T.C.
İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAĞLAMINDA ENERJİ YÖNETİMİ: ISO 50001 İLE ISO 45001 STANDARTLARININ ENTEGRASYONU VE İŞLETMELERDE UYGULANABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KEREM ÖZEN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. HAFIZ HULUSİ ACAR

İSTANBUL, 2026

T.C.
İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAĞLAMINDA ENERJİ YÖNETİMİ: ISO 50001 İLE ISO 45001 STANDARTLARININ ENTEGRASYONU VE İŞLETMELERDE UYGULANABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KEREM ÖZEN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hafız Hulusi ACAR
Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Tolga BARIŞIK
Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TEMUR

İSTANBUL, 2026

T.C.
İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZ ONAY BELGESİ

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı 22111101032 numaralı yüksek lisans öğrencisi Mehmet Kerem ÖZEN'in **"Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği Bağlamında Enerji Yönetimi: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartlarının Entegrasyonu ve İşletmelerde Uygulanabilirliği"** adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 19.12.2025 tarih ve 2025/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 21.01.2026

Prof. Dr. Hafız Hulusi ACAR
Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TEMUR
Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Tolga BARIŞIK
Jüri Üyesi

ETİK BEYAN

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tezde;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

21 / 01 / 2026

MEHMET KEREM ÖZEN

ÖNSÖZ

Enerji tüketimindeki küresel yükseliş ve iklim krizi, işletmelerin iş süreçlerini köklü bir şekilde yeniden yapılandırmasını zorunlu kılmaktadır (IPCC, 2023). Bu dönüşüm süreci, işletmelerde enerji yönetimi ile iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG), işletmelerin sürdürülebilirlik politikalarının ayrılmaz unsurları olarak ele alınmasını gerektirmektedir (Nunhes et al., 2017). Enerji yoğun ve yüksek riskli sektörler arasında yer alan metal sanayiinde (IEA, 2022); bu iki alanın birbirinden kopuk, ayrı sistemler halinde yürütülmesi, kullanımında verimsizliğe ve risklerin bütüncül bir bakış açısıyla yönetilememesine yol açmaktadır (Jørgensen, 2008).

Bu tez çalışması, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetimini sistematik bir perspektifle ele almakta; ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ile ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standartlarının entegrasyon potansiyelini, İstanbul'da faaliyet gösteren bir metal işletmesi özelinde incelemektedir. Çalışmada, işletmenin mevcut durum analizleri yapılarak her iki standardın gerekliliklerine uyum düzeyi değerlendirilmiş; ardından ISO 45001 ve ISO 50001'in ortak ve tamamlayıcı hükümlerine dayalı entegre bir yönetim modeli önerilmiştir. Bu model kapsamında tehlike ve risklerin belirlenmesi ile entegrasyon öncesi–sonrası risk profilinin karşılaştırılmasında Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS), Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Fine–Kinney yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışma, literatürde görece sınırlı düzeyde ele alınan ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonuna odaklanması ve enerji yoğun bir sektörde tek vaka araştırması ile analiz sunması bakımından önem taşımaktadır.

Bu tezin hazırlanması sürecinde bilgi, deneyim ve akademik rehberliğiyle bana ışık tutan değerli danışmanım Prof. Dr. Hafız Hulusi Acar ve Dr. Öğr. Üyesi Tolga Barışık'a; saha araştırmalarında iş birliği yaparak destek olan işletmelere; ve her aşamada manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İSTANBUL, 2025 MEHMET KEREM ÖZEN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN..... I

ÖNSÖZ.....II

TABLOLAR LİSTESİ..... XIII

ŞEKİLLER LİSTESİ.....X

KISALTMALAR LİSTESİ.....XI

ÖZET.....XII

ABSTRACT..... XIII

1. GİRİŞ..... 1

1.1. Araştırma Problemi 2

1.2. Çalışmanın Amacı..... 4

1.3. Araştırma Yöntemi..... 5

1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları..... 8

1.5. Araştırmanın Önemi.....9

1.6. Literatür Taraması..... 10

2. GENEL BİLGİLER..... 15

2.1. Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği.....15

2.1.1. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Boyutları..... 15

2.1.2. Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı..... 18

2.1.3. Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımının Gelenekselden Farkı..... 20

2.1.4. Enerji Verimliliği - İSG İlişkisi ve İşletme Performansına Etkileri..... 23

2.1.5. Endüstriyel Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sorumluluk Yaklaşımları 24

2.1.6. Ulusal ve Uluslararası Uygulamalar ve Güncel Eğilimler 26

2.1.6.1.Uluslararası Uygulamalar ve Eğilimler 26

2.1.6.2.Ulusal Uygulamalar ve Eğilimler 29

2.2. Yönetim Sistemleri: ISO 45001 ve ISO 50001 Bağlamında Kavramsal Çerçeve..... 32

2.2.1. Yönetim Sistemlerinin Evrimi ve Kurumsal Yönetim Yaklaşımları 32

2.2.2. ISO Standartlarının Gelişimi ve Yapısal Temelleri 33

2.2.3. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi 34

2.2.3.1. ISO 50001 Standardının Yapısı 35

2.2.3.2. ISO 50001 Standardının İlkeleri ve Temel Unsurları 46

2.2.3.3. Enerji Performans Göstergeleri (EnPI) 48

2.2.3.4. Sürekli İyileştirme ve Enerji Verimliliği Yönetimi 49

2.2.3.5 ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi 52

2.2.3.6. ISO 45001 Standardının Ana Bileşenleri 53

2.2.3.7. Proaktif Risk Yönetimi ve Çalışan Katılımı 63

2.2.4. Liderlik, İletişim ve Sürekli İyileştirme Kültürü 65

2.2.5. Yönetim Sistemlerinde PUKÖ Döngüsü ve Süreç Odaklı Yaklaşım 66

2.3. Entegre Yönetim Sistemleri 68

2.3.1. Entegre Yönetim Sistemleri Kavramı 68

2.3.2. Yüksek Seviye Yapı ve Yapısal Uyum 70

2.3.3. ISO 45001 ve ISO 50001'in Yapısal Benzerlikleri ve Farklılıkları 71

2.3.3.1. Ortak Madde Yapısı ve Yönetim Mantığı 72

2.3.3.2. Odak Alanları ve Temel Kavramlar 73

2.3.3.3. Ortak Yönler, Farklılıklar ve Sinerji Noktaları 75

2.3.3.4. Süreç, Terminoloji ve Politika Uyumu 76

2.3.3.5. PUKÖ Döngüsü Bağlantısı 77

2.3.3.6. ISO 45001-50001 Entegrasyonu İçin Ortak Süreçler ve Dokümantasyon..... 78

2.3.4. Entegrasyonun Temel İlkeleri, Faydaları ve Uygulama Engelleri 79

2.3.5. Enerji-İSG Entegrasyonu İçin Kavramsal Model Önerisi 81

2.3.6. Entegre Yönetim Sistemlerinde Performans, Uyum,Sürdürülebilirlik 83

3. GEREÇ VE YÖNTEM 86

3.1. Araştırma Deseni ve Yöntemsel Yaklaşım 86

3.2. Araştırma Süreci ve Akış Diyagramı 88

3.3. Araştırma Evreni ve Örneklem 91

3.4. Araştırma Alanı: İstanbul'da Faaliyet Gösteren Metal İşletmesi 93

3.5. Veri Toplama Yöntemleri 95

3.5.1. Nitel Veri Toplama Yöntemleri 95

3.5.2. Nicel Veri Toplama Yöntemleri 96

3.6. Araştırma Modelinin Oluşturulması 97

3.7. Kullanılan Risk Analiz Yöntemleri 100

3.7.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) 101

3.7.2. Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS) 103

3.7.3. Fine–Kinney Yöntemi 105

4. BULGULAR …..... 109

4.1. İşletmenin ve Entegre Yönetim Sisteminin Genel Profili 109

4.2. Entegrasyon Öncesi ve Entegrasyon Sonrası Öngörülen Risk Düzeyi Analizlerinin Çerçevesi 110

4.3 FMEA Bulguları 110

4.3.1. Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Sonuçları 111

4.3.2. Boya ve Fırın Hattı için FMEA Sonuçları 114

4.3.3. Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için FMEA Sonuçları 117

4.3.4. Ağır Kaldırma-Malzeme Taşımad FMEA Sonuçları 119

4.4. HRNS Bulguları 122

4.4.1. Kaynak ve Montaj Hattı için HRNS Bulguları 123

4.4.2. Boya ve Fırın Hattı için HRNS Bulguları 126

4.4.3. Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları 129

4.4.4. Ağır Kaldırma-Malzeme Taşımada HRNS Sonuçları 131

4.5. Fine-Kinney Bulguları 134

4.5.1. Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları 135

4.5.2. Boya ve Fırın Hattı için Fine-Kinney Bulguları 138

4.5.3. Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi için Fine–Kinney Bulguları 140

4.5.4. Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma Operasyonları için Fine–Kinney Bulguları 144

4.6. FMEA, HRNS ve Fine–Kinney Bulgularının Karşılaştırılması 147

4.7. ISO 45001 ve ISO 50001 Entegrasyonunun Genel Değerlendirilmesi ve İSG–Enerji Performansına Etkisi 148

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 156

5.1. Tartışma 156

5.2. Sonuç ve Öneriler 158

5.2.1. Entegrasyonun İş Sağlığı ve Güvenliği Performansına Etkisine İlişkin Sonuçlar 159

5.2.2. Entegrasyonun Enerji Performansı ve Sürdürülebilirlik Göstergelerine Etkisine İlişkin Sonuçlar 160

5.2.3. Yönetim Sistemleri Entegrasyonu Açısından Önerilen Modelin Değerlendirilmesi 161

5.2.4. FMEA, HRNS ve Fine–Kinney Sonuçlarının Entegrasyon Perspektifinden Yorumlanması 163

5.2.5. Genel Sonuç..... 164

5.2.6. UYGULAMAYA YÖNELIK ÖNERILER (IŞLETMELER IÇIN)..... 165

5.2.6.1. Metal Sektöründeki Küçük-Orta Ölçekli İşletmeler İçin Öneriler .. 165

5.2.6.2. Entegre ISO 45001–ISO 50001 Yönetim Sistemi Kurmayı Planlayan İşletmeler İçin Yol Haritası 166

5.2.7. Risk Analizi Uygulamalarının (FMEA, HRNS, Fine–Kinney) Entegre Yönetim Sistemi İçine Yerleştirilmesine Yönelik Öneriler 168

5.2.8. Eğitim, Farkındalık ve Kurumsal Kültürün Güçlendirilmesine Yönelik Öneriler..... 169

5.2.9. Politika Yapıcılara ve Standart Geliştiricilere Yönelik Öneriler 170

5.2.9.1. Ulusal Düzeyde İSG ve Enerji Yönetimi Politikalarının Entegrasyonuna Yönelik Öneriler 170

5.2.9.2. Teşvik Mekanizmaları, Destek Programları ve Düzenleyici Çerçeveye İlişkin Öneriler 171

5.2.9.3. ISO 45001 ve ISO 50001'in Sektörel Uygulanabilirliğinin Artırılmasına Yönelik Öneriler..... 172

5.2.10. Araştırmanın Akademik Katkıları 173

5.2.11. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 174

6. KAYNAKLAR..... 177

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: ISO 45001 ve ISO 50001 Entegrasyonu Bağlamında Sürdürülebilir İSG ve Enerji Yönetimi Literatür Özeti 14
Tablo 2.1: Sürdürülebilir İSG Yaklaşımının Gelenekselden Farkı 21
Tablo 2.2: Sürdürülebilir İSG ile İlişkili Çerçeve Standartlar ve Rehberler 28
Tablo 2.3: Sürdürülebilir İSG ve Enerji Yönetimi Alanındaki Ulusal Uygulamalar 30
Tablo 2.4: Sektörlere Göre Enerji Verimliliği İzleme Göstergeleri (EnPI) 49
Tablo 2.5: PUKÖ Döngüsünün Yapısı ve İşleyişi 67
Tablo 2.6: ISO 45001 ve ISO 50001'de PUKÖ Döngüsünün Ortak Yönleri 67
Tablo 2.7: Entegre Yönetim Temel Bileşenleri 70
Tablo 2.8: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartları Arasındaki Uyum Alanları 75
Tablo 2.9: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartlarının Yapısal Farklılıkları 75
Tablo 2.10: ISO 50001 ve ISO 45001 Süreçsel ve Yönetimsel Uyum Alanları 77
Tablo 2.11: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartlarının PUKÖ Döngüsü Aşamalarına Göre Karşılaştırılması 77
Tablo 2.12: Enerji ve İSG Yönetim Sistemleri Entegrasyon Modelinin Yapısı 82
Tablo 2.13: Entegrasyonunun Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile İlişkisi 85
Tablo 3.1: FMEA için Parametre ve Puanlama Tablosu 102
Tablo 3.2: FMEA için Risk Düzeyi Tablosu 103
Tablo 3.3: HRNS için Parametre ve Puanlama Tablosu 104
Tablo 3.4: HRNS için Risk Düzeyi Tablosu 105
Tablo 3.5: Fine-Kinney için Parametre ve Puanlama Tablosu 106
Tablo 3.6: HRNS için Risk Düzeyi Tablosu 107
Tablo 4.1: Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Bulguları (önce) 112
Tablo 4.2: Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Bulguları (sonra) 113
Tablo 4.3: Boya ve Fırın Hattı için FMEA Bulguları (önce) 115
Tablo 4.4: Boya ve Fırın Hattı için FMEA Bulguları (sonra) 116
Tablo 4.5: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi FMEA Bulguları (önce) 118
Tablo 4.6: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi FMEA Bulguları (sonra) 119
Tablo 4.7: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma Prosesleri FMEA Bulguları (önce) ... 121
Tablo 4.8: Ağır Kaldırma-Malzeme taşıma prosesleri FMEA bulguları (sonra) ... 122

