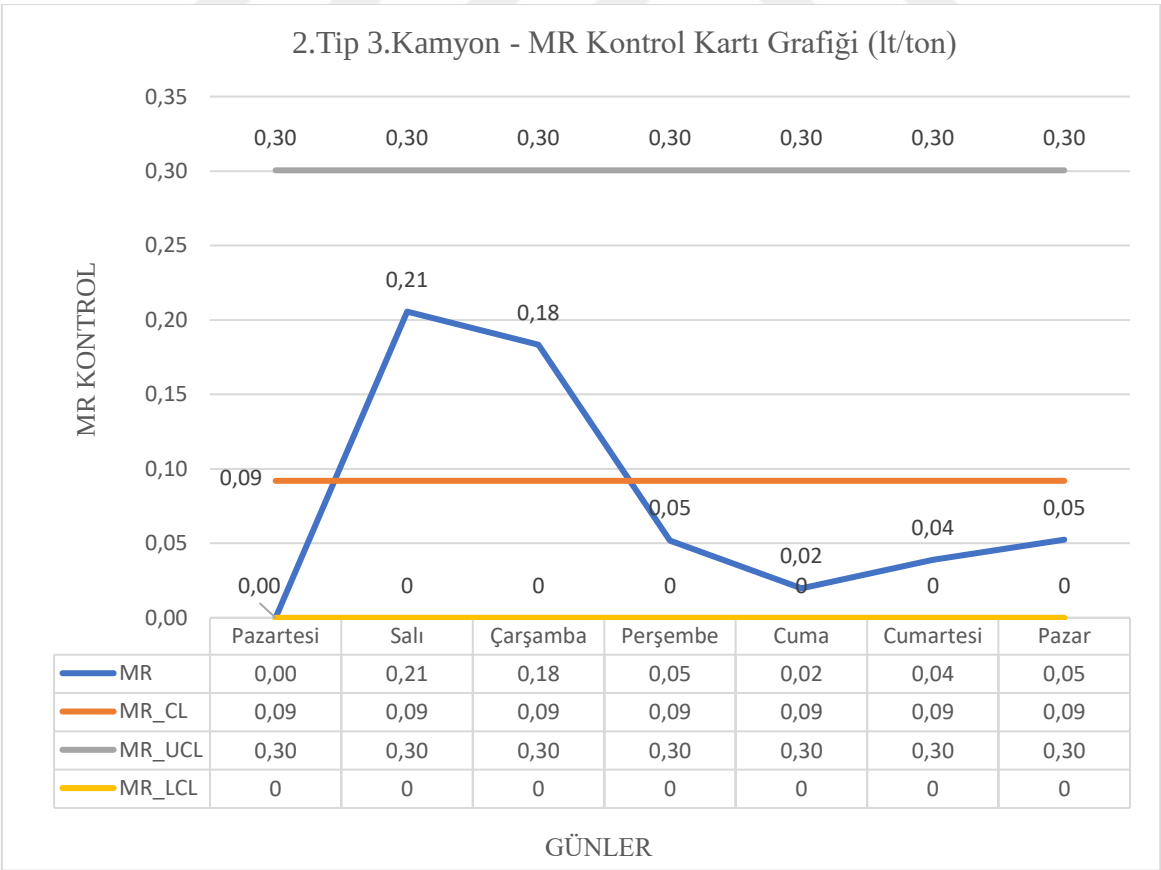




Şekil 4.17. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,31	0,52	0,33	0,39	0,37	0,40	0,46
CL	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
UCL	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LCL	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0,00	0,21	0,18	0,05	0,02	0,04	0,05
MR_CL	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
MR_UCL	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.18. 2.Tip 3 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.38'de 2. Tip 3 nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. İlgili kamyon bir haftalık süreçte toplam 67 sefer gerçekleştirmiş, 740 km yol kat etmiş, 2798,20 ton yük taşımış ve toplam 1.058 litre yakıt tüketmiştir. Günlük kilometre başına yakıt tüketimi (1,10–2,22 lt/km) aralığında değişmiş olup süreç ortalaması (1,54 lt/km) olarak hesaplanmıştır.

En düşük tüketim Pazartesi günü (1,10 lt/km), en yüksek tüketim ise Salı günü (2,22 lt/km) gerçekleşmiştir. Özellikle salı günü düşük kilometreye rağmen yüksek tüketim değeri dikkat çekmektedir. Bu durum, kısa mesafede yoğun yükleme, yüksek eğim veya sık dur–kalk operasyonlarının yakıt tüketimini artırabileceğini düşündürmektedir. pazar günü ölçülen (1,82 lt/km) değeri de haftalık ortalamanın üzerinde seyretmiş ve sürecin belirli günlerde yüksek tüketim eğilimine girebildiğini göstermiştir.

Ton başına yakıt tüketimi değerleri (0,31–0,52 lt/ton) aralığında gerçekleşmiştir. En düşük değer pazartesi günü (0,31 lt/ton), en yüksek değer ise salı günü (0,52 lt/ton) ölçülmüştür. Düşük sefer ve düşük tonajlı günlerde birim tüketimin artması, kapasite kullanım oranının yakıt verimliliği üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.39 ve Şekil 4.17'de sunulan bireysel kontrol kartı incelendiğinde, süreç ortalamasının CL (1,5l lt/km), üst kontrol limitinin UCL (2,71 lt/km) ve alt kontrol limitinin LCL (0,36 lt/km) olduğu görülmektedir. Tüm gözlemler kontrol sınırları içerisinde kalmıştır. Bu bulgu, 2. Tip 3 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinde özel nedenli varyasyon bulunmadığını ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) analizinde MR ortalaması (0,44 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti MR UCL (1,45 lt/km) olarak belirlenmiştir. En yüksek ardışık gün değişimi (1,12 lt/km)değeri ile 1. ve 2. günler arasında gerçekleşmiştir. MR değerlerinin tamamının kontrol limitleri içerisinde yer alması, kısa dönemli dalgalanmaların doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte haftanın ilk yarısında MR değerlerinin görece yüksek seyretmesi, 2. Tip 3 nolu kamyonun operasyonel değişkenliklere karşı daha duyarlı bir yakıt tüketim profili sergilediğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.40 ve Şekil 4.18'de sunulan verilerle (lt/ton) değerlerine ilişkin I-MR analizinde ise, süreç ortalaması CL (0,40 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,15–0,64 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 3 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca kontrol grafikleri incelendiğinde, özel nedenli varyasyona işaret eden ardışık artış veya azalış eğilimleri ile kontrol limitlerini zorlayan uç değer davranışları gözlenmemiştir. Bu durum, sürecin doğal değişkenlik sınırları içerisinde istikrarlı bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla mevcut işletme parametreleri altında yakıt tüketimi açısından sistematik bir sapma bulunmadığı değerlendirilmektedir.

Genel değerlendirme sonucunda, 2. Tip 3 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kararlı olduğu ancak tüketim dağılımının 1. Tip kamyonlarda gözlenen daha dar varyasyon yapısına kıyasla daha geniş bir bantta seyrettiği anlaşılmaktadır. Bu durum, 2. Tip model kamyonların saha koşullarındaki değişimlere daha yüksek yakıt tüketim dalgalanması ile tepki verdiğini göstermektedir. Özellikle yük değişkenliği, yol eğimi ve zemin direnci gibi operasyonel faktörlerin bu dalgalanmayı artırabileceği düşünülmektedir. Bu çerçevede süreç kararlılığı korunmakla birlikte, varyasyonun azaltılmasına yönelik operasyonel optimizasyon çalışmalarının performans iyileştirmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.41. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	159	22.563	22.708	1,10	145	13	**40,20**
2	Salı	125	22.708	22.759	2,45	51	5	**49,94**
3	Çarşamba	217	22.759	22.906	1,48	147	13	**41,59**
4	Perşembe	173	22.906	23.034	1,35	128	12	**39,84**
5	Cuma	133	23.034	23.121	1,53	87	8	**40,28**
6	Cumartesi	200	23.121	23.241	1,67	120	11	**43,30**
7	Pazar	127	23.241	23.307	1,92	66	6	**44,18**

Çizelge 4.42. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

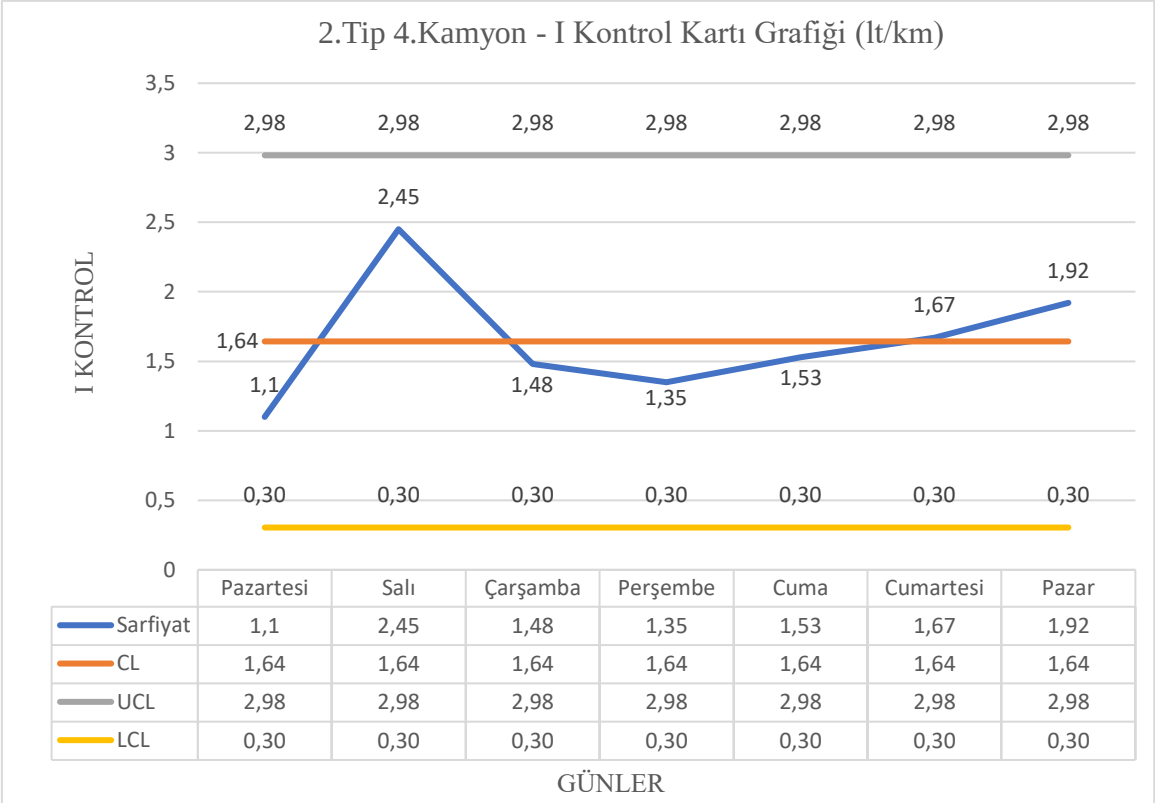
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	522,6	11	12,23	**0,30**
2	Salı	249,7	10	25,00	**0,50**
3	Çarşamba	540,67	11	16,69	**0,40**
4	Perşembe	478,08	11	14,42	**0,36**
5	Cuma	322,24	11	16,63	**0,41**
6	Cumartesi	476,3	11	18,18	**0,42**
7	Pazar	265,08	11	21,17	**0,48**