Tablo 4.9: Kaynak ve Montaj Hhattı için HRNS Bulguları (önce) 124
Tablo 4.10: Kaynak ve Montaj Hattı için HRNS Bulguları (sonra) 125
Tablo 4.11: Boya ve Fırın Hhattı için HRNS Bulguları (önce) 127
Tablo 4.12: Boya ve Fırın Hattı için HRNS Bulguları (sonra)..... 128
Tablo 4.13: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları (önce) 130
Tablo 4.14: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları(sonra) 131
Tablo 4.15: Ağır kaldırma-Malzeme Taşıma Operasyonlarında HRNS Bulguları 132
Tablo 4.16: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma Operasyonlarında HRNS Bulguları 133
Tablo 4.17: Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları (önce) 135
Tablo 4.18: Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları (sonra)..... 137
Tablo 4.19: Boya ve fırın hattı için Fine-Kinney Bulguları (önce).....139
Tablo 4.20: Boya ve fırın hattı için Fine-Kinney Bulguları (sonra).....140
Tablo 4.21: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi için Fine-Kinney Bulguları (önce).....141
Tablo 4.22: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi için Fine-Kinney Bulguları (sonra)..... 142
Tablo 4.23: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma için Fine-Kinney Bulguları (önce) ... .144
Tablo 4.24: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma için Fine-Kinney Bulguları (sonra) 146
Tablo 4.25: Azalışa En Çok Katkı Veren İlk 3 Tehlike 153

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Sürdürülebilir Kalkınma Unsurları İle Sürdürülebilir İSG İlişkisi 16
Şekil 2.2 : Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 17
Şekil 2.3: Sürdürülebilir İSG Kavramının Temel İlkeleri 18
Şekil 2.4: İSG ve Enerji Yönetim Sistemi'nin Endüstriyel Sürdrülebilirlik ve.....
Kurumsal Sorumluluk ile İlişkisi 25
Şekil 2.5: ISO 50001 PUKÖ Döngüsü ve Liderlik Temelli Süreç Yapısı 51
Şekil 2.6 : Enerji–İSG Entegrasyonu İçin Önerilen Kavramsal Model 83
Şekil 3.1 : Araştırma Akış Diyagramı 89
Şekil 3.2 : Araştırma Modeli 99
Şekil 4.1 : Kritik Proseslere Göre FMEA Bulguları 151
Şekil 4.2 : Kritik Proseslere Göre HRNS Bulguları 151
Şekil 4.3 : Kritik Proseslere Göre Fine Kinney Bulguları 152
Şekil 4.4 : Kritik Proseslere Göre Fine Kinney Bulguları 154

KISALTMALAR LİSTESİ

AB : Avrupa Birliği

BM: Birleşmiş Milletler

EYS : Entegre Yönetim Sistemleri

FMEA : Hata Türü ve Etkileri Analizi

HRN : Tehlike Derecelendirme Sayısı

HRNS : Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı

ILO : Uluslararası Çalışma Örgütü

İSG : İş Sağlığı ve Güvenliği

İSGYS : İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi

ISO : Uluslararası Standartlar Enstitüsü

ISO 45001 : İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi

ISO 50001 : Enerji Yönetim Sistemi

KOBİ : Küçük ve Orta Boyutlu İşletmeler

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

PUKÖ : Planla - Uygula - Kontrol Et - Önlem Al

SİSG : Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği

SK : Sürdürülebilir Kalkınma

SKA : Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAĞLAMINDA ENERJİ YÖNETİMİ: ISO 50001 İLE ISO 45001 STANDARTLARININ ENTEGRASYONU VE İŞLETMELERDE UYGULANABİLİRLİĞİ

Çalışma, küresel ölçekte artan enerji maliyetleri ve iklim krizi ve değişen çalışma koşulları bağlamında, enerji yönetimi ile iş sağlığı ve güvenliğinin metal sanayi gibi enerji yoğun ve yüksek riskli sektörlerde sürdürülebilirlik ekseninde birlikte yönetilmesini ele almaktadır. Araştırmanın amacı, ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi ile ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin entegrasyonuna yönelik kuramsal ve uygulamaya dönük bir model geliştirmek ve bu modelin İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesindeki olası etkilerini analiz etmektir. Araştırmada doküman incelemesi, saha gözlemleri ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verilerle işletmenin mevcut uygulamaları değerlendirilmiş; her iki standardın ortak ve tamamlayıcı hükümleri üzerinden entegre bir yönetim sistemi çerçevesi oluşturulmuştur. Entegrasyon öncesi ve sonrası risk profilinin karşılaştırılmasında HRNS, FMEA ve Fine-Kinney yöntemleri birlikte kullanılmış; enerji ve İSG ile ilişkili tehlikeler çoklu risk analizi yaklaşımıyla puanlanmıştır. Bulgular, ISO 45001 ve ISO 50001'in politika, hedefler, süreç yaklaşımı, risk temelli düşünme ve PUKÖ döngüsü bakımından yüksek düzeyde yapısal uyum gösterdiğini; bu nedenle metal işletmelerinde entegre bir yönetim sistemi kurulmasının uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, entegrasyonun özellikle enerji yoğun ekipmanlar ve operasyonel kontrol adımlarında risk skorlarını düşürme ve İSG–enerji performans göstergelerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstererek, benzer işletmeler için entegre politika, ortak performans göstergeleri ve çoklu risk analizine dayalı pratik bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ISO 45001, ISO 50001, Entegre yönetim sistemi, Sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği, Risk değerlendirmesi.

Mehmet Kerem ÖZEN, 2026

ABSTRACT

ENERGY MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY: INTEGRATION OF ISO 50001 AND ISO 45001 STANDARDS AND THEIR APPLICABILITY IN ENTERPRISES

The study addresses the joint management of energy management and occupational health and safety (OHS) from a sustainability perspective in energy-intensive and high-risk sectors such as the metal industry, in the context of rising energy costs, the climate crisis and changing working conditions worldwide. The aim of the research is to develop a theoretical and practice-oriented model for the integration of the ISO 45001 Occupational Health and Safety Management System and the ISO 50001 Energy Management System, and to analyse the potential effects of this model in a small-scale metal enterprise operating in Istanbul.For the comparison of the risk profile before and after integration, the Hazard Rating Number System (HRNS), Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and the Fine–Kinney method were used together, and hazards related to energy and OHS were scored using a multiple risk analysis approach. The findings show that ISO 45001 and ISO 50001 exhibit a high degree of structural compatibility in terms of policy, objectives, process approach, risk-based thinking and the Plan–Do–Check–Act (PDCA) cycle, and therefore that establishing an integrated management system in metal enterprises is feasible. By demonstrating that integration has the potential to reduce risk scores particularly for energy-intensive equipment and operational control steps and to improve OHS and energy performance indicators, the study proposes a practical roadmap for similar enterprises based on an integrated policy, shared performance indicators and multiple risk analysis.

Keywords: ISO 45001, ISO 50001, Integrated Management System, Sustainable Occupational Health and Safety, Risk Assessment.

Mehmet Kerem ÖZEN, 2026

1. GİRİŞ

21. yüzyılın endüstriyel üretim dinamikleri, enerji güvenliği ve insan yaşamının korunması ekseninde yeniden şekillenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre, küresel sanayi sektörü, dünya toplam enerji tüketiminin yaklaşık %37'sinden sorumlu tutulurken; bu tüketim dağılımında metal ve demir-çelik endüstrisi tek başına %20'nin üzerinde bir paya sahiptir. Bu devasa enerji talebi, sadece işletme maliyetlerinin %20 ila %40'ını oluşturmakla kalmamakta, küresel karbon emisyonlarının da yaklaşık %7-9'unu oluşturarak iklim krizini derinleştirmektedir (IEA, 2022; World Steel Association, 2023). Öte yandan, Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) istatistikleri, dünyada her yıl yaşanan 2.78 milyon iş kazası kaynaklı ölümün önemli bir kısmının, metal sanayi gibi "yüksek tehlike" sınıfındaki ağır sanayi kollarında gerçekleştiğini göstermektedir.

Bu çerçevede enerji yönetimi ile iş sağlığı ve güvenliği (İSG), işletme performansının iki kritik bileşeni olarak öne çıkmakta; hem çalışanların sağlığı ve güvenliği hem de enerji verimliliği, sürdürülebilir rekabet gücünün vazgeçilmez unsurları haline gelmektedir (Porter & van der Linde, 1995; Zeng et al., 2007). Enerji yoğun ve yüksek riskli sektörler arasında yer alan metal sanayiinde (World Steel Association, 2023); üretim süreçlerinin karmaşık yapısı, kullanılan ekipman ve teknolojiler ile ağır çalışma koşulları, İSG riskleri ile enerji tüketiminin aynı süreçler üzerinde iç içe geçtiği bir yapı oluşturmaktadır (Duta et al., 2020; ILO, 2022).

Bununla birlikte, işletme uygulamalarında ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi ile ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi çoğu zaman birbirinden bağımsız olarak tasarlanmakta, uygulanmakta ve denetlenmektedir (Talapatra et al., 2019). Ayrı ayrı kurgulanan bu sistemler, benzer süreçler için mükerrer dokümantasyon ve denetim yükü ortaya çıkarırken, risk temelli yaklaşımın bütüncül bir şekilde yürütülmesini de zorlaştırmaktadır (Salomone, 2008; Bernardo et al., 2015). Oysa her iki standart da; politika, hedefler, süreç yaklaşımı, risk temelli düşünme ve PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al) döngüsü gibi ortak ilkeler üzerine inşa edilmiş olup, 'Yüksek Seviyeli Yapı' (Annex SL) sayesinde

yapısal olarak entegrasyona elverişli bir çerçeve sunmaktadır (ISO, 2022; Nunhes et al., 2019). Bu noktada, enerji yönetimi ile İSG yönetiminin entegre bir yönetim sistemi çatısı altında birlikte ele alınması, hem kurumsal verimlilik hem de sürdürülebilirlik açısından önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Jørgensen et al., 2006).

Bu çalışma, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetimini sistematik bir bakış açısıyla ele almakta ve ISO 45001 ile ISO 50001 standartlarının entegrasyonuna yönelik bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın kapsamını, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesinde yürütülen tek vaka araştırması oluşturmaktadır. Bu kapsamda, işletmenin mevcut yönetim sistemi uygulamaları analiz edilmekte; ISO 45001 ve ISO 50001'in gereklilikleri çerçevesinde entegrasyon potansiyeli ortaya konulmakta; Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS), Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Fine-Kinney yöntemleri kullanılarak entegrasyon öncesi ve entegrasyon sonrası öngörülen risk profilleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Araştırmanın gerekliliği, bir yandan enerji yoğun ve yüksek riskli metal sektöründe işletmelerin enerji verimliliği ile İSG performansını birlikte iyileştirebilecekleri entegre yönetim modellerine duyulan ihtiyaçtan, diğer yandan da ISO 45001-ISO 50001 entegrasyonuna yönelik ulusal ve uluslararası literatürdeki uygulamalı çalışmaların sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu, metal sektöründe yürütülen bir vaka çalışması üzerinden doldurmayı ve benzer nitelikteki işletmeler için sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimi ekseninde uygulanabilir bir yol haritası sunmayı hedeflemektedir.

1.1. Araştırma Problemi

Mevcut yönetim uygulamalarında ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ve ISO 45001 (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi) standartları çoğunlukla birbirinden bağımsız şekilde tasarlanmakta, uygulanmakta ve denetlenmektedir (Talapatra et al., 2019). Bu ayrışmış yaklaşım; aynı süreçlerin farklı birimler tarafından

tekrarlanmasına, veri ve dokümantasyonun mükerrer hale gelmesine, kurumsal koordinasyon eksikliğine ve dolayısıyla zaman, maliyet ve kaynak israfına neden olmaktadır (Salomone, 2008; Simon et al., 2012). Daha da önemlisi bu ayrım, iki sistemin sahip olduğu yapısal ve işlevsel uyum potansiyelinin göz ardı edilmesine yol açmaktadır (Bernardo et al., 2015).

Oysa enerji yönetimi ile iş sağlığı ve güvenliği, işletme süreçlerinde birbirini doğrudan etkileyen ve aynı risk tabanlı düşünme çerçevesine dayanan iki stratejik alan olarak kabul edilmektedir (Nunhes et al., 2017). Örneğin, bir kompresör sisteminin enerji verimli çalışması yalnızca maliyet tasarrufu sağlamakla kalmaz; aşırı ısınma, basınç kaybı veya ekipman arızaları gibi ciddi İSG risklerinin de önüne geçer (Duta et al., 2020). Benzer biçimde, çalışanların enerji verimliliği konusundaki farkındalığı, hem çevresel duyarlılığı hem de güvenlik kültürünü güçlendirir (Jørgensen et al., 2006). Ancak bu tür kesişim noktaları, mevcut sistemlerde çoğu zaman sistematik olarak değerlendirilememekte ve entegrasyona dayalı bir yönetim perspektifiyle ele alınmamaktadır.