Çizelge 4.43. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

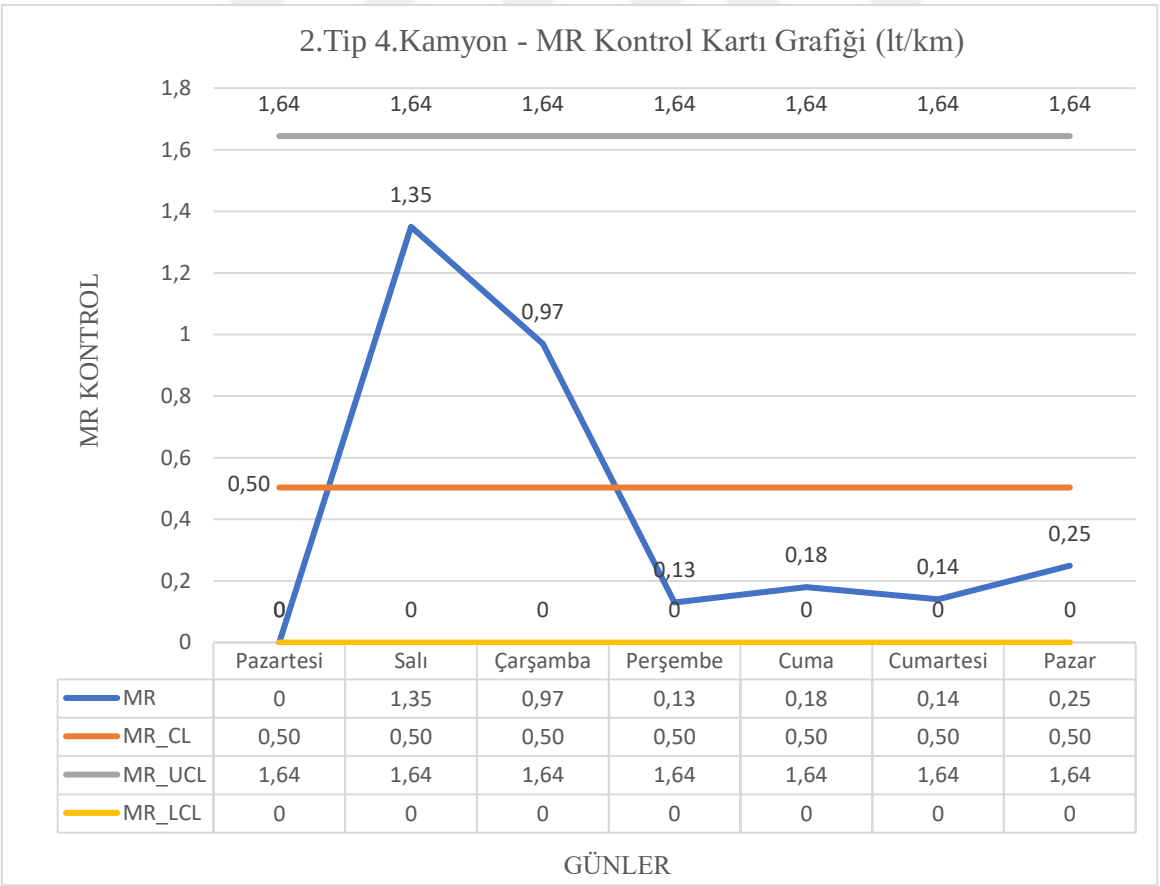
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,1**	1,64	2,98	0,30	0	0,50	1,64	0
2	**2,5**	1,64	2,98	0,30	1,35	0,50	1,64	0
3	**1,8**	1,64	2,98	0,30	0,97	0,50	1,64	0
4	**1,35**	1,64	2,98	0,30	0,13	0,50	1,64	0
5	**1,53**	1,64	2,98	0,30	0,18	0,50	1,64	0
6	**1,67**	1,64	2,98	0,30	0,14	0,50	1,64	0
7	**1,92**	1,64	2,98	0,30	0,25	0,50	1,64	0

Çizelge 4.44. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,30**	0,41	0,61	0,21	0	0,08	0,25	0,00
2	**0,50**	0,41	0,61	0,21	0,20	0,08	0,25	0,00
3	**0,40**	0,41	0,61	0,21	0,10	0,08	0,25	0,00
4	**0,36**	0,41	0,61	0,21	0,04	0,08	0,25	0,00
5	**0,41**	0,41	0,61	0,21	0,05	0,08	0,25	0,00
6	**0,42**	0,41	0,61	0,21	0,01	0,08	0,25	0,00
7	**0,48**	0,41	0,61	0,21	0,06	0,08	0,25	0,00

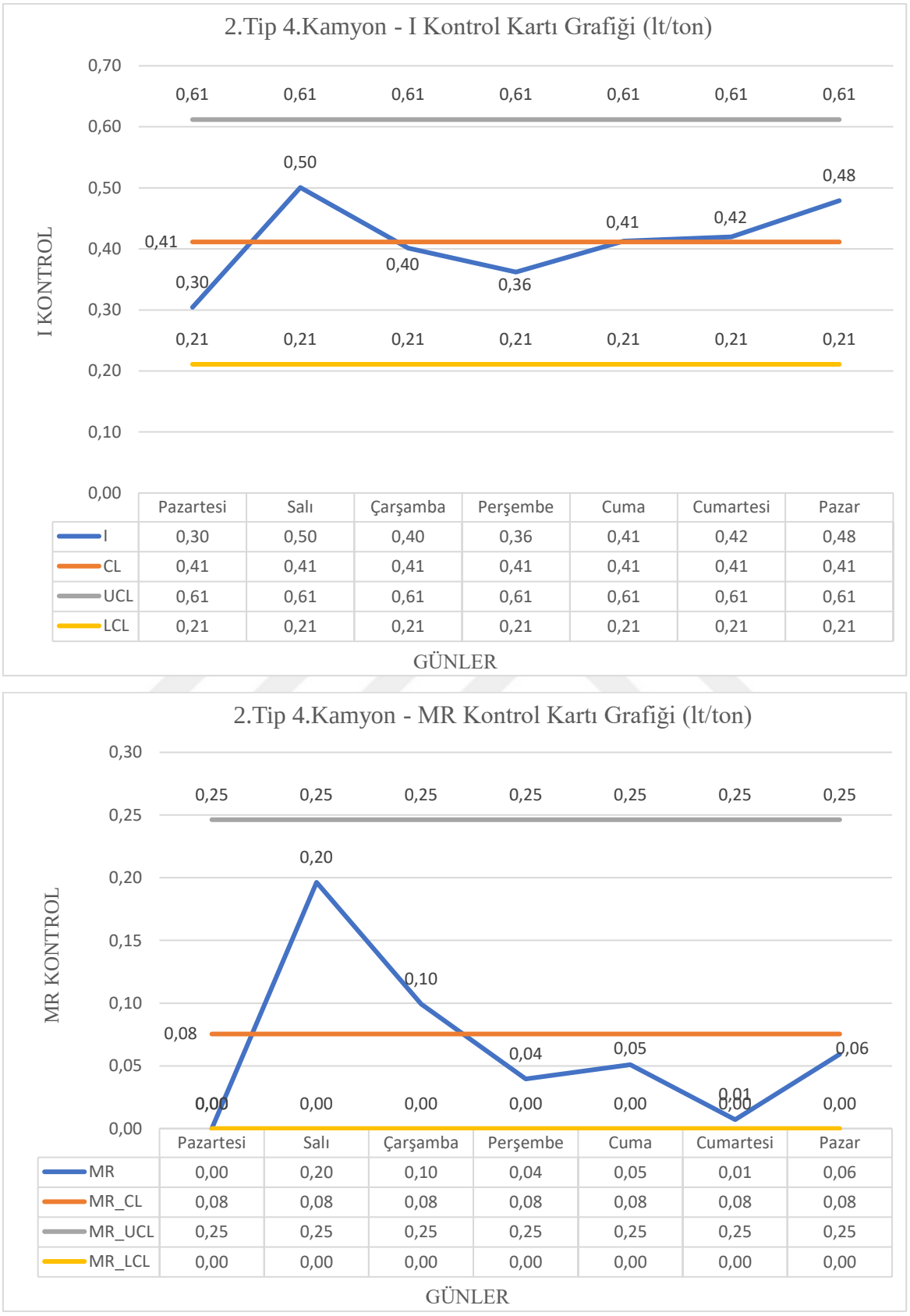


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	1,1	2,45	1,48	1,35	1,53	1,67	1,92
CL	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
UCL	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
LCL	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	1,35	0,97	0,13	0,18	0,14	0,25
MR_CL	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MR_UCL	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.19. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



Şekil 4.20. 2.Tip 4 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.42'te 2. Tip 4 nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. İlgili kamyon bir haftalık süreçte toplam 68 sefer gerçekleştirmiş, 744 km yol kat etmiş, 2854,67 ton yük taşımış ve toplam 1.134 litre yakıt tüketmiştir. Günlük kilometre başına yakıt tüketimi (1,10–2,45 lt/km) aralığında değişmiş olup süreç ortalaması (1,64 L/km) olarak hesaplanmıştır.

En düşük tüketim pazartesi günü (1,10 lt/km), en yüksek tüketim ise salı günü (2,45 lt/km) gerçekleşmiştir. Özellikle salı günü düşük kilometre ve düşük sefer sayısına rağmen yüksek tüketim değeri dikkat çekmektedir. Bu durum, kısa mesafede yoğun yükleme, yüksek rampa eğimi veya sık manevra gerektiren çalışma düzeninin yakıt tüketimini artırabileceğini göstermektedir. Pazar günü ölçülen (1,92 lt/km) değeri de haftalık ortalamanın üzerinde seyretmiş ve sürecin belirli günlerde yüksek tüketim eğilimine girebildiğini ortaya koymuştur.

Ton başına yakıt tüketimi değerleri (0,30–0,50 lt/ton) aralığında gerçekleşmiştir. En düşük değer Pazartesi günü (0,30 lt/ton), en yüksek değer ise salı günü (0,50 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Düşük tonajlı ve düşük seferli günlerde birim tüketimin artması, kapasite kullanım oranının yakıt verimliliği üzerindeki etkisini desteklemektedir.

Çizelge 4.43 ve Şekil 4.19'da sunulan bireysel kontrol kartı incelendiğinde, süreç ortalamasının CL (1,64 lt/km), üst kontrol limitinin UCL (2,98 lt/km) ve alt kontrol limitinin LCL (0,30 lt/km) olduğu görülmektedir. Tüm gözlemlerin kontrol limitleri içerisinde kalmış olması, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) analizinde MR ortalaması (0,50 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti MR UCL (1,64 lt/km) olarak belirlenmiştir. En yüksek ardışık gün değişimi (1,35 lt/km) değeri ile 1. ve 2. günler arasında gerçekleşmiştir. MR değerlerinin tamamının kontrol sınırları içinde yer alması, gözlenen dalgalanmaların doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Ancak haftanın ilk yarısında MR değerlerinin yüksek seyretmesi, 2. Tip 4 nolu kamyonun operasyonel değişkenliklere karşı daha hassas bir tüketim profili sergilediğini

göstermektedir. Özellikle kısa süreli yoğunluk artışlarının tüketim değerlerini belirgin biçimde etkilediği görülmektedir.

Çizelge 4.44 ve Şekil 4.20'de sunulan verilerle (lt/ton) değerlerine ilişkin I-MR analizinde ise, süreç ortalaması CL (0,41 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,21–0,61 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 4 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca grafiklerde kontrol limitlerini aşan herhangi bir özel nedenli sapma, ani sıçrama ya da sistematik artış-azalış eğilimi gözlenmemiştir. Sürecin doğal varyasyon sınırları içerisinde ve öngörülebilir bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır. Bu durum, mevcut işletme koşullarında yakıt tüketiminin istikrarlı bir performans yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında, 2. Tip 4 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu; ancak tüketim düzeyi ve değişkenliğin 1. Tip kamyonlara kıyasla daha geniş bir bantta seyrettiği anlaşılmaktadır. Bu bulgu, 2. Tip kamyonların ağır saha koşullarına karşı daha belirgin yakıt tüketim dalgalanması sergilediğini göstermektedir.

Çizelge 4.45. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	174	25.014	25.150	1,28	136	13	**34,54**
2	Salı	135	25.150	25.208	2,33	58	5	**48,18**
3	Çarşamba	205	25.208	25.346	1,49	138	13	**39,88**
4	Perşembe	190	25.346	25.482	1,40	136	12	**31,88**
5	Cuma	178	25.482	25.607	1,42	125	11	**38,86**
6	Cumartesi	178	25.607	25.701	1,89	94	9	**39,12**
7	Pazar	143	25.701	25.801	1,43	100	9	**35,76**

Çizelge 4.46. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

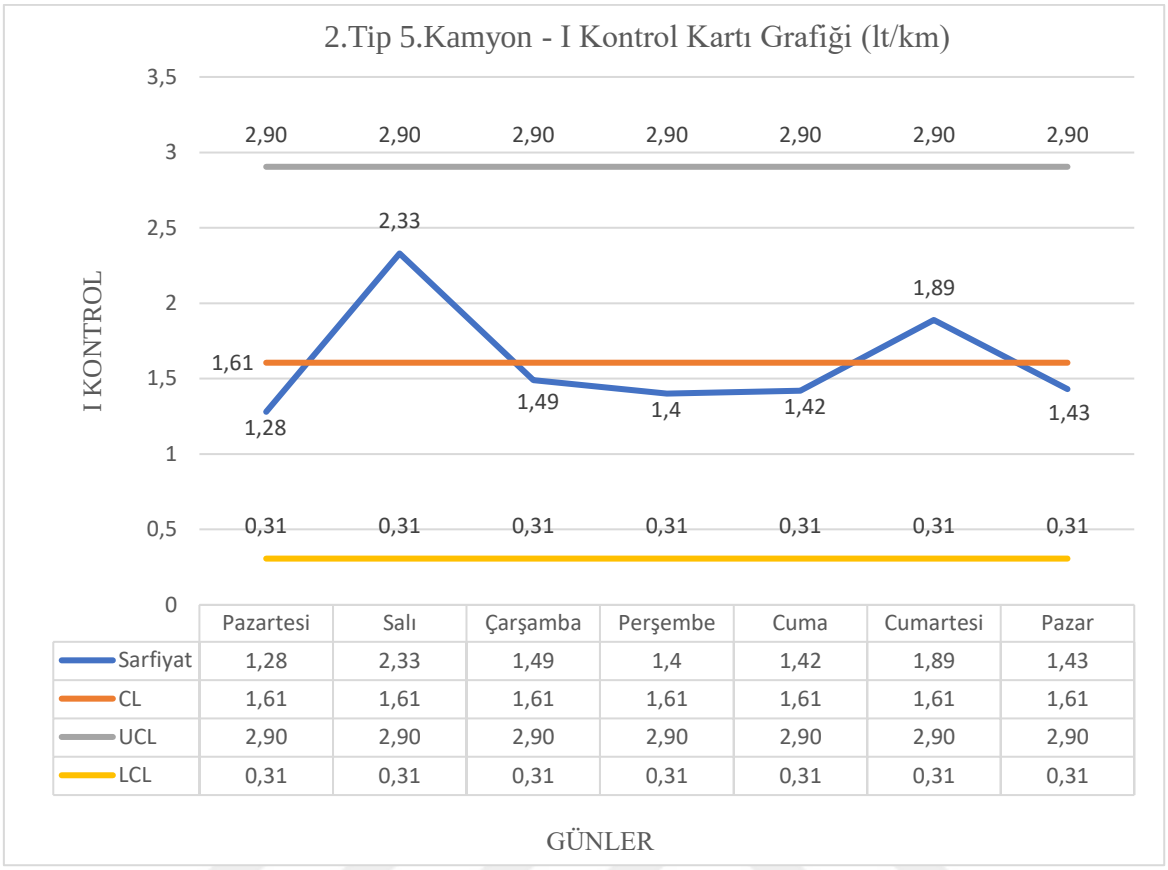
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	449,02	10	13,38	**0,39**
2	Salı	240,9	12	27,00	**0,56**
3	Çarşamba	518,44	11	15,77	**0,40**
4	Perşembe	382,56	11	15,83	**0,50**
5	Cuma	427,46	11	16,18	**0,42**
6	Cumartesi	352,08	10	19,78	**0,51**
7	Pazar	321,84	11	15,89	**0,44**