Enerji yoğun sektörlerde ve özellikle metal sanayinde, hem enerji maliyetlerinin hem de iş kazası risklerinin yüksek olması (IEA, 2022; ILO, 2022), bu bütüncül bakış açısına duyulan ihtiyacı daha da belirgin hale getirmektedir. İşletmeler, aynı süreçler üzerinde ayrı ayrı işleyen enerji ve İSG yönetim sistemleri yerine, ortak süreçler, göstergeler ve iyileştirme mekanizmaları üzerinden yönetilen entegre bir yapıya ihtiyaç duymaktadır (Zeng et al., 2007). Dolayısıyla güncel durum, işletmelerin hem enerji yönetimi performansını hem de iş sağlığı ve güvenliği performansını birlikte ve bütüncül bir yaklaşımla geliştirebilecekleri bir çerçeveye ihtiyaç duyduklarını göstermektedir. Bu gereklilik, aşağıdaki temel araştırma problemini gündeme getirmektedir:

“İşletmelerde ISO 50001 ve ISO 45001 standartlarının entegre bir şekilde uygulanması, hem enerji verimliliğini artırırken hem de iş sağlığı ve güvenliği performansını nasıl iyileştirebilir?”

Bu araştırma sorusu, teknik uyumluluk konusuyla beraber; örgütsel yapılanmaların, risk yönetimi kültürünün, liderlik süreçlerinin ve performans izleme mekanizmalarının entegre bir yönetim sistemi çatısı altında nasıl bütünleştirilebileceğini de kapsamaktadır. Bu problem, çalışma kapsamında İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi üzerinde yürütülen tek vaka araştırması aracılığıyla analitik olarak ele alınmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetimini bütüncül bir sistem olarak ele alarak, ISO 45001:2018 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ile ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi standartlarının entegrasyonuna yönelik teorik ve uygulamalı bir model geliştirmektir. Bu tez kapsamında, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının entegrasyonuna yönelik, PUKÖ döngüsü esas alınarak üç katmanlı bir kavramsal model geliştirilmekte; geliştirilen model, İstanbul'da faaliyet gösteren bir metal işletmesinde FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizlerinden elde edilen bulgular aracılığıyla uygulamalı olarak test edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, enerji verimliliği ve iş sağlığı ve güvenliği performansı gibi sürdürülebilirlik göstergelerinin, entegre bir yönetim sistemi perspektifiyle nasıl birlikte yönetilebileceği ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

Çalışmada, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi üzerinde yürütülen vaka araştırması aracılığıyla, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının mevcut uygulama düzeyi incelenmekte; bu iki sistem arasındaki ortak ve tamamlayıcı unsurlar belirlenerek, PUKÖ döngüsü temelli üç katmanlı bir entegrasyon çerçevesi önerilmektedir. Bu çerçeve, özellikle tehlike tanımlama, risk ve fırsat yönetimi, enerji performans göstergeleri, operasyonel kontrol süreçleri ve sürekli iyileştirme döngüsünün entegrasyonu üzerinden kurgulanmakta; FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleriyle elde edilen risk skorları bu modelin operasyonel düzeyde sınanmasına girdi sağlamaktadır. Bu genel amaç doğrultusunda çalışma şu alt amaçları gerçekleştirmeyi hedeflemektedir:

i.ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının yapısal, süreçsel ve dokümantasyon düzeyinde örtüşen ve tamamlayıcı hükümlerini sistematik olarak analiz etmek ve entegrasyon için ortak bir çatı yapı önermek,

ii. İncelenen metal işletmesinde iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi süreçlerine ilişkin mevcut durumu ortaya koymak; kurumsal kapasite, güçlü ve zayıf yönler ile entegrasyon fırsatlarını belirlemek,

iii. ISO 45001 ve ISO 50001'in entegrasyonu sürecinde ortaya çıkabilecek iş sağlığı ve güvenliği ve enerji yönetimi odaklı riskleri belirlemek ve bu riskleri HRNS, FMEA ve Fine–Kinney yöntemleriyle sistematik olarak değerlendirmek,

iv. Entegrasyon öncesi ve entegrasyon sonrası öngörülen durum için risk skorlarını karşılaştırarak, entegre yönetim yaklaşımının olası etkilerini iş sağlığı ve güvenliği performansı ve enerji verimliliği bakımından analitik olarak tartışmak,

v. Önerilen entegre yönetim modeli doğrultusunda, benzer niteliklere sahip metal işletmeleri için uygulanabilir nitelikte politika, süreç ve iyileştirme önerileri geliştirmek.

Bu yönüyle çalışma, bir işletmeye ilişkin bulgular üretmekle sınırlı kalmayıp, metal sektörü başta olmak üzere enerji yoğun sektörlerde ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonuna yönelik pratik bir yol haritası sunmayı da amaçlamaktadır.

1.3. Araştırma Yöntemi

Bu araştırmada, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetiminin bütüncül bir perspektifle ele alınabilmesi amacıyla, karma yöntemli tek vaka araştırma deseni benimsenmiştir. Çalışmanın kuramsal temeli, yönetim sistemlerinin entegrasyonu, sürdürülebilirlik yaklaşımı ve sürekli iyileştirme (PUKÖ) felsefesi üzerine inşa edilmiştir. Bu doğrultuda, nitel ve nicel veriler birlikte ve birbirini tamamlayacak biçimde kullanılmıştır.

Araştırmanın uygulama alanını, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi oluşturmaktadır. Bu işletmenin seçilmesinde; (i) kaynak, montaj, boya, fırın, kompresör ve ağır kaldırma–malzeme taşıma gibi hem enerji yoğun hem de İSG açısından yüksek riskli proseslere sahip olması, (ii) ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerinin önemli bir kısmını fiilen yerine getiriyor olmakla birlikte, bu iki sistemin entegrasyon düzeyinin sınırlı olması ve (iii) yönetim tarafından entegrasyona yönelik iyileştirme ve model geliştirme isteğinin bulunması belirleyici olmuştur. Dolayısıyla araştırma, tipik bir örneklem seçimiyle, metal sektöründeki KOBİ'lerin karşı karşıya olduğu yapısal sorunları yansıtan örnek bir vaka üzerinden yürütülmüştür (Yin, 2018; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2022).

Yöntemsel açıdan çalışma, iki temel eksende yapılandırılmıştır. İlk eksen, nitel analiz boyutudur. Bu kapsamda; işletmenin organizasyon yapısı, üretim süreçleri, mevcut İSG ve enerji yönetimi uygulamaları ve dokümantasyonu ayrıntılı olarak incelenmiş; iş akış şemaları, görev tanımları, prosedürler, talimatlar, bakım planları, enerji tüketim kayıtları ve iş kazası/ramak kala kayıtları gibi ikincil veriler analiz edilmiştir. Ayrıca, işletme yönetimi, İSG uzmanı, bakım sorumluları ve ilgili proseslerde çalışan operatörlerle yapılan görüşmeler ve yerinde gözlemler aracılığıyla mevcut durumun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nitel bulgular, daha sonra gerçekleştirilecek nicel risk analizlerinin tasarlanması ve yorumlanmasında bağlamsal çerçeve sağlamıştır (Creswell & Plano Clark, 2017; EU-OSHA, 2019).

İkinci eksen, nicel risk analizi boyutudur. Araştırmada metal işletmesinin seçili dört kritik prosesine –kaynak ve montaj hattı, boya ve fırın hattı, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonları– üç farklı risk değerlendirme yöntemi uygulanmıştır: Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), HRNS (tehlike derecelendirme sayısı) ve Fine–Kinney yöntemi. Bu yöntemler, literatürde yaygın olarak kullanılan ve özellikle sanayi işletmelerindeki İSG risklerinin sistematik değerlendirilmesine imkan veren araçlar olarak tanımlanmaktadır (Kinney & Wiruth, 1976; EU-OSHA, 2019).

FMEA yöntemi ile her bir proseste olası hata türleri tanımlanmış; bu hata türleri için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik puanları verilerek risk öncelik sayıları hesaplanmıştır. HRNS yaklaşımında, tehlikeler; meydana gelme olasılığı, maruziyet sıklığı, etkilenen kişi sayısı ve şiddet parametreleri üzerinden değerlendirilmiş ve her bir tehlike için HRN değeri elde edilmiştir. Fine–Kinney yönteminde ise olasılık, maruziyet sıklığı ve şiddet puanlarının çarpımıyla risk skorları hesaplanmış ve belirli eşik değerlerine göre riskler sınıflandırılmıştır (Aker, 2019). Böylece aynı prosesler, üç farklı yarı nicel yöntemle taranarak hem yöntemler arası karşılaştırma hem de entegrasyon etkisinin çok yönlü değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Araştırmanın önemli bir yöntemsel özelliği, risk analizlerinin hem "entegrasyon öncesi mevcut durum" hem de önerilen ISO 45001-ISO 50001 entegrasyon modelinin uygulanması halinde ortaya çıkması beklenen "entegrasyon sonrası öngörülen durum" için ayrı ayrı kurgulanmış olmasıdır. Gerçek işletme verileri ve gözlemlerine dayanarak mevcut durum için risk skorları hesaplanmış; daha sonra entegre yönetim sistemi kapsamında öngörülen teknik ve organizasyonel iyileştirmelerin (prosedürel düzenlemeler, bakım ve temizlik planları, eğitimler, alan düzenlemeleri, enerji izleme uygulamaları vb.) hayata geçirilmesi halinde, aynı tehlikeler için olasılık, maruziyet ve tespit edilebilirlik parametrelerinde ne tür değişimler olacağı analitik biçimde değerlendirilmiştir (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024). Bu yaklaşım, entegrasyonun etkisini nedensellik iddiası taşımadan, literatür ve uzman görüşleriyle uyumlu, tutarlı bir senaryo çerçevesinde ortaya koymayı hedeflemektedir.

Sonuç olarak, araştırma yöntemi; (i) tek bir metal işletmesine ilişkin derinlemesine nitel inceleme, (ii) dört kritik proseste FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleriyle nicel/nicel-benzeri risk analizi ve (iii) entegrasyon öncesi–sonrası risk profillerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi üzerine kuruludur. Bu yapı sayesinde, ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonunun hem kuramsal hem de uygulamalı boyutta test edilmesi ve metal sektörü için somut, veri temelli bir entegrasyon çerçevesi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırma, güçlü yönlerinin yanı sıra bazı sınırlılıklar çerçevesinde yürütülmüştür. Çalışmanın kapsamı, metodolojisi ve bulguların genellenebilirliği aşağıda özetlenen sınırlılıklardan etkilenmektedir:

i. Örneklem ve Evren Sınırlılığı: Çalışma, tek bir işletme üzerinde yürütülmüş vaka araştırması niteliğindedir. Araştırma alanı, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi ile sınırlıdır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, geniş bir evreni istatistiksel olarak temsil etmekten ziyade, metal sektöründe benzer özellikler taşıyan işletmeler için örnek ve yol gösterici bir nitelik taşımaktadır. Farklı ölçek, sektör veya kurumsal kültüre sahip işletmelerde benzer bir çalışma yürütüldüğünde, risk profili ve entegrasyon dinamikleri farklılık gösterebilir.

ii. Entegrasyona İlişkin Bulguların Niteliği: ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonuna ilişkin değerlendirmeler, "entegrasyon öncesi mevcut durum" ile "entegrasyon sonrası öngörülen durum" karşılaştırmasına dayanmaktadır. Önerilen entegre yönetim modeli, bu tez kapsamında işletmede tam ölçekli olarak uygulanmamış; entegrasyon sonrası risk skorları, literatür, mevcut uygulama gözlemleri ve uzman görüşlerine dayalı analitik bir öngörü şeklinde kurgulanmıştır. Bu nedenle entegrasyonun etkisine ilişkin bulgular, nedensel olarak kanıtlanmış sonuçlar değil, tutarlı ve gerekçelendirilmiş senaryolar olarak yorumlanmalıdır.

iii. Veri Toplama Yöntemlerine İlişkin Sınırlılıklar: Yönetici ve uzman görüşmelerinden elde edilen veriler, katılımcıların öznel beyanlarına dayanmaktadır. Bu durum, bilişsel önyargı risklerini de beraberinde getirebilmektedir. Kullanılan HRNS, FMEA ve Fine-Kinney yöntemleri, risk değerlendirmelerinde nicel skorlamalar kullanılmasına rağmen, bu skorların atanmasında uzman görüşlerinin rolü büyüktür ve bu durum da belirli ölçüde öznellik içermektedir. Olasılık, maruziyet sıklığı, etkilenen kişi sayısı, şiddet ve tespit edilebilirlik gibi parametreler; sınırlı olay kayıtları, işletme verileri ve uzman değerlendirmeleri birlikte dikkate alınarak puanlanmıştır. Bu nedenle risk skorlarının mutlak değerlerinden çok,

tehlikeler arası göreli karşılaştırma ve entegrasyon öncesi-sonrası değişim eğilimi açısından kullanılması daha uygun görülmektedir.

iv. Zaman ve Uygulama Kapsamı Sınırlılığı: Araştırma, entegre sistemin belirli bir zaman dilimindeki performansını ve risk düzeylerini ölçümlemiştir. Entegrasyonun uzun vadeli ve sürdürülebilir etkileri (örneğin, beş yıllık bir süreçte operasyonel maliyetlerdeki değişim, kaza sıklığı trendi veya çalışan bağlılığı gibi göstergeler) bu çalışmanın kapsamı dışında kalmıştır. Bu nedenle bulgular, uzun dönemli izleme verilerini içermemektedir.

v. Entegrasyonun Ölçümüne İlişkin Sınırlılık: ISO 50001 ve ISO 45001 entegrasyonunun işletme performansına etkisi, tek bir göstergeye indirgenemeyecek kadar çok boyutludur. Bu nedenle çalışma, enerji tüketimi, mevzuata ve standarda uygunluk düzeyi ile risk skorları gibi dolaylı göstergeler üzerinden ilerlemek durumunda kalmıştır. Söz konusu göstergeler entegrasyonun etkisini bütüncül biçimde yansıtmakla birlikte, finansal performans, çalışan memnuniyeti veya kurumsal itibar gibi diğer boyutları doğrudan kapsamamaktadır.

1.5. Araştırmanın Önemi

Bu çalışma, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetiminin bütüncül bir sistem yaklaşımıyla ele alınmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir. ISO 45001 ve ISO 50001 standartları literatürde çoğunlukla ayrı ayrı incelenmekte; iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ile enerji yönetimi, kurumsal yapılarda da farklı birimlerin sorumluluğunda, birbirinden kopuk süreçler olarak yürütülmektedir. Bu çalışma, söz konusu iki sistemin hem teorik düzeyde hem de uygulamaya dönük bir entegrasyon modeli çerçevesinde birlikte ele alınması bakımından önem taşımaktadır.

Metal sanayi, hem enerji yoğun üretim yapısı hem de ağır iş koşullarına bağlı yüksek iş kazası ve meslek hastalığı riskleri nedeniyle, sürdürülebilirlik ve İSG açısından kritik sektörler arasında yer almaktadır. İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi üzerinde yürütülen bu vaka çalışması, benzer nitelikteki KOBİ'ler

için uygulanabilir bir entegrasyon yaklaşımı sunarak, literatürde çoğunlukla büyük ölçekli ve çok uluslu işletmelere odaklanan çalışmalara alternatif, yerel ve ölçek duyarlı bir bakış açısı geliştirmektedir. Bu yönüyle çalışma, hem ulusal hem de sektörel düzeyde "enerji verimliliği – İSG performansı – kurumsal sürdürülebilirlik" üçgeninin birlikte değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Araştırma, metodolojik açıdan da önemlidir. ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonunun olası etkileri, nitel değerlendirmelerin yanısıra; HRNS, FMEA ve Fine–Kinney gibi farklı risk analiz yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çok katmanlı bir analiz çerçevesiyle ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, entegre yönetim sistemlerinin performansının, risk skorlarındaki değişim ve tehlikeler arası göreli risk düzeyleri üzerinden somutlaştırılmasına imkan vermekte; böylece entegrasyonun "kağıt üzerinde" kalmayan, ölçülebilir yönlerini görünür kılmaktadır.

Bu çalışma aynı zamanda uygulayıcılar için de yol gösterici niteliktedir. İşletmelerde ayrı ayrı yürütülen enerji yönetimi ve İSG süreçlerinin nasıl ortak bir politika, hedef, süreç ve gösterge seti altında bütünleştirilebileceğine ilişkin olarak, pratikte uygulanabilir adımlar ve öneriler sunulmaktadır. Özellikle politika ve hedeflerin uyumlaştırılması, tehlike ve enerji verimliliği fırsatlarının birlikte ele alınması, ortak performans göstergelerinin tanımlanması ve PUKÖ döngüsünün entegre biçimde işletilmesi gibi konularda geliştirilen model, benzer işletmelerde de uyarlanabilir bir referans çerçevesi niteliğindedir.

1.6. Literatür Taraması

Bu bölümde araştırmanın kuramsal ve metodolojik temelini oluşturan literatür; (i) enerji yönetimi ve ISO 50001 standardı, (ii) iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ve ISO 45001 standardı, (iii) entegre yönetim sistemleri, (iv) risk değerlendirme yöntemleri ekseninde özetlenmektedir. Özellikle enerji-yoğun metal sektörüne ilişkin vaka çalışmaları ve risk analizi uygulamaları, çalışmanın bağlamıyla doğrudan ilişkili olduğu için öncelikli olarak ele alınmıştır.

Enerji yönetimi literatüründe ISO 50001, enerji performansının sürekli iyileştirilmesini hedefleyen, Planla - Uygula - Kontrol Et - Önlem Al (PUKÖ) döngüsüne dayalı sistematik bir yönetim çerçevesi olarak tanımlanmaktadır (ISO, 2018; da Silva Gonçalves & dos Santos, 2019). Çelik ve metal sektöründe yürütülen çeşitli vaka çalışmalarında, ISO 50001'e dayalı enerji yönetim sistemlerinin uygulanmasıyla özgül enerji tüketiminde anlamlı azalmalar, yüksek tutarlı enerji maliyeti tasarrufları ve CO_2 emisyonlarında kayda değer düşüşler elde edildiği rapor edilmektedir (Ochoa et al., 2020; UNIDO, 2020; U.S. Department of Energy [DOE], 2022). Entegre çelik tesisleri ve benzer ağır sanayi işletmelerinde Enerji Yönetim Sistemi kurulumu sonrasında birkaç yıllık dönemde enerji performansının belirgin şekilde iyileştiği ve milyon dolar seviyesinde maliyet tasarrufu sağlandığı bildirilmektedir (Pelser, Vosloo, & Mathews, 2018; Clean Energy Ministerial, 2021).

Farklı enerji-yoğun sektörleri kapsayan derleme çalışmaları da, ISO 50001 uygulayan işletmelerin ortalama olarak anlamlı oranlarda enerji tasarrufu sağladığını ve bu tasarrufların uzun vadede kalıcı olabildiğini ortaya koymaktadır (IEA, 2014; UNEP DTU Partnership, 2016). Kamu kurumları, yükseköğretim kurumları ve hizmet sektöründe yapılan yeni tarihli araştırmalar ise ISO 50001'in yalnızca enerji maliyetlerini düşürmekle kalmayıp, sürdürülebilirlik stratejileri, çevresel performans ve kurumsal performans göstergeleriyle bütünleşebildiğini göstermektedir (Alotaibi et al., 2025; Li, 2025; Clean Energy Ministerial, 2021).

İş sağlığı ve güvenliği alanında ISO 45001; tehlike tanımlama, risklerin ve fırsatların belirlenmesi, çalışan katılımı ve liderlik vurgusuyla proaktif bir İSG kültürünü kurumsallaştırmayı amaçlayan risk temelli bir yönetim sistemi olarak ele alınmaktadır (ISO, 2018; Mohammadfam et al., 2016; Amaral et al., 2020). İnşaat, enerji ve imalat sektörlerinde yürütülen vaka çalışmalarında, ISO 45001'in uygulanmasıyla iş kazası sıklığı ve şiddetinde azalma, İSG uygulamalarının daha sistematik hale gelmesi ve yasal uyumun güçlenmesi gibi sonuçlar rapor edilmektedir (Gonzales et al., 2023; Mohammadfam et al., 2016; Kineber et al., 2023). Bununla birlikte sistematik derlemeler, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin (OHSAS 18001 ve ISO 45001) kaza oranları üzerindeki etkisine dair

bulguların her zaman aynı olmadığını; bazı çalışmaların istatistiksel olarak anlamlı azalma gösterirken bazılarının daha sınırlı veya bağlama duyarlı etkiler rapor ettiğini ortaya koymaktadır (Robson et al., 2007; Amaral et al., 2020). Bu çalışmaların ortak noktası, çalışan katılımı, eğitim ve yönetimin görünür desteği gibi faktörlerin, yönetim sistemi sertifikasyonundan bağımsız olarak İSG performansını belirlemede önemli rol oynadığını vurgulamalarıdır (Fernández-Muñiz, Montes-Peón, & Vázquez-Ordás, 2007; Yoon et al., 2013; Kessy, 2021).

Entegre yönetim sistemleri literatürü, ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 ve ISO 50001 gibi standartların "yüksek seviye yapı" (High Level Structure) sayesinde benzer madde yapıları ve terminoloji kullandığını, bu durumun da entegrasyonu kolaylaştırdığını göstermektedir (ISO, 2015; ISO, 2018). Yükseköğretim kurumları, enerji işletmeleri ve imalat sektöründe yapılan çalışmalar; kalite, çevre, İSG ve enerji yönetim sistemlerinin tek bir çatı altında entegre edilmesinin mükerrer dokümantasyonu azalttığını, denetim süreçlerini sadeleştirdiğini, yönetim maliyetlerini düşürdüğünü ve süreçlerin tutarlılığını artırdığını ortaya koymaktadır (Tutko & Woźniak, 2023; Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017; Ispas et al., 2025). Enerji üretim sektöründe ve entegre sanayi kuruluşlarında geliştirilen entegre yönetim sistemi çerçeveleri, ISO 14001 ve ISO 45001 gibi standartların ISO 50001 ve diğer varlık yönetimi standartları ile birlikte uygulanmasının hem çevresel, sosyal ve yönetişim performansını hem de sertifikasyon ve denetim maliyetlerini olumlu etkilediğini göstermektedir (Enerjisa, 2024; DNV, 2023; Ispas et al., 2025). Bununla birlikte mevcut çalışmaların önemli bir kısmı kalite-çevre-iş sağlığı ve güvenliği eksenine odaklanmakta; enerji yönetim sisteminin bu entegre yapılara dördüncü boyut olarak eklenmesine ilişkin vaka sayısı görece sınırlı kalmaktadır. Bu durum, özellikle enerji-yoğun metal sektöründe ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonunu ele alan uygulamalı çalışmalar için literatürde belirgin bir boşluk olduğuna işaret etmektedir (Tutko & Woźniak, 2023; Ispas et al., 2025).

Risk değerlendirme yöntemlerine ilişkin literatürde, FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), Fine–Kinney, 5×5 matris ve HRNS (Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi) gibi sayısal puanlama temelli yaklaşımlar öne çıkmaktadır (Fine, 1971; Bilir &

Gürcanlı, 2015; Aker, 2020; Fidan, 2024). Metal imalatı yapan bir işletmede yürütülen çalışmada, 5×5 matris ve Fine–Kinney yöntemleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış; Fine–Kinney yönteminin risk düzeylerini ayırt etmede 5×5 matrise göre daha hassas sonuçlar verdiği saptanmıştır (Aker, 2020). Gıda ve süreç endüstrisinde yapılan uygulamalarda ise, önce Fine–Kinney ile çok sayıda tehlike belirlenmiş, ardından kritik görülen bir kısmı için FMEA kullanılarak hata türleri ve etkileri daha ayrıntılı analiz edilmiş; bu kombinasyonun düzeltici faaliyetlerin önceliklendirilmesinde pratik avantaj sağladığı rapor edilmiştir (Oral & Bayhun, 2024; Fidan, 2024). Metal sektöründe geliştirilen bulanık Fine–Kinney modelleri, klasik yöntemdeki öznel puanlamanın yarattığı belirsizliği azaltmayı amaçlamakta ve ara değerlerin kullanılabilmesi sayesinde daha gerçekçi risk skorları üretildiğini göstermektedir (Över Özçelik et al., 2025; Özçelik & Aker, 2020). HRNS yöntemine ilişkin çalışmalar ise, olasılık, maruziyet sıklığı, şiddet ve risk altındaki kişi sayısı parametrelerini birlikte değerlendirerek maruziyet boyutunu daha belirgin şekilde hesaba kattığını ve özellikle yüksek tehlike içeren sektörlerde risk önceliklendirmesinde kullanılabilir ve diğer yöntemlerle karşılaştırılabilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Bilir & Gürcanlı, 2015; Fidan, 2024; Hippertt et al., 2019).

Özetle mevcut literatür; ISO 50001'in enerji-yoğun sektörlerde enerji performansını ve sürdürülebilirlik göstergelerini iyileştirmedeki rolünü, ISO 45001'in İSG performansı ve kaza oranları üzerindeki etkisini, entegre yönetim sistemlerinin dokümantasyon, denetim ve süreç yönetimi açısından sağladığı faydaları ve farklı risk analiz yöntemlerinin yüksek tehlikeli sektörlerde uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte ISO 45001 ve ISO 50001'in özellikle metal sektöründe entegre bir yönetim sistemi altında birlikte kurgulanmasına ve bu entegrasyonun risk profili üzerindeki etkilerinin HRNS, FMEA ve Fine-Kinney gibi yöntemlerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu boşluk, tez kapsamında İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi üzerinde gerçekleştirilen vaka çalışmasının literatürdeki kuramsal ve uygulamalı özgünlük temelini oluşturmaktadır.