Çizelge 4.47. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

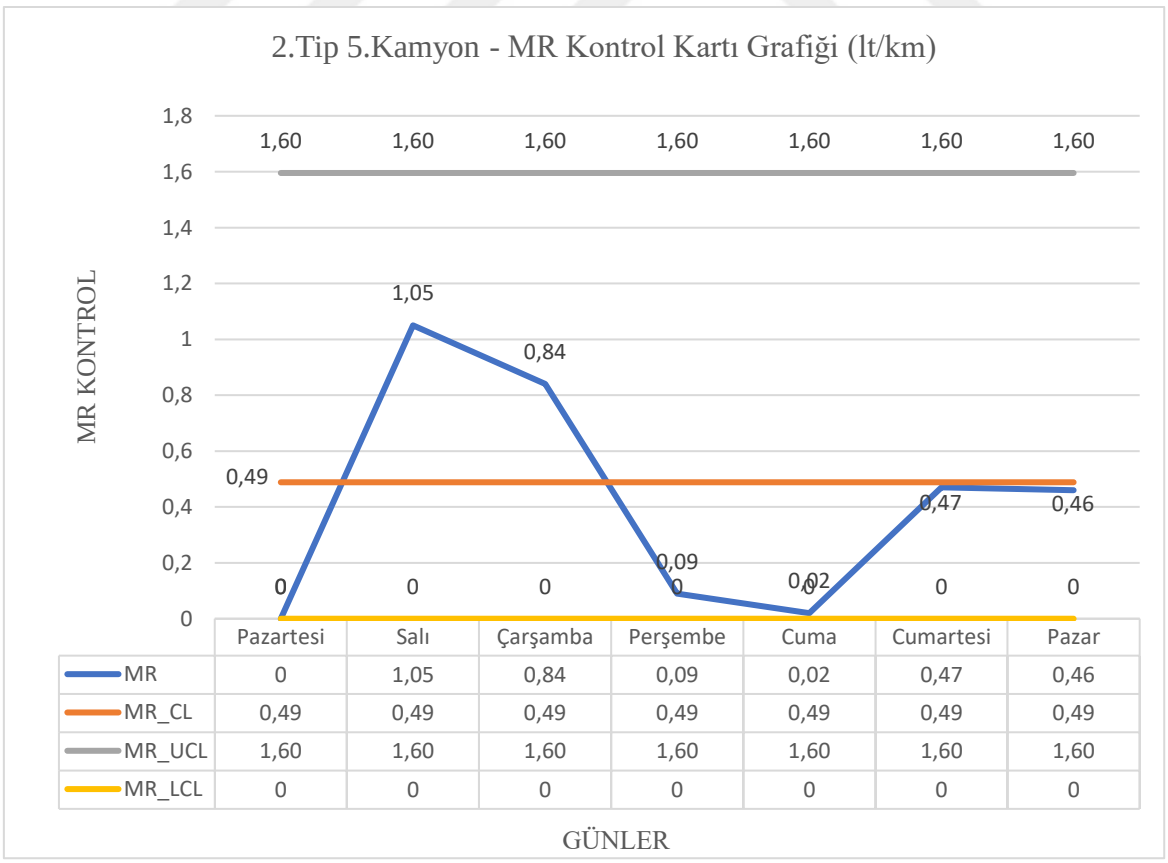
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,28**	1,61	2,90	0,31	0	0,49	1,60	0
2	**2,33**	1,61	2,90	0,31	1,05	0,49	1,60	0
3	**1,49**	1,61	2,90	0,31	0,84	0,49	1,60	0
4	**1,40**	1,61	2,90	0,31	0,09	0,49	1,60	0
5	**1,42**	1,61	2,90	0,31	0,02	0,49	1,60	0
6	**1,89**	1,61	2,90	0,31	0,47	0,49	1,60	0
7	**1,43**	1,61	2,90	0,31	0,46	0,49	1,60	0

Çizelge 4.48. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,39**	0,46	0,75	0,16	0	0,11	0,36	0
2	**0,56**	0,46	0,75	0,16	0,17	0,11	0,36	0
3	**0,40**	0,46	0,75	0,16	0,16	0,11	0,36	0
4	**0,50**	0,46	0,75	0,16	0,10	0,11	0,36	0
5	**0,42**	0,46	0,75	0,16	0,08	0,11	0,36	0
6	**0,51**	0,46	0,75	0,16	0,09	0,11	0,36	0
7	**0,44**	0,46	0,75	0,16	0,06	0,11	0,36	0

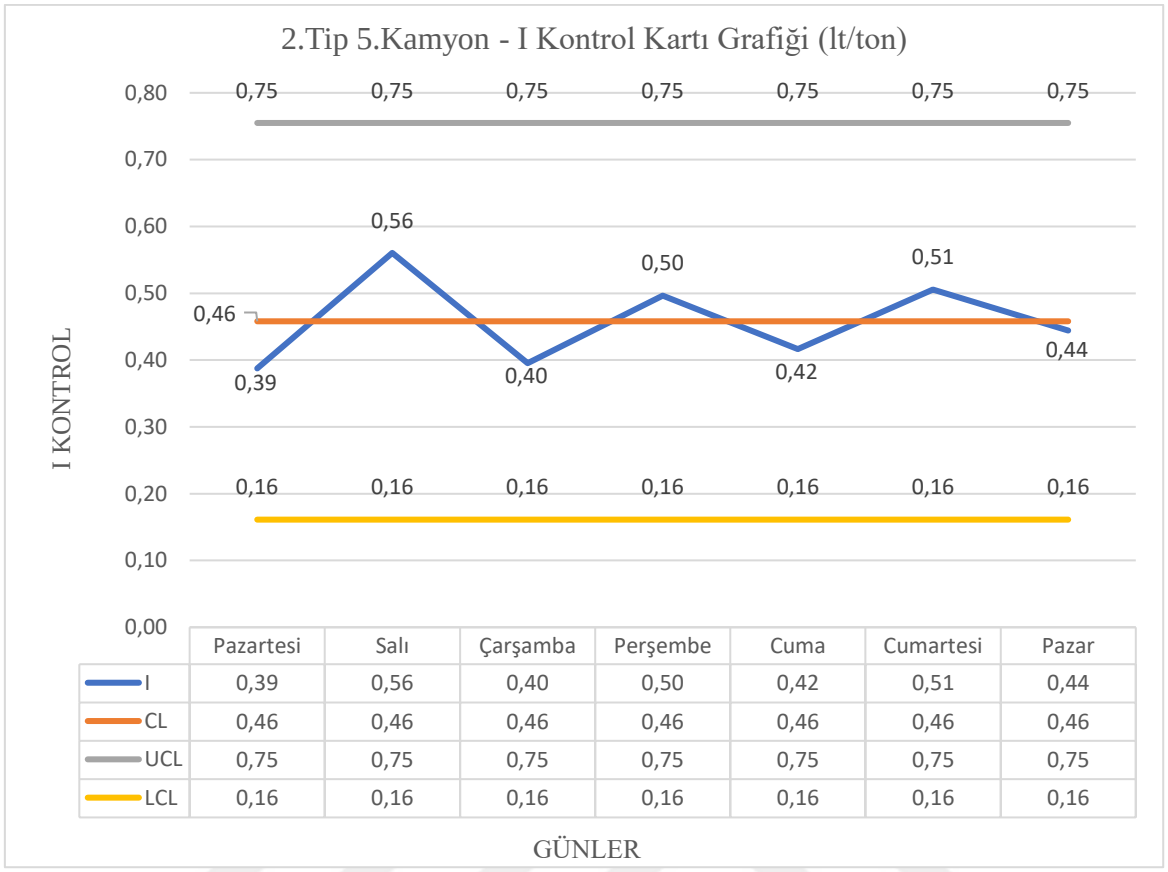


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	1,28	2,33	1,49	1,4	1,42	1,89	1,43
CL	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
UCL	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
LCL	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

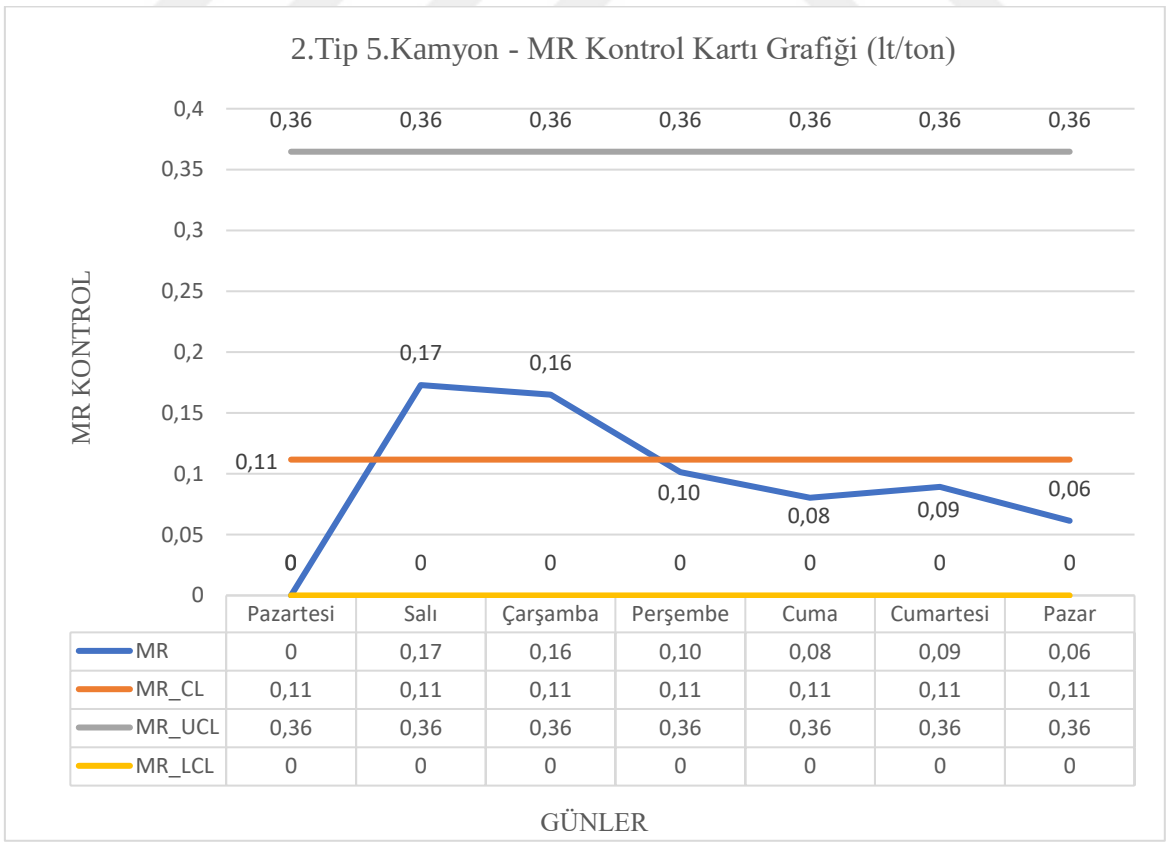


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	1,05	0,84	0,09	0,02	0,47	0,46
MR_CL	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
MR_UCL	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.21. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,39	0,56	0,40	0,50	0,42	0,51	0,44
CL	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
UCL	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
LCL	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,17	0,16	0,10	0,08	0,09	0,06
MR_CL	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
MR_UCL	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.22. 2.Tip 5 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.45 ve Çizelge 4.46'da 2. Tip 5 nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. İlgili kamyon bir haftalık süreçte toplam 72 sefer gerçekleştirmiş, 787 km yol kat etmiş, 2692,30 ton yük taşımış ve toplam 1.203 litre yakıt tüketmiştir. Günlük kilometre başına yakıt tüketimi (1,28–2,33 lt/km) aralığında değişmiş olup haftalık süreç ortalaması (1,61 lt/km) olarak hesaplanmıştır.