Tablo 1.1: ISO 45001 ve ISO 50001 Entegrasyonu Bağlamında Sürdürülebilir İSG ve Enerji Yönetimi Literatür Özeti

YAZARLAR-YIL	ÇALIŞMANIN ODAK NOKTASI	STANDARTLAR	TEMEL BULGULAR	ÇALIŞMAYLA İLİŞKİ
International Organization for Standardization (2018a, 2018b)	Yönetim sistemi standartlarının yüksek seviye yapısı, İSG ve enerji yönetimi	ISO 45001, ISO 50001 ve diğer MSS'ler	ISO 45001 ve ISO 50001'in risk temelli düşünme, PUKÖ döngüsü ve üst yönetim liderliği gibi ortak yapısal unsurlara sahip olduğu; yönetim sistemlerinin entegrasyonunu kolaylaştıran "yüksek seviye yapı" (HLS) sunduğu vurgulanır.	Tezin kavramsal çerçevesinde, ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonunun yapısal temeli bu ortak HLS üzerine oturtulmaktadır.
da Silva Gonçalves & dos Santos (2019)	Enerji yönetim sisteminin sürdürülebilirlik ve enerji performansı üzerindeki etkileri	ISO 50001	ISO 50001'e dayalı enerji yönetim sistemlerinin enerji tüketimi, maliyet ve sera gazı emisyonları üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı; sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir çerçeve sunduğu gösterilir.	Tezde, metal işletmesinde ISO 50001'in entegre sistem içindeki rolü enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik boyutlarıyla birlikte ele alınmaktadır.
United Nations Industrial Development Organization (2020)	Çelik sektöründe ISO 50001'e uyumlu enerji yönetim sistemi uygulaması (Al Ezz Dekheila Steel vb.)	ISO 50001	Çelik ve metal sektöründe ISO 50001 uygulamasıyla özgül enerji tüketiminde azalma, milyon dolar seviyesinde maliyet tasarrufu ve CO_2 emisyonlarında düşüş sağlandığı rapor edilir.	Tez, benzer şekilde enerji-yoğun metal sektöründe ISO 50001 uygulamasının entegrasyon sonrasında risk ve performans göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesine odaklanmaktadır.
U.S. Department of Energy – Better Buildings (2020–2022)	Farklı enerji-yoğun sektörlerde ISO 50001 uygulama örnekleri	ISO 50001	ISO 50001 uygulayan işletmelerde ortalama %5 ve üzerinde kalıcı enerji tasarrufu, maliyet düşüşü ve operasyonel verimlilik artışı elde edildiği belirtilir.	Tezin, entegrasyon öncesi–sonrası enerji performansını dolaylı göstergeler üzerinden karşılaştırma yaklaşımına ampirik dayanak sağlar.
Robson et al. (2007); Amaral et al. (2020)	İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin iş kazaları ve İSG performansı üzerindeki etkisi	OHSAS 18001, ISO 45001	İSG yönetim sistemlerinin kaza sıklığı ve şiddetini azaltma potansiyeli olduğu; ancak etkinliğin bağlama, uygulama kalitesine ve çalışan katılımına bağlı olduğu gösterilir.	Tezde, ISO 45001'in sadece formel bir sertifikasyon değil, entegrasyonla güçlendirilmiş proaktif İSG kültürü aracı olarak ele alınmasına teorik temel sağlar.
Nunhes, Bernardo & Oliveira (2017)	Entegre yönetim sistemlerinin (kalite, çevre, İSG vb.) fayda ve zorlukları	ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001	Entegre yönetim sistemlerinin mükerrer dokümantasyonu azalttığı, denetim maliyetlerini düşürdüğü ve süreçlerin tutarlılığını artırdığı; ancak entegrasyon sürecinde örgütsel ve kültürel zorluklar bulunduğu saptanır.	Tezin, ISO 45001 ve ISO 50001'i tek çatı altında ele alan entegre model önerisine genel IMS literatürü üzerinden kuramsal destek sunar.
Tutko & Woźniak (2023)	Yükseköğretim kurumunda entegre yönetim sistemi uygulaması	ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001	HLS yapısı sayesinde farklı standartların aynı politika, hedef ve süreçler altında entegre edilebildiği; entegrasyonun kurumsal verimlilik ve paydaş memnuniyetini artırdığı gösterilir.	Tezde önerilen entegre İSG–enerji yönetim modeli için, farklı sektörlerdeki IMS deneyimlerinin uyarlanabilirliğini göstermektedir.
Aker (2020)	Metal sektöründe 5×5 matris ve Fine–Kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi	— (Risk analizi yöntemleri)	Metal imalatında 5×5 matris ile Fine–Kinney sonuçları karşılaştırılarak, Fine–Kinney'in risk düzeylerini ayırt etmede daha hassas olduğu ortaya konur.	Tezde, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonu öncesi–sonrası risk profilinin Fine–Kinney ve FMEA gibi yöntemlerle analiz edilmesi, bu bulgularla uyumludur.
Över Özçelik et al. (2025)	Metal sektöründe bulanık Fine–Kinney ile İSG risk analizi	— (Risk analizi yöntemleri)	Klasik Fine–Kinney'in öznel puanlama sorununu azaltmak için bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak daha gerçekçi risk skorları elde edildiği gösterilir.	Tezin, risk değerlendirmesinde öznel uzman puanlarının belirsizliğine dikkat çekmesi ve sonuçları mutlak değerlerden çok göreli değişim olarak yorumlamasıyla paralellik taşır.
Bilir & Gürcanlı (2015)	HRN/HRNS yaklaşımının İSG risk değerlendirmesinde kullanımı	— (HRNS)	Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi'nin (HRN/HRNS) olasılık, maruziyet, şiddet ve risk altındaki kişi sayısı parametrelerini sayısal bir skorla birleştirerek risk önceliklendirme için pratik bir araç sunduğu belirtilir.	Tezde HRNS yönteminin FMEA ve Fine–Kinney ile birlikte kullanılması, bu yöntemlerin karşılaştırılabilir ve tamamlayıcı olduğuna ilişkin bulgularla desteklenmektedir.

Tablo 1.1'de, enerji yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri, entegre yönetim yaklaşımları ve risk değerlendirme yöntemleri alanında öne çıkan ulusal ve uluslararası çalışmalar bütüncül biçimde özetlenmektedir. Tablo 1.1, ISO 50001 ve ISO 45001 standartlarının tekil olarak uygulandığı ve enerji/İSG performansına etkilerinin incelendiği çalışmalar ile kalite–çevre–İSG ekseninde geliştirilen entegre yönetim sistemi örneklerini, ayrıca FMEA, HRNS ve Fine–Kinney gibi yöntemlerin farklı sektörlerdeki kullanım biçimlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği

Günümüzde işletmeler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine uyum sağlamak ve küresel rekabet avantajı elde etmek amacıyla enerji verimliliği, çevresel sorumluluk ile çalışan sağlığı ve güvenliğini birlikte yönetmek zorunda kalmaktadırlar (IEA, 2022; EU-OSHA, 2023). Bu bağlamda, bu bölüm, iş sağlığı ve güvenliğini (İSG) sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde tanımlayarak, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları bütünleştiren bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

2.1.1.Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Boyutları

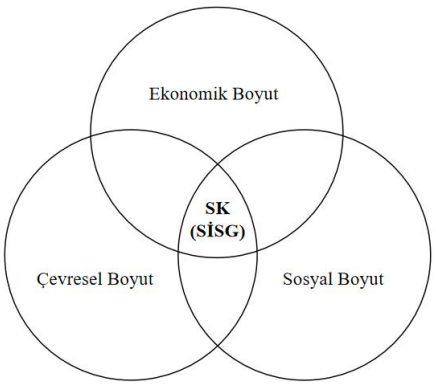
Sürdürülebilir kalkınma kavramı, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 tarihli "Ortak Geleceğimiz" raporuyla literatüre kazandırılmıştır. Raporda sürdürülebilir kalkınma, "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır (WCED, 1987). Bu tanım, kalkınma süreçlerinde çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların karşılıklı bağımlı ve bütünleşik unsurlar olduğunu vurgulamaktadır.

i. Çevresel Boyut: Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların verimli kullanımını, kirliliğin ve atıkların azaltılmasını, biyolojik çeşitliliğin korunmasını ve iklim değişikliği ile mücadeleyi içermektedir. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, karbon ayak izinin azaltılması ve çevre dostu üretim süreçlerinin benimsenmesi bu boyutun uygulama alanlarıdır (Tanaka, 2015).

ii. Ekonomik Boyut: İşletmelerin uzun vadede karlılığını, rekabet gücünü ve üretkenliğini koruyarak sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmasını amaçlamaktadır. Kaynakların etkin kullanımı, inovasyonun teşvik edilmesi, yaşam döngüsü maliyet analizleri ve enerji verimliliği stratejileri bu boyutun temel bileşenlerindendir. Ekonomik sürdürülebilirlik, kar elde etmenin yanısıra, işletmenin

krizlere karşı dayanıklılığını ve operasyonel sürekliliğini de kapsamaktadır (Dyllick & Hockerts, 2002).

iii. Sosyal Boyut: İnsan hakları, adil gelir dağılımı, istihdam koşulları, çalışan refahı, toplumsal sağlık ve güvenlik konularını kapsamaktadır. İş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamaları bu boyutun en somut yansıması olup, çalışanların fiziksel ve psikososyal iyiliğini korumanın yanında, onların gelişim ve katılımını desteklemektedir (Zwetsloot ve ark., 2013).



Şekil 2.1: Sürdürülebilir Kalkınma (SK) Unsurları ile Sürdürülebilir İSG (SİSG) İlişkisi

Üç çemberin kesişiminde yer alan sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği (SİSG), sürdürülebilir kalkınma (SK) anlayışının işletme düzeyindeki somut yansımasını oluşturmaktadır. Bu yapı, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların bütüncül entegrasyonunu temsil eden bir üst çerçeve niteliğindedir. Bu bütünleşik yaklaşım sayesinde işletmeler, bir yandan çalışanların refahını artırarak toplumsal sürdürülebilirliğe katkıda bulunmakta, diğer yandan enerji yönetimiyle entegre biçimde çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği güçlendirmektedir (EU-OSHA, 2020; ILO, 2023).

Birleşmiş Milletler (BM)'in 2015 yılında kabul ettiği 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi, 17 küresel hedef üzerinden ekonomik, sosyal ve çevresel kalkınmayı

bütünleştirmeyi amaçlamaktadır (UN, 2015). Bu hedefler arasında iş sağlığı ve güvenliği doğrudan veya dolaylı biçimde birden fazla amaçla ilişkilidir.



Şekil 2.2: BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (United Nations, 2015).

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ve enerji yönetimi çerçeveleri arasında güçlü bir örtüşme bulunmaktadır. Özellikle SKA 3 – Sağlık ve Refah, "herkes için her yaşta sağlıklı bir yaşam ve refahın teşvik edilmesi" hedefini benimsemiş olup, bu kapsamda güvenli ve sağlıklı çalışma ortamlarının sağlanması temel bir bileşen olarak yer almaktadır (ILO, 2023).

Benzer şekilde SKA 8 – İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme, sürdürülebilir, kapsayıcı ve sürekli ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve insana yakışır işi teşvik etmeyi hedefler. Bu bağlamda, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması hem iş gücü verimliliği hem de sosyal adalet için önemli bir önkoşuldur (OECD, 2022).

Öte yandan SKA 7 – Erişilebilir ve Temiz Enerji ile SKA 12 – Sorumlu Üretim ve Tüketim, enerji yönetimi, kaynak verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik odaklı hedefler sunmaktadır (UN, 2015). Bu hedefler doğrudan İSG'yi belirtmese de, enerji verimli ve sorumlu üretim uygulamaları genellikle çalışanların maruz kaldığı fiziksel riskleri (örneğin ısı stresi, gürültü, hava kalitesi) azaltarak İSG performansına dolaylı

katkı sağlamaktadır (IEA, 2022; EU-OSHA, 2023). Dolayısıyla ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ve ISO 45001 (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi) standartlarının entegrasyonu, hem SKA 3 ve SKA 8 hem de SKA 7 ve 12 hedeflerine bütüncül bir yaklaşımla katkı sunma potansiyeline sahiptir (ISO, 2018; UN, 2015).

Sonuç olarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başarısı, çevresel göstergeler ile iş ortamının güvenliği, sağlığı ve enerji verimliliğinin bütünleşik bir çerçevede yönetilmesiyle yakından ilişkilidir.

2.1.2.Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı

Sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği (SİSG) kavramı, klasik iş sağlığı ve güvenliği yaklaşımlarının ötesine geçerek, çalışan refahını, çevresel duyarlılığı ve kurumsal sürdürülebilirliği bütünleştiren stratejik bir yönetim çerçevesi olarak tanımlanmaktadır (Zwetsloot et al., 2013). Bu kavram, sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin —özellikle çevresel, sosyal ve ekonomik boyutların— iş sağlığı ve güvenliği politikalarına sistematik biçimde entegre edilmesini ifade etmektedir (EU-OSHA, 2020; ILO, 2023). EU-OSHA (2020) ise kavramı daha bütüncül bir düzlemde tanımlayarak, SİSG'yi "insan merkezli, önleyici, katılımcı ve sürekli iyileştirmeye dayalı bir sistem olarak, iş yaşamı boyunca çalışan sağlığı ve güvenliğini koruma ve geliştirme süreci" şeklinde açıklamıştır.