En düşük tüketim Pazartesi günü (1,28 lt/km), en yüksek tüketim ise salı günü (2,33 lt/km) gerçekleşmiştir. Özellikle salı günü düşük kilometre ve düşük sefer sayısına rağmen yüksek birim tüketim değeri dikkat çekmektedir. Bu durum, kısa mesafeli ancak yoğun yükleme, operatör davranışı veya hava koşullarının yakıt tüketimini artırabileceğini göstermektedir. Cumartesi günü ölçülen (1,89 lt/km) değeri de ortalamanın üzerinde seyretmiş ve sürecin belirli günlerde yüksek tüketim eğilimi gösterebildiğini ortaya koymuştur.

Ton başına yakıt tüketimi değerleri (0,39–0,56 lt/ton) aralığında gerçekleşmiştir. En düşük değer pazartesi günü (0,39 lt/ton), en yüksek değer ise Salı günü (0,56 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Düşük tonaj ve düşük seferli günlerde birim tüketimin artması, kapasite kullanım oranının yakıt verimliliği üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.47 ve Şekil 4.21'de sunulan bireysel kontrol kartı incelendiğinde, süreç ortalamasının CL (1,61 lt/km), üst kontrol limitinin UCL (2,90 lt/km) ve alt kontrol limitinin LCL (0,31 lt/km) olduğu görülmektedir. Tüm gözlemler kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgu, 2. Tip 5 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve özel nedenli bir sapma bulunmadığını göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) analizinde MR ortalaması (0,49 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti MR UCL (1,60 lt/Km) olarak belirlenmiş olup alt kontrol limiti LCL değeri 0'dır. En yüksek ardışık gün değişimi (1,05 lt/km) değeri ile 1. ve 2. günler arasında gerçekleşmiştir. MR değerlerinin tamamının kontrol sınırları içerisinde kalması, kısa dönemli dalgalanmaların doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte haftanın ilk yarısında MR değerlerinin görece yüksek seyretmesi, 2. Tip 5 nolu kamyonun operasyonel değişkenliklere karşı daha hassas bir tüketim profili sergilediğini göstermektedir.

Çizelge 4.48 ve Şekil 4.22'de sunulan verilerle (lt/ton) değerlerine ilişkin I-MR analizinde ise, süreç ortalaması CL (0,46 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,16–0,75 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 5 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca bireysel değerlerde herhangi bir özel nedenli varyasyona işaret eden ani sıçrama, trend ya da ardışık sapma davranışı gözlenmemiştir. Bu durum, sürecin rassal değişkenlik sınırları içerisinde ve öngörülebilir bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla mevcut çalışma koşullarında sistematik bir performans problemi bulunmadığı değerlendirilmektedir.

Genel değerlendirme sonucunda, 2. Tip 5 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kararlı olduğu; ancak tüketim düzeyi ve değişkenliğin 1. Tip kamyonlara kıyasla daha geniş bir bantta gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum, 2. Tip model kamyonların ağır ve değişken saha koşullarında daha yüksek tüketim dalgalanması gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.49. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

NO	GÜN	VERİLEN MOTORİN (lt)	BAŞLANGIÇ (Km)	BİTİŞ (Km)	SARFİYAT (lt/km)	TOPLAM (Km)	SEFER SAYISI	SEFER BAŞINA TAŞINAN YÜK (t)
1	Pazartesi	173	34.720	34.837	1,48	117	11	**36,72**
2	Salı	180	34.837	34.957	1,50	120	11	**37,20**
3	Çarşamba	148	34.957	35.052	1,56	95	9	**42,50**
4	Perşembe	198	35.052	35.162	1,80	110	10	**43,51**
5	Cuma	175	35.162	35.242	2,19	80	7	**46,74**
6	Cumartesi	183	35.242	35.344	1,79	102	9	**41,37**
7	Pazar	120	35.344	35.423	1,52	79	7	**39,10**

Çizelge 4.50. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait Yakıt Tüketim Verileri

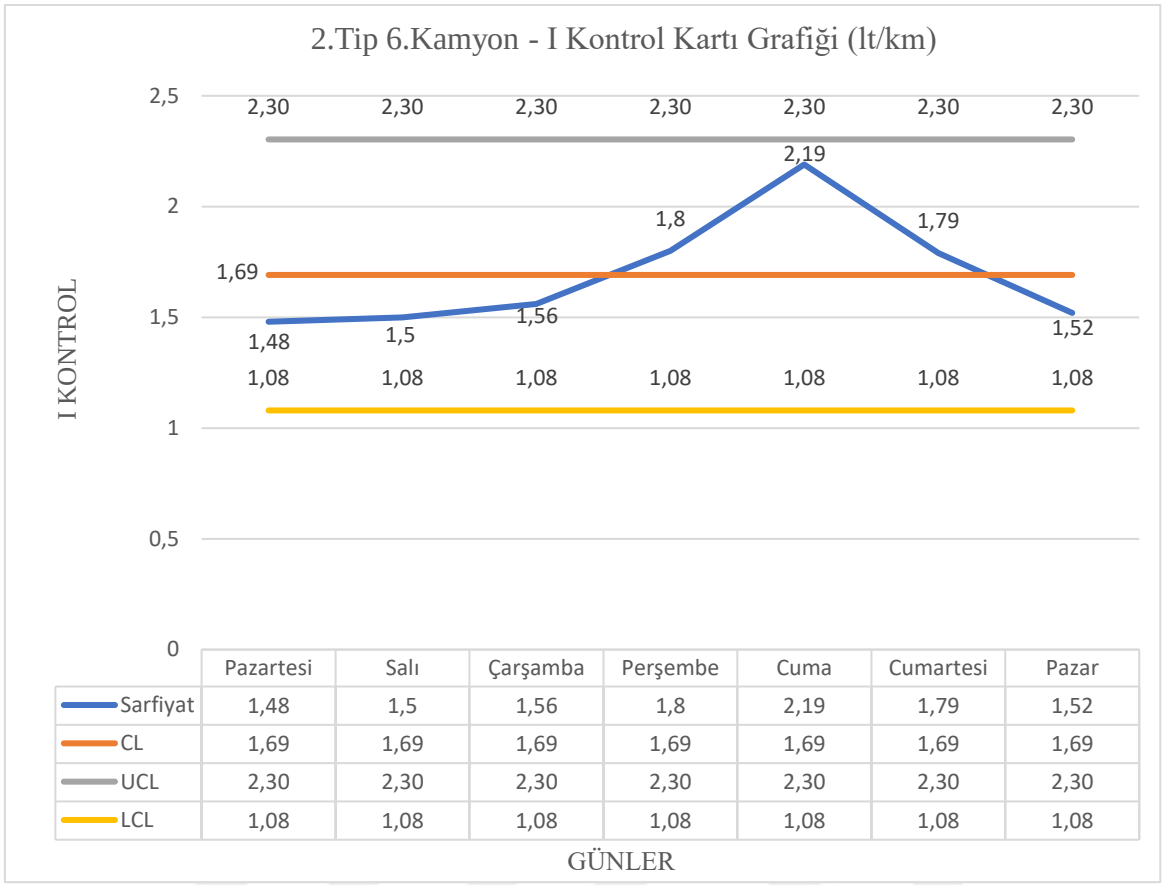
NO	GÜN	TAŞINAN TOPLAM TON	KM/SEFER ORT.	SEFER BAŞINA SARFİYAT (lt/sefer)	TON BAŞI SARFİYAT (lt/ton)
1	Pazartesi	403,92	11	15,73	**0,43**
2	Salı	409,2	11	16,36	**0,44**
3	Çarşamba	382,5	11	16,44	**0,39**
4	Perşembe	435,1	11	19,80	**0,46**
5	Cuma	327,18	11	25,00	**0,53**
6	Cumartesi	372,33	11	20,33	**0,49**
7	Pazar	273,7	11	17,14	**0,44**

Çizelge 4.51. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/km)

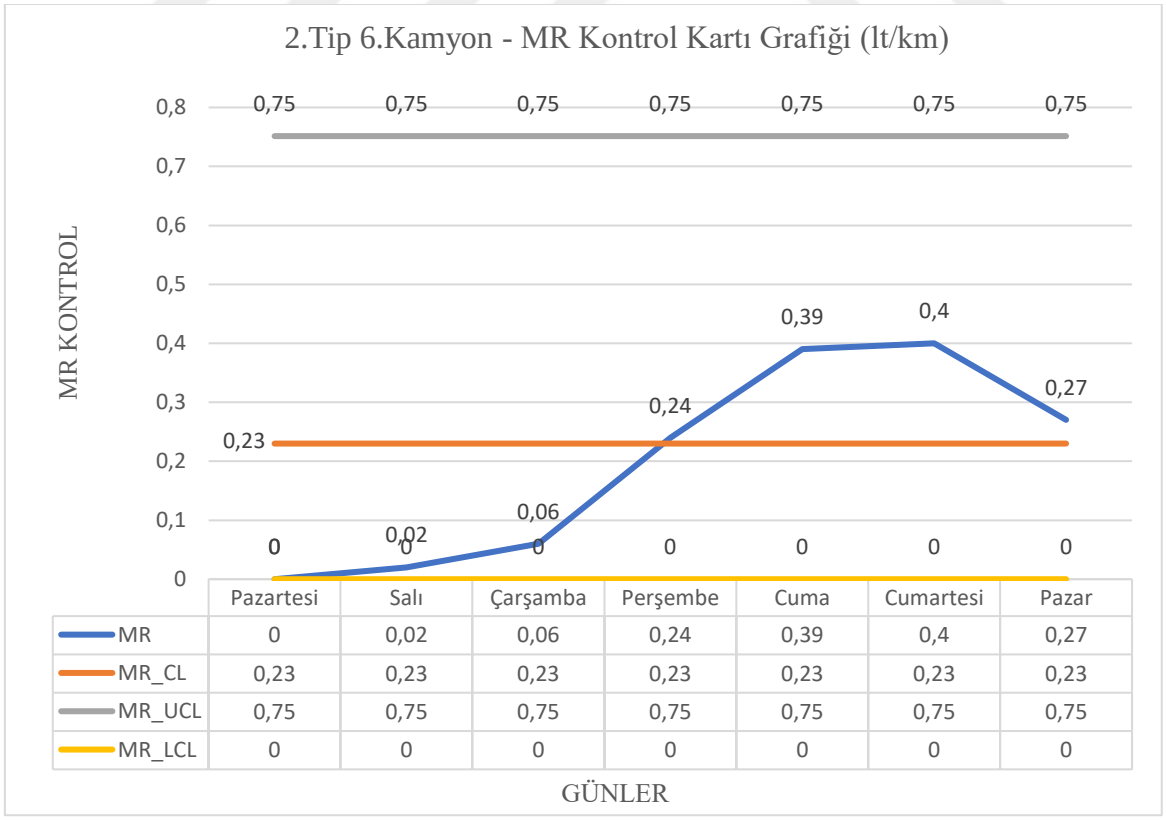
Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**1,48**	1,69	2,30	1,08	0	0,23	0,75	0
2	**1,50**	1,69	2,30	1,08	0,02	0,23	0,75	0
3	**1,56**	1,69	2,30	1,08	0,06	0,23	0,75	0
4	**1,80**	1,69	2,30	1,08	0,24	0,23	0,75	0
5	**2,19**	1,69	2,30	1,08	0,39	0,23	0,75	0
6	**1,79**	1,69	2,30	1,08	0,40	0,23	0,75	0
7	**1,52**	1,69	2,30	1,08	0,27	0,23	0,75	0