Bu çerçevede SİSG, mevzuata uyumun ötesinde, enerji verimliliği, kaynak yönetimi, çevresel etkilerin azaltılması ve kurumsal dayanıklılık gibi unsurları da içeren, uzun vadeli örgütsel sürdürülebilirliği destekleyen çok boyutlu bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımın temel ilkeleri aşağıda ve tabloda bulunmaktadır:



Şekil 2.3: Sürdürülebilir İSG Kavramının Temel İlkeleri

i.Sürdürülebilir İSG'nin Kavramsallaştırılması: SİSG, sürdürülebilirlik ilkelerinin iş sağlığı ve güvenliği yönetimine sistematik biçimde uygulanmasını ifade etmektedir. Bu modelde İSG, kaza ve hastalıkların önlenmesinin yanında çalışan refahının, üretkenliğin ve işletmenin uzun vadeli kurumsal sağlığının korunmasını da kapsamaktadır (Zwetsloot et al., 2013) .

ii.Proaktif Yaklaşım ve Önleme Kültürü: SİSG, olay sonrası reaktif tedbirlerden ziyade, tehlikelerin ortaya çıkmadan önce öngörülmesini ve önlenmesini amaçlayan proaktif bir yaklaşımı benimsemektedir. Bu bağlamda, "önleme kültürü" tüm örgüt yapısına entegre edilmelidir. Üst yönetimin kararlılığı, çalışan katılımı ve sürekli öğrenme mekanizmaları bu kültürün temel taşlarıdır (Hale & Borys, 2013).

iii.Çalışan Refahı ve Kurumsal Dayanıklılık: SİSG'nin merkezinde çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahının korunması yer almaktadır. Çalışan refahı, iş kazalarının önlenmesine ek olarak; stres yönetimi, ergonomi, psikososyal destek ve çalışma koşullarının iyileştirilmesiyle de doğrudan ilişkilidir. Yüksek refah düzeyi, işletmelerin kurumsal dayanıklılığını ve üretim kalitesini arttırmaktadır (Grawitch, Gottschalk, & Munz, 2006).

iv.Yaşam Döngüsü Yaklaşımı: Yaşam döngüsü yaklaşımı, ürün, süreç veya tesislerin tüm yaşam aşamalarında —tasarımdan işletmeye, işletmeden hizmet dışı bırakmaya kadar— İSG risklerinin sistematik olarak değerlendirilmesini öngörmektedir. Bu anlayış, özellikle mühendislik ve enerji yoğun sektörlerde, tasarım aşamasında risklerin bertaraf edilmesini sağlayarak hem iş güvenliği hem de çevresel

sürdürülebilirlik açısından önemli kazanımlar yaratmaktadır (Hecker, Gambatese, & Weinstein, 2005).

v.Sürekli İyileştirme Döngüsü (PUKÖ - Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al): SİSG yönetimi, ISO 45001:2018 ve ISO 50001:2018 standartlarının da temelini oluşturan PUKÖ döngüsü üzerine inşa edilmiştir. Bu yaklaşım, enerji performansı ile İSG performansının periyodik olarak izlenmesini, ölçülmesini ve sürekli iyileştirilmesini sağlamaktadır (ISO, 2018). Böylece işletmeler hem enerji verimliliği hem de güvenlik kültürü açısından dinamik bir gelişim sürecini sürdürmektedir.

vi.Risk Bazlı Düşünce: Sürdürülebilir İSG, risk kavramını fiziksel tehlikelerle sınırlamamakta, psikososyal, ergonomik, kimyasal, çevresel ve enerjiyle ilişkili riskler de değerlendirme kapsamına alınmaktadır. Risk bazlı düşünce, hem bireysel sağlığı hem de organizasyonel verimliliği etkileyen tüm faktörlerin bütüncül biçimde yönetilmesini sağlamaktadır (Liu, Wang, & Wang, 2013).

vii.Kurumsal Şeffaflık ve Hesap Verebilirlik: Bu ilke, işletmelerin aldığı kararların açık, veriye dayalı ve paydaşlarla paylaşılabilir biçimde yürütülmesini öngörmektedir. Kurumların İSG ve enerji yönetimi performanslarını düzenli aralıklarla raporlaması, bağımsız denetimlere açık olması ve çalışanlar, tedarikçiler, kamu otoriteleri ve toplumla etkin iletişim kurması, hem güven kültürünün yerleşmesine hem de kurumsal sorumluluğun görünür hale gelmesine katkı sağlamaktadır (EU-OSHA, 2020). Bu yaklaşım sayesinde işletmeler, yasal yükümlülüklerini yerine getirirken bir taraftan da sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma süreçlerini şeffaf biçimde izlenebilir ve değerlendirilebilir hale getirmektedir.

2.1.3.Sürdürülebilir İş Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımının Gelenekselden Farkı

Küresel ölçekte sürdürülebilirlik anlayışının işletme yönetimlerine yön verdiği günümüzde, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanı da köklü bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Geleneksel İSG anlayışı, uzun yıllar boyunca kazaların önlenmesi, yasal mevzuata uyumun sağlanması ve risklerin kontrol altına alınması gibi sınırlı

hedeflerle şekillenmiştir (Hale & Borys, 2013; Robson et al., 2007). Ancak hızla değişen üretim teknolojileri, artan enerji maliyetleri, çevresel baskılar ve çalışan beklentilerindeki dönüşüm, bu tek boyutlu yaklaşımın artık yeterli olmadığını göstermektedir (Zwetsloot et al., 2013; EU-OSHA, 2023).

Bu noktada sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği (SİSG) yaklaşımı, klasik anlayışın sınırlarını aşarak, çalışan sağlığını, çevresel sorumluluğu ve kurumsal sürdürülebilirliği aynı eksende birleştiren stratejik bir yönetim modeli olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda SİSG, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesiyle sınırlı olmayan; çalışan refahı, örgütsel dayanıklılık, enerji verimliliği ve çevresel etkilerin azaltılmasını birlikte ele alan bütünleşik bir çerçeve sunmaktadır (Zwetsloot et al., 2013; EU-OSHA, 2020; ILO, 2022). İki yaklaşım arasındaki temel farklılıklar aşağıdaki boyutlar çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Tablo 2.1: Sürdürülebilir İSG Yaklaşımının Gelenekselden Farkı

BOYUT	GELENEKSEL İSG YAKLAŞIMI	SÜRDÜRÜLEBİLİR İSG YAKLAŞIMI
Kapsam ve Perspektif	Yasal mevzuat uyumu ve kaza önleme odaklı, reaktif ve dar kapsamlı bir anlayış.	Çalışan sağlığı, çevresel etkiler, enerji verimliliği ve sosyal refahın entegre edildiği çok boyutlu yaklaşım.
Zaman Ufku ve Yaklaşım	Olay sonrası müdahaleye dayalı, reaktif risk yönetimi.	Proaktif, öngörülü ve PUKO döngüsüne (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al) dayalı sürekli iyileştirme kültürü.
Amaç ve Değer	Yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi ve kaza oranlarının azaltılması.	Çalışan refahı, enerji verimliliği, kurumsal dayanıklılık ve sosyal sorumluluk odaklı stratejik yatırım anlayışı.
Yönetim Sistemi Entegrasyonu	Tek disiplinli, bağımsız ve izole yapı.	ISO 45001, ISO 50001, ISO 14001 ve ISO 9001 sistemlerinin entegrasyonu yoluyla enerji, çevre ve güvenlik performanslarının birlikte izlenmesi.
Çalışan Refahı Vurgusu	Çalışan, korunması gereken iş gücü olarak görülür; fiziksel güvenlik ön plandadır.	Çalışan, değer yaratan aktif paydaş olarak kabul edilir; fiziksel, zihinsel ve sosyal refah bütüncül biçimde ele alınır.
Ölçüm ve Performans	Negatif göstergeler: kaza sıklığı, kayıp iş günü oranı vb.	Pozitif göstergeler: çalışan memnuniyeti, enerji tasarrufu, karbon azaltımı, eğitim katılımı ve toplumsal katkı oranı.
Kurumsal Sorumluluk ve İtibar	Kurumsal sorumluluk içe dönüktür; sadece yasal gerekliliklerı karşılar.	ESG (Çevresel–Sosyal–Yönetim) temelli yaklaşımla topluma, çevreye ve paydaşlara karşı sorumluluk taşır; marka itibarı ve yatırımcı güveni sağlar.

i.Kapsam ve Perspektif Farkı: Geleneksel İSG anlayışı, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesine odaklanan, yasal mevzuat uyumunu merkeze alan reaktif bir yaklaşımdır (Hale & Borys, 2013). Buna karşın sürdürülebilir İSG, bu çerçeveyi genişleterek çalışan sağlığını, çevresel etkileri, enerji verimliliğini ve sosyal refahı tek bir yönetim sisteminde entegre etmektedir (Jallon et al., 2011) .

ii.Zaman Ufku ve Yaklaşım Farkı (Reaktif vs. Proaktif): Klasik İSG yönetimi, genellikle olay gerçekleşmesinin ardından müdahale eden reaktif bir yapı

sergilemektedir. Sürdürülebilir İSG ise proaktif ve öngörülü bir anlayışı benimser. Riskler, ISO standartlarında da benimsenen Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsü çerçevesinde sistematik olarak değerlendirilir (ISO, 2018). Bu değerlendirme, mevcut fiziksel tehlikelerin yanı sıra gelecekte ortaya çıkabilecek çevresel, psikososyal ve teknolojik riskleri de kapsamaktadır (Liu et al., 2013).

iii.Amaç ve Değer Farkı: Geleneksel İSG'nin amacı çoğunlukla yasal yükümlülükleri yerine getirmek ve kaza oranlarını düşürmekle sınırlıdır. Sürdürülebilir İSG ise çalışan refahını arttırarak kurumsal dayanıklılığı güçlendirmeyi, enerji verimliliği sağlamayı ve kurumsal sosyal sorumluluğu pekiştirmeyi hedeflemektedir (Grawitch et al., 2006). Bu sayede İSG, maliyet kalemi olmaktan çıkarak işletmeye uzun vadeli rekabet avantajı sağlayan stratejik bir yatırım alanı olmaktadır (IEA, 2022) .

iv.Yönetim Sistemi Entegrasyonu: Sürdürülebilir İSG, ISO 45001 (İSG), ISO 50001 (Enerji), ISO 14001 (Çevre) ve ISO 9001 (Kalite) gibi yönetim sistemlerinin entegre olarak uygulanmasını öngörmektedir (ISO, 2018; EU-OSHA, 2020). Bu entegrasyon sayesinde enerji performansı, çevresel etkiler ve çalışan güvenliği birbirini destekleyen göstergelerle izlenebilir hale gelmektedir. Geleneksel İSG ise genellikle bağımsız, tek disiplinli ve diğer yönetim sistemlerinden izole bir yapıdadır.

v.Çalışan Refahı Vurgusu: Sürdürülebilir İSG, çalışanları "korunması gereken iş gücü" olarak görmez, değer yaratan aktif paydaşlar olarak görür. Bu nedenle fiziksel güvenlik önlemlerinin ötesine geçerek zihinsel sağlık, iş-yaşam dengesi, ergonomi, örgütsel katılım ve iletişim gibi refah boyutlarını da kapsar (Grawitch et al., 2006). Bu yaklaşım, çalışan verimliliği kadar moral, yaratıcılık ve iş tatminini de sürdürülebilirliğin ayrılmaz bir parçası olarak kabul eder.

vi.Ölçüm ve Performans Farkı: Klasik İSG performansı genellikle kaza sıklığı oranı, kayıp iş günü gibi negatif göstergelerle ölçülmektedir. Sürdürülebilir İSG ise çalışan memnuniyeti, enerji tasarrufu, karbon ayak izi azalımı, eğitim katılımı oranı ve toplumsal katkı projeleri gibi pozitif sürdürülebilirlik göstergelerine de

odaklanmaktadır (Jallon et al., 2011; Liu et al., 2013). Bu ölçüm anlayışı, "sadece zararı azaltma" yerine "değeri artırma" kültürüne geçişi desteklemektedir.

vii.Kurumsal Sorumluluk ve İtibar Boyutu: Sürdürülebilir İSG, kurumsal sosyal sorumluluk ve Çevresel–Sosyal–Yönetimsel stratejilerinin temel bileşenidir (Elkington, 1998). İşletmeler, güvenli ve sağlıklı bir iş ortamı sağlayarak çalışanlarının yanısıra, tedarik zincirine, yerel topluluklara ve küresel çevreye karşı da sorumluluklarını yerine getirir (EU-OSHA, 2023). Bu durum, özellikle uluslararası pazarlarda marka itibarı, yeşil tedarikçi tercihi ve yatırımcı güveni açısından stratejik bir avantaj sağlamaktadır.

2.1.4.Enerji Verimliliği – İSG İlişkisi ve İşletme Performansına Etkileri

Enerji verimliliği ile İSG arasındaki ilişki, son yıllarda hem literatürde hem de uluslararası standart sistemlerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (IEA, 2022; EU-OSHA, 2023). Bu iki alan, işletme performansını maliyet, güvenlik, çevresel etki, çalışan refahı ve rekabet gücü açılarından şekillendiren tamamlayıcı ve sinerjik unsurlar olarak değerlendirilmektedir.

Enerji verimliliği ile İSG arasında karşılıklı destekleyici bir ilişki bulunmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan sistemler—örneğin LED aydınlatma, otomatik kapatma mekanizmaları, ısı geri kazanım sistemleri—genellikle çalışma koşullarını da iyileştirmektedir. Örneğin, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin optimizasyonu, enerji tüketimini azaltırken çalışanların görsel konforunu ve termal rahatlığını arttırmaktadır. Bu tür sistematik iyileştirmeler, "verimli enerji kullanımı" ile "güvenli ve sağlıklı çalışma ortamı" arasında doğrudan bir bağ kurar. Araştırmalar, enerji verimliliği yatırımlarının İSG kazalarında %10–25 oranında azalmaya yol açabileceğini göstermektedir (IEA, 2022; EU-OSHA, 2023).

ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ile ISO 45001 (İSG Yönetim Sistemi) standartlarının ortak prensipleri, bu etkileşimin kurumsal çerçevesini oluşturmaktadır.

Enerji verimliliği ve İSG'nin entegrasyonu, işletme performansına üç temel boyutta katkı sağlamaktadır:

i.Ekonomik Performans Üzerindeki Etkiler: Enerji tüketiminin azaltılması, üretim maliyetlerinde doğrudan tasarruf sağlarken; iş kazaları ve meslek hastalıklarının azalması, sigorta primleri, tazminat giderleri, hukuki süreç maliyetleri ve üretim kesintilerinden kaynaklanan dolaylı maliyetlerin düşmesine yol açmaktadır. İki etki birlikte değerlendirildiğinde, bu bütünleşik yapı işletmenin toplam operasyonel verimliliğini ve karlılığını arttırmaktadır (Jansson et al., 2019) .

ii. Çevresel Performans Üzerindeki Etkiler: Enerji tasarrufu sağlayan teknolojik dönüşümler, karbon salımlarını ve atık üretimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bu dönüşüm aynı zamanda çalışanların maruz kaldığı gürültü, aşırı ısı, titreşim ve kimyasal emisyon gibi çevresel riskleri de azaltmaktadır. Dolayısıyla çevre yönetimiyle İSG yönetimi arasında çift yönlü bir koruyucu ilişki bulunmaktadır: çevre korunurken çalışan sağlığı da korunur; çalışan sağlığı desteklenirken çevresel etkiler de minimize edilmektedir (EU-OSHA, 2023) .

iii. Örgütsel Performans Üzerindeki Etkiler: Enerji ve İSG sistemlerinin entegrasyonu, çalışanların kurumsal aidiyetini, güvenini ve motivasyonunu arttırmaktadır. Sürdürülebilir uygulamalar, örgüt kültüründe güven, sorumluluk, katılım ve yenilikçilik değerlerini güçlendirmektedir. Bu durum, üretim kalitesinin yükselmesine, devamsızlık ve işten ayrılma oranlarının azalmasına ve genel iş gücü verimliliğinin artmasına katkı sağlamaktadır (Zwetsloot et al., 2013).

2.1.5.Endüstriyel Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sorumluluk Yaklaşımları

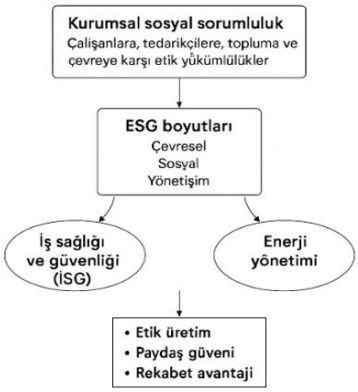
Enerji yönetimi, endüstriyel sürdürülebilirliğin teknik altyapısını oluştururken; İSG, bu yapının etik ve insani boyutunu temsil etmektedir. Enerji verimliliği sağlayan teknolojik çözümler aynı zamanda iş kazası risklerini azaltmakta, iç ortam koşullarını iyileştirmekte ve çalışan memnuniyetini arttırmaktadır. Dolayısıyla enerji–İSG

entegrasyonu, işletmelerin hem operasyonel etkinlik hem de kurumsal sorumluluk hedeflerine ulaşmasında temel bir stratejik araçtır (IEA, 2022; EU-OSHA, 2023).

Sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu öne çıkaran kurumsal sosyal sorumluluk yaklaşımı, işletmelerin hissedarları ile beraber çalışanlarına, tedarikçilerine, topluma ve çevreye karşı güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması, çevre dostu üretim yöntemlerinin benimsenmesi, enerji tasarrufunun sağlanması ve yerel topluluklara katkı sunulması gibi çeşitli yükümlülüklere sahip olduğunu vurgulamaktadır (Carroll, 1999).

Kurumsal sosyal sorumluluğun sürdürülebilir İSG ile kesişim noktası, "insana yakışır iş" ilkesinde ortaya çıkmaktadır. Güvenli ve sağlıklı çalışma koşulları, adil ücret politikaları, psikososyal refah ve yaşam boyu öğrenme olanakları, bir işletmenin topluma karşı yerine getirmesi gereken temel etik sorumluluklardandır (ILO, 2023). Bu nedenle sürdürülebilir İSG uygulamaları, yasal uyumun yanısıra, sosyal adaletin ve etik yönetişimin de kurumsal ifadesidir.

Son yıllarda kurumsal sürdürülebilirlik uygulamaları, ESG (Çevresel–Sosyal–Yönetişim) çerçevesinde sistematik biçimde izlenmekte ve raporlanmaktadır. ESG kriterleri, işletmelerin sürdürülebilirlik performansını ölçmek isteyen yatırımcılar, paydaşlar ve düzenleyici kurumlar açısından referans standartları haline gelmiştir (OECD, 2022). Bu kapsamda çevresel boyut; enerji verimliliği, karbon salımı, kaynak yönetimi ve atık azaltımına, sosyal boyut; çalışan güvenliği, insan hakları, çeşitlilik, iş-yaşam dengesi ve toplumsal etkilere, yönetişim boyutu ise; etik yönetim, şeffaflık, hesap verebilirlik ve paydaş katılımına odaklanmaktadır.



Şekil 2.4: İSG ve Enerji Yönetim Sistemi'nin Endüstriyel Sürdrülebilirlik ve Kurumsal Sorumluluk ile İlişkisi

Yukarıdaki şekilde kurumsal sosyal sorumluluk yaklaşımının sürdürülebilir yönetim anlayışıyla nasıl bütünleştiği gösterilmektedir. Şekilde, işletmelerin topluma, çevreye ve paydaşlarına karşı etik sorumluluklarının, ESG (Çevresel–Sosyal–Yönetişim) boyutları üzerinden kurumsal düzeyde yapılandığı görülmektedir. ESG sistematiği içinde yer alan iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile enerji yönetimi, sürdürülebilirlik uygulamalarının temel bileşenleri olarak işletmelere etik üretim, paydaş güveni ve rekabet avantajı sağlamaktadır (Carroll, 1999; GRI, 2021; OECD, 2022).

2.1.6.Ulusal ve Uluslararası Uygulamalar ve Güncel Eğilimler

Sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği (İSG) anlayışının küresel ölçekte benimsenmesiyle birlikte, enerji verimliliği ile İSG'nin entegrasyonu hem politika düzeyinde hem de işletme uygulamalarında giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Uluslararası kuruluşlar, ulusal hükümetler ve sektör kuruluşları, bu bütüncül yaklaşımı teşvik eden stratejiler geliştirmekte ve standartlaştırılmış yönetim sistemlerini yaygınlaştırmaktadır (ILO, 2023; EU-OSHA, 2023; IEA, 2022).

2.1.6.1.Uluslararası Uygulamalar ve Eğilimler

Uluslararası düzeyde sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği (İSG) politikaları, çevre, enerji ve güvenlik yönetim sistemlerinin entegrasyonunu teşvik edecek şekilde gelişmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, hem küresel sürdürülebilirlik hedeflerini

desteklemekte hem de işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır (ILO, 2023; EU-OSHA, 2023; OECD, 2022). Bu çerçevede, SİSG yaklaşımını yönlendiren uluslararası çerçeve standartlar ve rehberler Tablo 2.2'de ve aşağıda özetlenmektedir.

i.Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO): ILO, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) çerçevesinde İSG'nin SKA 3 (Sağlık ve Refah), SKA 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve SKA 13 (İklim Eylemi) ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamaktadır. Enerji verimli iş yerlerinin yalnızca karbon ayak izini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda çalışan sağlığını ve iş güvenliğini de desteklediği belirtilmektedir (ILO, 2023).

ii.Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve İşyeri Sağlığı: WHO, işyeri sağlığını küresel halk sağlığının ayrılmaz bir parçası olarak ele almakta; çalışanların fiziksel ve zihinsel iyi oluşunu öncelikli bir hedef olarak belirlemektedir. Özellikle psikososyal riskler, iş stresi ve örgütsel destek sistemleri üzerine politika önerileri sunmaktadır (WHO, 2022).

iii.Avrupa Birliği (AB): AB, "İş Kazasız Çalışma Ortamı" gibi politikalarla İSG ile enerji verimliliğini aynı çatı altında ele almaktadır. AB'nin 2020'de başlattığı "İş Sağlığı ve Güvenliği Stratejisi 2021–2027" kapsamında, sürdürülebilir üretim süreçlerinde İSG'nin merkezi rolü vurgulanmış; enerji verimli teknolojilerin aynı zamanda iş güvenliğini arttırdığı kabul edilmiştir (EU-OSHA, 2023). Ayrıca, AB'nin "Yeşil Mutabakat" ve "Fit for 55" paketleri, karbon emisyonlarını azaltma hedefleriyle birlikte iş yerlerinde çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik kriterlerini zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2019; European Commission, 2021).

iv.Almanya ve İskandinav ülkeleri: Almanya, İsveç ve Danimarka gibi ülkeler, "Sıfır Kaza" ve "Yeşil Sanayi" politikalarıyla İSG ile enerji yönetimini yasal ve kurumsal düzeyde entegre etmiştir. Bu ülkelerde, özellikle büyük sanayi işletmeleri ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarını birlikte uygulamakta ve bu entegrasyonu yıllık sürdürülebilirlik raporlarında açıklamaktadır (EU-OSHA, 2023).

v. ABD'de İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA) ile Enerji Bakanlığı (DOE), sanayide "Enerji + Güvenlik = Verimlilik" yaklaşımını ortak projelerle desteklemektedir. DOE'nin "Daha İyi Tesisler Programı" kapsamında, enerji verimliliği yatırımı yapan işletmelere aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği konusunda da danışmanlık hizmeti sunulmaktadır (DOE, 2022).

vi.Japonya ve Güney Kore, "Çevre Dostu İş Güvenliği" veya "Yeşil İş Sağlığı ve Güvenliği" kavramlarıyla enerji tüketimi, atık yönetimi ve çalışan güvenliğini entegre eden yönetim modelleri geliştirmiştir (ILO, 2018; EU-OSHA, 2013).

Sürdürülebilir İSG'nin çerçevesi artık yalnızca ISO 45001 ile sınırlı değildir; enerji, çevre, sosyal sorumluluk ve psikososyal refah gibi alanlardaki tamamlayıcı standartlarla bütünleşik bir yönetim altyapısı haline gelmiştir (ISO, 2010, 2015, 2018, 2021; EU-OSHA, 2020).

Tablo 2.2: SİSG ile İlişkili Uluslararası Çerçeve Standartlar ve Rehberler

KURUM / ÜLKE	ODAK NOKTA	TEMEL VURGU / UYGULAMA ALANI
Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)	İSG'nin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile ilişkisi	SKA 3 (Sağlık ve Refah), SKA 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve SKA 13 (İklim Eylemi). Enerji verimli iş yerlerinin hem karbon azaltımı hem de çalışan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri.
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	İşyeri sağlığının halk sağlığına entegrasyonu	Çalışanların fiziksel ve zihinsel iyi oluşu; psikososyal riskler ve iş stresiyle mücadele. ISO 45003 standardı ile uyumlu politikalar.
Avrupa Birliği (AB)	İSG ve enerji verimliliğinin bütünleşik yönetimi	"Occupational Safety and Health Strategy 2021–2027" "Green Deal" ve "Fit for 55" politikaları kapsamında, enerji verimli teknolojilerin iş güvenliğini artırıcı rolü.
Almanya ve İskandinav Ülkeleri	Entegre yönetim sistemlerinin yasal düzeyde uygulanması	"Sıfır Kaza" ve "Yeşil Sanayi" politikaları. ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının birlikte uygulanması ve sürdürülebilirlik raporlaması.
Amerika Birleşik Devletleri (ABD)	Enerji ve güvenlik entegrasyonu	OSHA ve DOE iş birliğiyle yürütülen "Energy + Safety = Productivity" yaklaşımı. DOE'nin Better Plants Programı ile enerji verimliliği ve İSG danışmanlığının birleştirilmesi.
Japonya ve Güney Kore	"Eco-Safety" veya "Green OSH" modeli	Enerji tüketimi, atık yönetimi ve çalışan güvenliğini entegre eden sürdürülebilir yönetim uygulamaları.
Uluslararası Standartlar (ISO)	Entegre yönetim sistemleri	ISO 45001'in enerji (ISO 50001), çevre (ISO 14001) ve sosyal sorumluluk (ISO 26000) standartlarıyla bütünleşik biçimde uygulanması.

Uluslararası düzeyde sürdürülebilir İSG politikalarını şekillendiren bu çerçeve içinde, iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi açısından özellikle üç temel referans standart öne çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği yönetimi ile doğrudan ilgili ve enerji yönetimiyle bütünleşik bu standartlar aşağıda özetlenmiştir:

i. ISO 45001:2018 – İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri: Kuruluşların iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemesini sağlayan, proaktif, risk temelli ve sürekli iyileştirmeye dayalı uluslararası standarttır (ISO, 2018).

ii. ILO-OSH 2001 – İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri Rehberi: Uluslararası Çalışma Örgütü tarafından yayımlanmış, ISO 45001'in geliştirilmesinde temel alınan rehber niteliğindedir (ILO, 2001).

iii. ISO 50001:2018 – Enerji Yönetim Sistemleri: Enerji performansının sistematik olarak izlenmesini, ölçülmesini ve sürekli iyileştirilmesini hedefleyen; enerji verimliliği, maliyet tasarrufu ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir yönetim standardıdır (ISO, 2018).

2.1.6.2.Ulusal Uygulamalar ve Eğilimler

Ulusal ölçekte, Türkiye'de sürdürülebilirlik politikaları son yıllarda hem enerji yönetimi hem de iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanlarında önemli kurumsal düzenlemelerle desteklenmektedir. Bu gelişmeler, uluslararası standartlara uyum sağlama ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde etme çabalarının bir yansımasıdır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2023). Tablo 2.3, Türkiye'de sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimi entegrasyonuna yönelik yasal, kurumsal ve stratejik gelişmeleri sistematik biçimde özetlemektedir.

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, İSG uygulamalarını işletmeler için yasal zorunluluk haline getirerek risk değerlendirmesi, çalışan eğitimi, acil durum planlaması ve önleyici yaklaşımların benimsenmesini hedeflemiş; böylece İSG'nin reaktif bir yükümlülükten proaktif bir yönetim sistemine dönüşmesinde temel bir dönüm noktası olmuştur (Türkiye Büyük Millet Meclisi, 2012). Bu yasal çerçeveyi destekler şekilde, ISO 45001 standardı özellikle enerji, inşaat, metal ve otomotiv gibi yüksek riskli sektörlerde hızla benimsenmiş; Türk Standartları Enstitüsü (TSE) verilerine göre 2023 itibarıyla 12.500'ün üzerinde ISO 45001 sertifikası düzenlenmiştir (TSE, 2024).