Çizelge 4.52. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Verileri (lt/ton)

Gün	Sarfiyat	CL	UCL	LCL	MR	MR CL	MR UCL	MR LCL
1	**0,43**	0,45	0,59	0,32	0	0,05	0,17	0
2	**0,44**	0,45	0,59	0,32	0,01	0,05	0,17	0
3	**0,39**	0,45	0,59	0,32	0,05	0,05	0,17	0
4	**0,46**	0,45	0,59	0,32	0,07	0,05	0,17	0
5	**0,53**	0,45	0,59	0,32	0,08	0,05	0,17	0
6	**0,49**	0,45	0,59	0,32	0,04	0,05	0,17	0
7	**0,44**	0,45	0,59	0,32	0,05	0,05	0,17	0

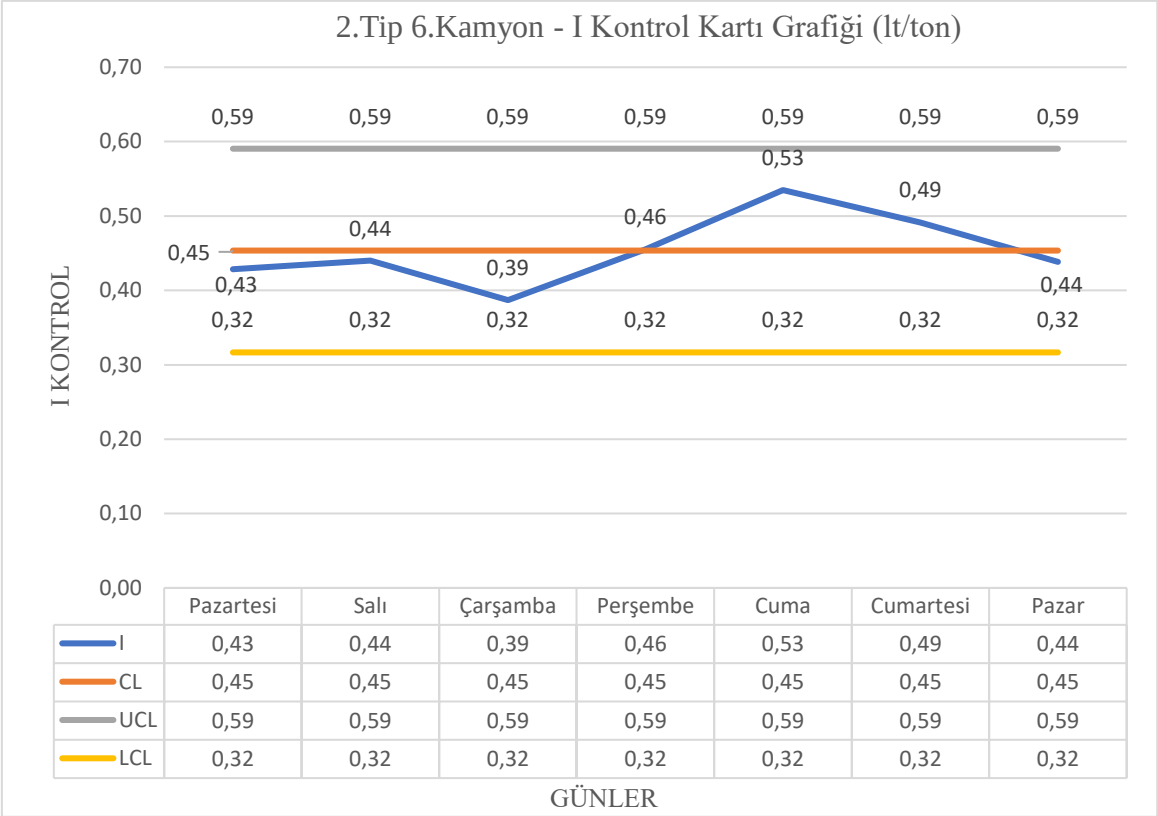


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
Sarfiyat	1,48	1,5	1,56	1,8	2,19	1,79	1,52
CL	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
UCL	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
LCL	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

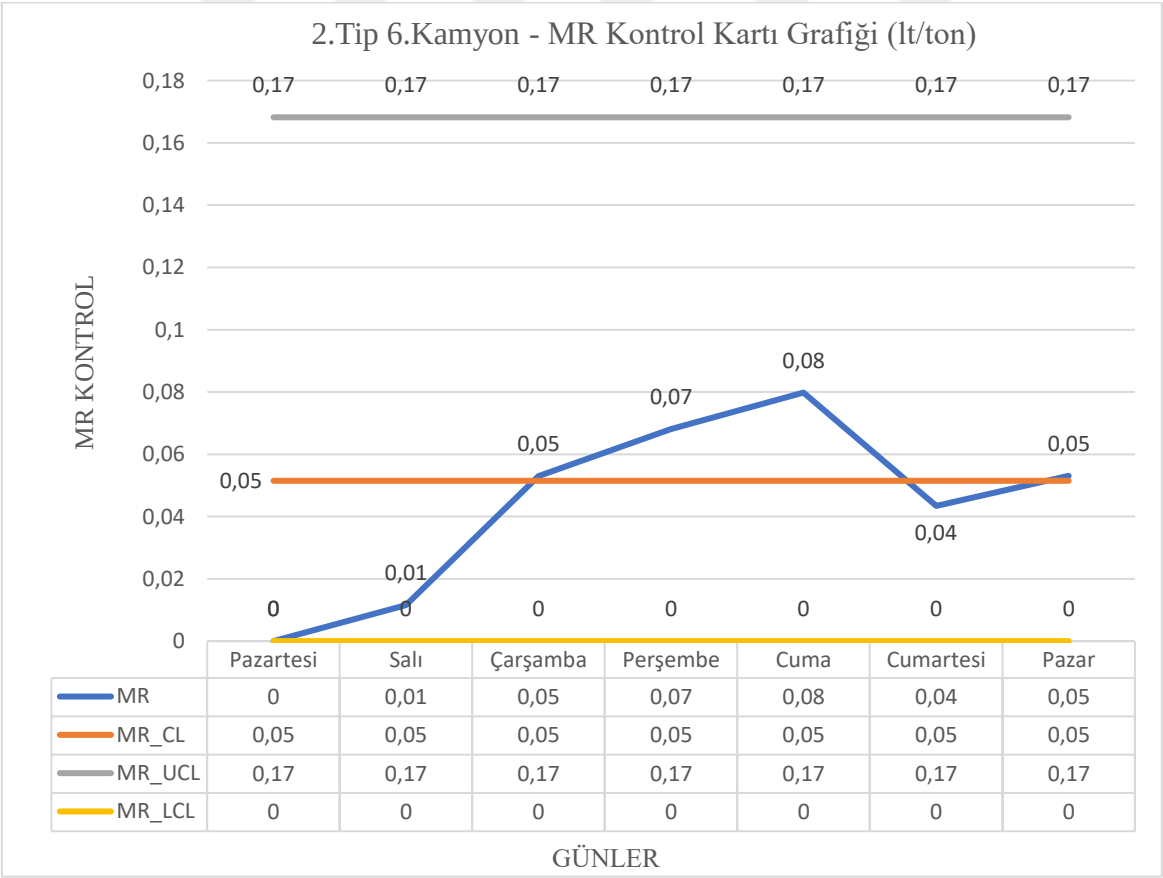


	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,02	0,06	0,24	0,39	0,4	0,27
MR_CL	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
MR_UCL	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.23. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/km)



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
I	0,43	0,44	0,39	0,46	0,53	0,49	0,44
CL	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
UCL	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
LCL	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32



	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
MR	0	0,01	0,05	0,07	0,08	0,04	0,05
MR_CL	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
MR_UCL	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
MR_LCL	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.24. 2.Tip 6 Nolu Kamyona Ait I-MR Grafikleri (lt/ton)

Çizelge 4.49 ve Çizelge 4.50'de 2. Tip 6 nolu kamyona ait haftalık operasyon ve yakıt tüketim verileri sunulmuştur. İlgili kamyon bir haftalık süreçte toplam 64 sefer gerçekleştirmiş, 703 km yol kat etmiş, 2603,93 ton yük taşımış ve toplam 1.177 litre yakıt tüketmiştir. Günlük kilometre başına yakıt tüketimi (1,48–2,19 lt/km) aralığında değişmiş olup haftalık süreç ortalaması (1,69 lt/km) olarak hesaplanmıştır.

En düşük tüketim Pazartesi günü (1,48 lt/km), en yüksek tüketim ise cuma günü (2,19 lt/km) gerçekleşmiştir. Özellikle haftanın ikinci yarısında tüketim değerlerinin artış eğilimi göstermesi dikkat çekmektedir. Düşük kilometre ve düşük sefer sayısına rağmen cuma günü ölçülen yüksek tüketim değeri, kısa mesafeli ancak operatör davranışı, dur-kalk veya olumsuz hava koşullarının yakıt tüketimini artırabileceğini düşündürmektedir.

Ton başına yakıt tüketimi değerleri (0,39–0,53 lt/ton) aralığında gerçekleşmiştir. En düşük değer çarşamba günü (0,39 lt/ton), en yüksek değer ise Cuma günü (0,53 lt/ton) olarak belirlenmiştir. Düşük tonajlı günlerde birim tüketimin artması, kapasite kullanım oranı ile yakıt verimliliği arasındaki ilişkiyi desteklemektedir.

Çizelge 4.51 ve Şekil 4.23'te sunulan bireysel kontrol kartı incelendiğinde, süreç ortalamasının CL (1,69 lt/km), üst kontrol limitinin UCL (2,30 lt/km) ve alt kontrol limitinin LCL (1,08 lt/km) olduğu görülmektedir. Tüm gözlemler kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgu, 2. Tip 6 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve özel nedenli varyasyon bulunmadığını göstermektedir.

Hareketli aralık (MR) analizinde MR ortalaması (0,23 lt/km) olarak hesaplanmış, üst kontrol limiti (0,75 L/km) olarak belirlenmiştir. MR değerlerinin tamamının kontrol sınırları içinde yer alması, kısa dönemli dalgalanmaların doğal süreç varyasyonu kapsamında değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.52 ve Şekil 4.24'de sunulan verilerle (lt/ton) değerlerine ilişkin I-MR analizinde ise, süreç ortalaması CL (0,45 lt/ton) olarak belirlenmiş olup tüm gözlemler (0,32–0,59 lt/ton) kontrol aralığında yer almış olup aynı şekilde MR değerleri de kontrol limitleri içerisinde kalmıştır. Bu bulgular, 2. Tip 6 nolu kamyonun yakıt tüketim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Genel değerlendirme yapıldığında, 2. Tip 6 nolu kamyonun yakıt tüketim süreci istatistiksel olarak kararlı olmakla birlikte, ortalama tüketim düzeyinin 1. Tip filosunda gözlenen değerlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, 2. Tip model kamyonların daha ağır yük kapasitesi ve değişken saha koşulları altında çalışmasıyla ilişkilendirilebilir. Tüketim dağılımının görece daha geniş bir bantta seyretmesi, operasyonel değişkenliklere karşı daha duyarlı bir yakıt tüketim karakteristiğine işaret etmektedir.

4.4. 2.Tip Kamyonlarının Kendi İçinde Karşılaştırmalı İPK Değerlendirmesi

Bu çalışmada 2.Tip marka altı farklı kamyona ait günlük yakıt tüketim verileri bireysel (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol kartları kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir kamyon için elde edilen İPK çıktıları, 2.Tip filosunun kendi içindeki yakıt tüketim davranışlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Bireysel kontrol kartlarından elde edilen merkez çizgi (CL) lt/km değerleri incelendiğinde, 2.Tip kamyonların ortalama yakıt tüketimlerinin (1,43 ile 1,69 lt/km) arasında değiştiği görülmektedir. 2.Tip 1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu kamyonlar görece olarak daha düşük ortalama tüketim değerlerine sahipken, 2.Tip 4 nolu, 5 nolu ve 6 nolu kamyonlarda ortalama tüketimin daha yüksek seviyelerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, filo içinde çalışan kamyonları kullanan operatörlerin günden güne davranışlarının farklılık gösterdiği, hava şartlarının etkisi ve yük koşullarına bağlı olarak yakıt tüketim düzeylerinin farklılaştığını göstermektedir.

Tüm 2.Tip kamyonlarında bireysel kontrol kartı gözlemlerinin üst ve alt kontrol limitleri içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, filo genelinde yakıt tüketim süreçlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve hiçbir kamyonda özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir. Ancak gözlem dağılımlarının 1.Tip filosunda görülen dar bantlı yapıya kıyasla daha geniş bir aralıkta yer aldığı dikkat çekmektedir. Bu durum, 2.Tip kamyonlarının günlük operasyonel değişkenliklere karşı daha hassas bir tüketim karakteristiğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Hareketli aralık kontrol kartları merkez çizgi (MR) L/km açısından değerlendirme yapıldığında, 2.Tip kamyonlarında (CL) ortalamalarının (0,23 ile 0,58 lt/km) aralığında

değiştiği görülmektedir. Özellikle 2.Tip 1, 2.Tip 2 ve 2.Tip 4 nolu kamyonlarda haftanın ilk günlerinde yüksek (MR CL) değerleri kaydedilmiş, bu durum kısa dönemli tüketim değişkenliğinin belirli periyotlarda arttığını göstermiştir. Buna karşılık 2.Tip 6 nolu kamyonun (MR CL) değerlerinin daha düşük seviyelerde seyretmesi, bu kamyonun diğerlerine kıyasla daha dengeli bir günlük tüketim yapısı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Filo içi karşılaştırma sonucunda, 2.Tip kamyonlarının tamamında süreçlerin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu, ancak günlük tüketim düzeylerinde ve kısa dönemli değişkenlikte kamyonlar arasında belirgin farklılıklar bulunduğu görülmüştür. Bu farklılıkların temel olarak operatör davranışları, rampa eğimi, yük miktarı ve hava koşullarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Genel olarak İPK perspektifinden 2.Tip filo değerlendirildiğinde, süreçlerin doğal varyasyon sınırları içinde çalıştığı ancak tüketim değişkenliğinin 1.Tip filoya kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durum, 2.Tip marka kamyonların ağır ve değişken saha koşullarına daha duyarlı bir yakıt tüketim karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir.

4.5. 1.Tip ve 2.Tip Kamyonların İşletmedeki Yakıt Sarfiyatlarının İPK Verileri Kapsamında Karşılaştırılması

Bu çalışmada altın ve gümüş açık ocak madenciliğinde kullanılan 1.Tip ve 2.Tip marka kamyonlara ait günlük yakıt tüketim verileri istatistiksel proses kontrol (İPK) yöntemiyle analiz edilmiştir. Her iki markaya ait altı farklı kamyon için bireysel (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol kartları oluşturulmuş; süreç ortalamaları, kısa dönemli değişkenlik düzeyleri ve süreç kararlılığı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde, elde edilen bulgular doğrultusunda 1.Tip ve 2.Tip kamyonlarının yakıt tüketim davranışları bütüncül bir yaklaşımla tartışılmaktadır.

Bireysel kontrol kartlarından elde edilen merkez çizgi (CL) değerleri incelendiğinde, 1.Tip marka kamyonların ortalama yakıt tüketimlerinin (1,24–1,57 lt/km) aralığında yoğunlaştığı, 2.Tip marka kamyonların ise (1,43–1,69 lt/km) aralığında daha yüksek bir ortalama tüketim düzeyi sergilediği görülmektedir. Bu durum, 2.Tip kamyonlarının aynı

saha koşullarında 1.Tip kamyonlara kıyasla daha yüksek yakıt tüketim eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 2.Tip 4, 2.Tip 5 ve 2.Tip 6 nolu kamyonlarda ortalama tüketim değerlerinin belirgin biçimde yüksek olması, bu araçların 1.Tip kamyonlara göre motor hacmi, motor gücü, tork gibi teknik özelliklerinin daha güçlü ve büyük olması, operatörlerin davranışları ve hava koşullarının etkisinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Her iki markaya ait tüm kamyonlarda bireysel kontrol kartı gözlemlerinin üst ve alt kontrol limitleri içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, hem 1.Tip hem de 2.Tip kamyonlarının yakıt tüketim süreçlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve çalışma süresi boyunca özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermektedir. Ancak gözlemlerin dağılım genişliği açısından iki marka arasında belirgin bir fark ortaya çıkmıştır. 1.Tip kamyonlarında tüketim değerleri merkez çizgisi etrafında daha dar bir bantta toplanırken, 2.Tip kamyonlarında dağılım aralığının daha geniş olduğu görülmüştür. Bu sonuç, 1.Tip kamyonlarının daha kararlı ve öngörülebilir bir yakıt tüketim profiline sahip olduğunu göstermektedir.

Markalar arasındaki farklılık özellikle hareketli aralık (MR) kartlarında daha net biçimde ortaya çıkmaktadır. 1.Tip filosunda MR ortalamalarının düşük seviyelerde olduğu ve ardışık günler arası tüketim değişkenliğinin sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, 1.Tip kamyonlarında günlük operasyon koşullarının daha stabil yürütüldüğünü ve sürüş–yükleme davranışlarının dengeli biçimde sürdürüldüğünü göstermektedir. Buna karşılık 2.Tip kamyonlarında MR ortalamalarının daha yüksek olduğu ve bazı günlerde ardışık ölçümler arasında belirgin sıçramalar meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, 2.Tip kamyonlarının saha koşullarındaki değişimlere karşı daha duyarlı yakıt tüketim tepkisi verdiğini ortaya koymaktadır.

Özellikle kısa mesafeli, yüksek eğimli ve yoğun dur–kalk gerektiren operasyonlarda 2.Tip kamyonlarının tüketim değerlerinin hızlı artış gösterdiği; buna karşılık 1.Tip kamyonlarının benzer koşullarda daha dengeli tüketim sergilediği belirlenmiştir. Bu bulgu, literatürde 1.Tip motorlarının daha stabil yakıt eğrisi sunduğu, 2.Tip kamyonlarının ise yüksek tork gerektiren koşullarda daha değişken tüketim davranışı sergilediğine yönelik teknik raporlarla uyum göstermektedir.

Süreç kararlılığı açısından değerlendirildiğinde, 1.Tip filosunun tamamında kısa dönemli değişkenlik düşük, süreç ortalamaları birbirine yakın ve tüketim profili homojen bir yapı göstermektedir. 2.Tip filosunda ise süreçler kontrol altında olmakla birlikte hem ortalama tüketim hem de kısa dönemli değişkenlik düzeyi 1.Tip filosuna kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, 1.Tip kamyonlarının açık ocak taşımacılığında yakıt yönetimi açısından daha avantajlı ve öngörülebilir bir performans sunduğunu göstermektedir.

Genel olarak elde edilen sonuçlar, açık ocak taşımacılığında 1.Tip marka kamyonların yakıt tüketimi açısından daha kararlı süreç yapısı sergilediğini; 2.Tip marka kamyonların ise ağır ve değişken saha koşullarında daha yüksek tüketim ve daha geniş varyasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu farklılıkların temel olarak motor tork karakteristikleri, şanzıman kontrol stratejileri, yazılım optimizasyonları ve operatör–saha etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dolayısıyla İPK perspektifinden yapılan karşılaştırmalı değerlendirme sonucunda, 1.Tip filosunun yakıt tüketim süreçlerinin daha stabil ve yönetilebilir olduğu; 2.Tip filosunun ise daha yüksek değişkenlik gösteren ancak kontrol altında kalan bir süreç yapısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, filo yönetimi, yakıt optimizasyonu ve ekipman seçim stratejileri açısından işletmelere bilimsel temelli karar desteği sağlayabilecek niteliktedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında açık ocak altın ve gümüş madenciliğinde kullanılan 1.Tip ve 2.Tip marka kamyonların günlük yakıt tüketim davranışları İPK yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Bireysel (I) ve hareketli aralık (MR) kontrol kartları yardımıyla her bir kamyonun süreç ortalaması, kısa dönemli değişkenliği ve süreç kararlılığı belirlenmiş; ardından marka bazlı ve filo bazlı karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgular, açık ocak taşımacılığında yakıt tüketiminin yalnızca teknik ekipman özelliklerine değil, aynı zamanda saha koşullarına, yakıt tüketiminin artmasına neden olabilecek diğer faktörlere bağlı olduğu görülmüştür.

Bireysel kontrol kartı sonuçları, hem 1.Tip hem de 2.Tip marka kamyonların yakıt tüketim süreçlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunu ve analiz süresince özel nedenli varyasyon oluşmadığını göstermiştir. Bu durum, işletmede yakıt tüketiminin genel olarak planlanabilir ve yönetilebilir bir süreç yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak süreç içi dağılım genişliği ve kısa dönemli değişkenlik düzeyi açısından markalar arasında belirgin farklılıklar tespit edilmiştir.

1.Tip marka kamyonlarda ortalama yakıt tüketiminin daha düşük seviyelerde gerçekleştiği, tüketim değerlerinin 2.Tip kamyonların verilerine göre daha dar bir bantta toplandığı ve MR değerlerinin düşük seviyelerde seyrettiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, 1.Tip kamyonlarının daha kararlı, öngörülebilir ve homojen bir yakıt tüketim davranışı sergilediğini göstermektedir.

2.Tip marka kamyonlarda ise ortalama tüketim değerlerinin 1.Tip kamyonlara kıyasla daha yüksek olduğu ve kısa dönemli tüketim değişkenliğinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Özellikle kısa mesafeli, yüksek eğimli ve yoğun dur–kalk gerektiren operasyonlarda 2.Tip kamyonlarının yakıt tüketiminin hızlı artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Buna rağmen 2.Tip kamyonlarında da süreçlerin kontrol limitleri içerisinde kaldığı ve istatistiksel kararlılığın korunduğu tespit edilmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda açık ocak taşımacılığında 1.Tip marka kamyonların yakıt tüketimi açısından daha stabil ve yönetilebilir süreç yapısı sunduğu; 2.Tip marka

kamyonların ise ağır saha koşullarında daha yüksek tüketim ve daha geniş varyasyon gösteren bir performans karakteristiğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

i. Filo planlamasında marka seçimi: Yakıt maliyetlerinin işletme giderleri içindeki yüksek payı dikkate alındığında, uzun vadeli filo planlamasında daha düşük ve stabil tüketim karakteristiği sergileyen kamyonların tercih edilmesi işletme maliyetlerini azaltacaktır.
ii. İPK tabanlı yakıt izleme sistemlerinin kurulması: Kamyon bazlı yakıt tüketiminin düzenli olarak İPK kontrol kartları ile izlenmesi, olağan dışı tüketim artışlarının erken tespit edilmesine ve bakım–operasyon planlarının bilimsel temelde oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.
iii. Operatör performans yönetimi: Kısa dönemli tüketim değişkenliğinin önemli bir kısmının operatör sürüş alışkanlıklarından kaynaklanabileceği değerlendirildiğinden, operatör eğitim programlarının yakıt tasarrufu ve dengeli sürüş teknikleri üzerine odaklanması önerilmektedir.
iv. Taşıma yolu geometrisinin iyileştirilmesi: Rampa eğimi, yol yüzey durumu ve dönüş yarıçapları gibi geometrik unsurların iyileştirilmesi, yakıt tüketimi üzerinde doğrudan etki yaratacaktır. Bu nedenle yol bakım ve tasarım faaliyetleri yakıt optimizasyonu perspektifiyle ele alınmalıdır.
v. Dinamik sevk sistemlerinin kullanımı: Kamyon–ekskavatör eşleştirmesinin gerçek zamanlı veriyle yönetilmesi, gereksiz bekleme sürelerini azaltarak yakıt tüketimini dolaylı olarak düşürecektir.

Bu çalışma günlük yakıt tüketim verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda saatlik bazda alınan verilerle daha detaylı İPK analizleri yapılabilir. Ayrıca lastik basıncı, motor sıcaklığı, yük ağırlığı ve yol eğimi gibi ek parametrelerin modele dahil edilmesi yakıt tüketimi davranışının daha kapsamlı biçimde açıklanmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, açık ocak madenciliğinde kamyon yakıt tüketiminin İPK yaklaşımı ile izlenebileceğini ve süreç kararlılığının bilimsel olarak değerlendirilebileceğini

ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, yakıt optimizasyonu, filo yönetimi ve operasyonel planlama süreçlerinde veri temelli karar verme kültürünün geliştirilmesine katkı sağlayacak niteliktedir. Bu yönüyle çalışma, açık ocak taşımacılığında sürdürülebilir maliyet yönetimi ve operasyonel verimlilik açısından önemli bir uygulama örneği sunmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

AIAG. (2022). Statistical process control (İPK) reference manual (3rd ed.). Automotive Industry Action Group.

Alarie, S., & Gamache, M. (2002). Modelling haul truck performance and fuel consumption in surface mining operations. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 16(3), 149–157. https://doi.org/10.1080/13895260214491

Asafu, G. M., & Mahadevan, R. (2003). Life cycle energy analysis of surface mining equipment operation: A case study. International Journal of Energy Research, 27(13), 1207–1221. https://doi.org/10.1002/er.944

Ataei, M. (2011). Application of statistical process control in performance monitoring of mining machinery. International Journal of Mining Science and Technology, 21(5), 673–678. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2011.07.002

Beatty, J., & Arthur, D. (1989). Mining truck operations. AusIMM Bulletin, 294(2), 45–52.

BREE. (2014). Australian energy update. Bureau of Resources and Energy Economics, Australian Government.

Bureau of Resources and Energy Economics. (2014). Energy in Australia. Australian Government.

Coyle, M. (2007). The impact of blasting fragmentation on truck fuel consumption. Journal of Mining Engineering, 59(4), 17–23.

Department of Energy (DOE). (2012). Mining industry energy bandwidth study. U.S. Department of Energy.

DieselNet. (2020). Diesel engine fuel consumption characteristics in heavy-duty trucks. DieselNet Technical Report. https://www.dieselnet.com

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). Introductory mining engineering (2nd ed.). Wiley.

Humphreys, D. (2015). Mining engineering. Pergamon Press.

Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2010). Haul truck fuel consumption modeling and monitoring using İPK. International Journal of Mining Science and Technology, 20(3), 392–397.

Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (8th ed.). Wiley.

"KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)"

Sahoo, L. K., Bandyopadhyay, S., & Tripathy, A. K. (2010a). Energy performance of dump trucks in opencast mines. Proceedings of ECOS Conference, 1–10.

Sahoo, P. K., Bandyopadhyay, A. K., & Tripathy, A. K. (2010b). Fuel consumption behaviour of haul trucks in surface mines. Journal of Energy Engineering, 136(3), 91–99. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000021

Sezgin, O. (2006). İstatistiksel kalite kontrol ve uygulamaları. Gazi Kitabevi.

Shewhart, W. A. (1931). Economic control of quality of manufactured product. D. Van Nostrand.

Singh, R. P., & Long, J. H. (2010). Surface mining haulage systems. Mining Technology, 119(4), 183–196. https://doi.org/10.1179/037178410X12607882712032

Soofastaei, A., Hashemi, M. R., & Ghazanfari, M. (2016). A comprehensive investigation of loading variance influence on fuel consumption and gas emissions in mine haulage operation. International Journal of Mining Science and Technology, 26(6), 995–1001. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.013

Wheeler, D. J., & Chambers, D. S. (1992). Understanding statistical process control (2nd ed.). İPK Press.

Zhao, Y., & Li, X. (2018). Impact of haul road gradient on fuel consumption of mining trucks. International Journal of Mining Science and Technology, 28(4), 579–585. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.03.002

Sayers, M.W., Gillespie T.D., Queiroz C. (1986). The International Road Roughness *trucks.* Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements World Bank Technical Paper.

Astm E (1926) Standard Practice for Computing IRI