Enerji boyutunda, Türkiye'nin 2023–2035 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP), enerji yoğun sektörlerde (metal, kimya, tekstil vb.) enerji yönetimi ile İSG uygulamalarının entegrasyonunu stratejik bir hedef olarak tanımlamaktadır (Cumhurbaşkanlığı İklim ve Enerji Ofisi, 2023). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen "Yeşil Fabrika Destek Programı" ise enerji verimliliği yatırımları yapan işletmelere mali destek sağlamakta ve bu yatırımların İSG iyileştirmeleriyle birlikte ele alınmasını teşvik etmektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Bununla birlikte, uygulamada İSG danışmanlığının çoğu zaman enerji yatırımlarına kıyasla ikincil planda kaldığı görülmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİKB) ile Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) koordinasyonunda 2023 yılında başlatılan "Entegre Yönetim Sistemleri Pilot Projesi", organize sanayi bölgelerinde ISO 50001 ve ISO 45001 standartlarının birlikte uygulanmasını teşvik etmekte; seçilen 15 pilot işletmeye teknik destek sunarak entegre denetim süreçlerini test etmektedir (ÇŞİKB & ÇSGB, 2023). Bu proje, İSG ve enerji yönetimi entegrasyonunun ulusal düzeyde kurumsal olarak da gündeme alındığını göstermektedir.

Diğer yandan TSE, ISO 50001 ve ISO 45001 standartlarının entegrasyonuna yönelik "Entegre Yönetim Sistemleri Rehberi"ni yayımlayarak, işletmelerin PUKÖ döngüsü temelinde ortak süreçler, ortak dokümantasyon ve birleşik iç denetim yaklaşımlarını daha sistematik biçimde kurgulamalarına katkı sağlamaktadır (TSE, 2022).

Türkiye'de sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimi entegrasyonunun yaygınlaşmasının önünde bazı yapısal engeller bulunmaktadır. Özellikle KOBİ'lerde teknik uzmanlık ve finansal kaynak yetersizliği, yönetim sistemlerinin çoğunlukla birbirinden bağımsız ve farklı danışmanlık süreçleriyle yürütülmesi, entegrasyonu gönüllülük esasına dayalı ve sınırlı sayıda pilot uygulama ile kısıtlı kılmaktadır (KOSGEB, 2023; TSE, 2022).

Tablo 2.3: SİSG ve Enerji Yönetimi Alanındaki Ulusal Uygulamalar

UYGULAMA / POLİTİKA	İLGİLİ KURUM / YIL	ODAK ALANI	ANA İÇERİK / AMAÇ	KATKI VE ETKİ	KAYNAK
6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu	Türkiye Büyük Millet Meclisi (2012)	İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG)	Risk değerlendirmesi, çalışan eğitimi, acil durum planlaması ve önleyici yaklaşımların yasal zorunluluk haline getirilmesi	İSG'nin reaktif bir zorunluluktan proaktif yönetim sistemine dönüşmesini sağlamıştır	TBMM, 2012
ISO 45001 Standardının Yaygınlaşması	Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2024)	İSG Yönetim Sistemi	Enerji, metal, inşaat ve otomotiv sektörlerinde ISO 45001 belgelendirmesinin yaygınlaşması	12.500+ işletme sertifikalandırılmış; sürdürülebilir İSG kültürü güçlenmiştir	TSE, 2024
Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) & Yeşil Fabrika Programı	Cumhurbaşkanlığı İklim ve Enerji Ofisi & Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023)	Enerji Yönetimi – İSG Entegrasyonu	2023–2035 hedeflerinde enerji yoğun sektörlerde İSG ile enerji yönetiminin entegrasyonu	Enerji verimliliği ve İSG uygulamalarının paralel gelişimini hedeflemiş, ancak İSG ikincil kalmıştır	Cumhurbaşkanlığı İklim ve Enerji Ofisi, 2023; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023
Entegre Yönetim Sistemleri Pilot Projesi	ÇŞİKB & ÇSGB (2023)	ISO 50001 & ISO 45001 Entegrasyonu	15 pilot sanayi işletmesinde entegre denetim süreçlerinin uygulanması ve test edilmesi	Entegre yönetim modelinin uygulanabilirliğini ortaya koymuştur	ÇŞİKB & ÇSGB, 2023
TSE Entegre Yönetim Sistemleri Rehberi	Türk Standartları Enstitüsü (2022)	Entegre Yönetim Sistemleri (PUKÖ döngüsü)	ISO 50001 ve ISO 45001'in ortak süreç, dokümantasyon ve denetim yapısına dayalı entegrasyon kılavuzu	İşletmelere uygulama kolaylığı sağlamış, entegre yaklaşımın temellerini güçlendirmiştir	TSE, 2022
Uluslararası Uygulamalarla Karşılaştırma	AB, Almanya, ABD	Politika ve Denetim Uygulamaları	AB'de ESG raporlarında zorunlu göstergeler; Almanya'da tek denetim; ABD'de DOE teknik destekleri	Türkiye, gönüllü pilot düzeyinde kalmış; teşvik ve denetim altyapısı gelişim aşamasındadır	AB Komisyonu, DOE, TSE, 2024
Başlıca Engeller	KOSGEB, İSGİGM, EİE	KOBİ Kapasitesi ve Denetim Altyapısı	Kaynak yetersizliği, sistemlerin bağımsız yürütülmesi, entegre denetim eksikliği	Entegrasyonun yaygınlaşmasını sınırlandırmakta; kurumsal koordinasyon ihtiyacını artırmaktadır	KOSGEB, 2023; İSGİGM, 2024

Türkiye, uluslararası gelişmelere kıyasla bu alanda görece gecikmeli ancak ivme kazanan bir süreç izlemektedir. AB ülkelerinde entegrasyon çoğu zaman yasal zorunluluklar veya güçlü mali teşviklerle desteklenirken, Türkiye'de yaklaşım hâlen gönüllü projeler ve sektörel kılavuzlar düzeyinde kalmaktadır. Örneğin, AB'de büyük işletmelerin ESG raporlarında İSG ve enerji verimliliği göstergeleri zorunlu olarak yer alırken, Türkiye'de bu uygulama büyük ölçüde BIST 100 şirketleriyle sınırlı kalmaktadır. Almanya'da sanayi tesislerinde ISO 45001 ve ISO 50001 tek denetim altında birlikte değerlendirilirken, Türkiye'de bu sistemler genellikle ayrı sertifikasyon süreçleriyle yürütülmektedir. Benzer şekilde, ABD'de DOE gibi kurumlar enerji verimliliği programları kapsamında işletmelere doğrudan teknik destek sunarken, Türkiye'de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın "Yeşil Fabrika" destekleri ağırlıklı olarak yatırım maliyetine odaklanmakta, İSG entegrasyonu ise ikincil bir unsur olarak kalmaktadır. Bu farklar, Türkiye'nin sürdürülebilir İSG alanında kurumsal koordinasyon, teşvik mekanizmaları ve entegre denetim altyapısı bakımından uluslararası iyi uygulamalardan yararlanmasının önemine işaret etmektedir. Bu çerçevede, Türkiye'de sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimi entegrasyonunun yaygınlaşmasının önünde öne çıkan başlıca engeller aşağıda özetlenmektedir:

i. KOBİ'lerde kaynak ve bilgi eksikliği: Küçük işletmelerde teknik uzmanlık ve bütçe yetersizliği, entegre yönetim sistemlerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (KOSGEB, 2023).

ii. Yönetim sistemlerinin bağımsız uygulanma eğilimi: ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 ve ISO 50001 çoğunlukla farklı danışmanlar, ayrı süreçler ve birbirinden kopuk dokümantasyon yapıları ile yürütülmektedir.

iii. Entegre denetim mekanizmalarının sınırlılığı: Resmi denetim kurumları halen ağırlıklı olarak ayrı ayrı denetim yapmakta; ortak denetim protokolleri ve entegre denetim pratikleri henüz yaygın bir uygulama alanı bulamamıştır (TSE, 2022).

2.2.Yönetim Sistemleri: ISO 45001 ve ISO 50001 Bağlamında Kavramsal Çerçeve

2.2.1. Yönetim Sistemlerinin Evrimi ve Kurumsal Yönetim Yaklaşımları

Yönetim sistemi, bir organizasyonun politika ve hedeflerine ulaşmasını sağlamak amacıyla süreçlerin, prosedürlerin ve kaynakların planlanması, uygulanması, izlenmesi ve sürekli iyileştirilmesi için oluşturulan yapılandırılmış bir çerçevedir (ISO, 2015). 1950'lerde W. Edwards Deming'in Japonya'da yaygınlaştırdığı PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al) döngüsü, yönetim sistemlerinin temel felsefesini oluşturmuş; bu yaklaşım 1987 yılında yayımlanan ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi standardıyla uluslararası düzeyde somut bir çerçeveye kavuşmuştur (Deming, 1986; Powell, 1995).

ISO 9001'in başarısı, yönetim sistemi anlayışının diğer kurumsal alanlara genişlemesine öncülük etmiştir. 1990'larda artan çevresel farkındalıkla birlikte ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi (1996) geliştirilmiş; 2000'li yıllarda iş sağlığı ve güvenliği (OHSAS 18001, daha sonra ISO 45001) ile enerji yönetimi (ISO 50001, 2011) alanlarında benzer sistematik standartlar oluşturulmuştur. Bu evrim, yönetim sistemlerinin kalitesiyle beraber kaynak verimliliği, çevresel etki, enerji performansı

ve çalışan refahını da kapsayan çok boyutlu bir sürdürülebilirlik anlayışına dönüşmesini sağlamıştır (Zeng et al., 2011).

Günümüzde yönetim sistemleri, yalnızca mevzuata uyum sağlamaya yönelik teknik araçlar olmaktan çıkarak; sürdürülebilir rekabet avantajı, şeffaflık, veriye dayalı karar verme ve kurumsal değer yaratma açısından stratejik birer yönetim mekanizması olarak konumlanmaktadır (Bernstein & Hahn, 2020). Bu dönüşüm, özellikle enerji yönetimi ile insan kaynaklı risklerin eşzamanlı ve bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirmekte; bu durum da entegre yönetim sistemleri yaklaşımının gelişimini hızlandırmaktadır (Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017).

2.2.2. ISO Standartlarının Gelişimi ve Yapısal Temelleri

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), 1947 yılında uluslararası ticareti kolaylaştırmak, ürün ve hizmet kalitesini arttırmak, güvenlik ve verimliliği desteklemek amacıyla kurulmuştur. Kuruluşundan bu yana ISO, sektörler arası uyum sağlayacak ortak bir yönetim dili geliştirmeyi temel misyonu olarak benimsemiştir. Bu vizyon, özellikle 2012 yılında "Annex SL" adlı Yüksek Seviye Yapı modelinin geliştirilmesiyle somut bir çerçeve kazanmış olup, bu yapı 2019'da resmen yayımlanan "ISO/IEC Direktifleri" ile zorunlu hale gelmiştir (ISO, 2019).

Yüksek Seviye Yapı, tüm yeni ve revize edilen ISO yönetim sistemi standartlarında ortak yapı, terminoloji ve Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsünü zorunlu kılmaktadır (ISO, 2019). Bu standartlar, on temel bölümden oluşan aynı mimari çerçeveye sahiptir: öncelikle kapsam, ardından atıf yapılan standartlar ve terimler ile tanımlar gelir; bu temel tanımlamaların ardından sistemin özüne inilerek kuruluşun bağlamı, liderlik, planlama, destek, operasyon, performans değerlendirmesi ve son olarak iyileştirme bölümleri sıralanır. Bu tutarlı yapı, farklı yönetim sistemlerinin karşılaştırılabilir, uyumlu ve entegre uygulanabilir olmasını sağlamaktadır (BSI, 2015).

ISO 45001:2018 (İş Sağlığı ve Güvenliği) ve ISO 50001:2018 (Enerji Yönetimi) standartları da bu ortak yapıya tam uyumlu olarak geliştirilmiştir (ISO, 2018). Bu uyum sayesinde kuruluşlar, farklı yönetim sistemlerini ortak süreçler (örneğin risk değerlendirmesi, iç denetim, yönetim gözden geçirme) üzerinden tek çatı altında yönetebilmekte; çapraz referanslama, birleşik tetkik ve tek politika dokümanı oluşturma imkanı kazanmaktadır (Tutko & Woźniak, 2023).

Yüksek Seviye Yapı Modeli'nin temel ilkeleri şunlardır (ISO, 2019; LRQA, 2024):

i. Süreç yaklaşımı: Faaliyetlerin girdi–süreç–çıktı zincirleri olarak yönetilmesi,

ii. Risk temelli düşünce: Tehditlerin yanı sıra fırsatların da değerlendirilmesi,

iii. Liderlik ve üst yönetim taahhüdü: Sistemin etkinliğinin temel dayanağı,

iv. Çalışan katılımı: Karar süreçlerine etkin katılım ve yetkilendirme,

v. Veriye dayalı karar verme: Performansın objektif göstergelerle izlenmesi,

vi. Sürekli iyileştirme: Performansta zaman içinde ilerleme hedeflenmesi.

Bu yapısal uyum, standartların anlaşılmasını kolaylaştırmakta ve entegre yönetim sistemleri için teknik ve dokümantasyonel altyapı sunmaktadır. Dokümantasyon gereksinimleri sadeleştirilmiş, sonuç odaklılık ve gösterge temelli değerlendirme ön plana çıkarılmıştır (BSI, 2015).

ISO'nun standart geliştirme süreci, teknik komiteler aracılığıyla yürütülmektedir. Örneğin, ISO/TC 301 (Enerji Yönetimi) ve ISO/PC 283 (İSG Yönetim Sistemleri), hem kendi aralarında hem de ISO/TC 207 (Çevre Yönetimi) ile koordineli çalışarak "sürdürülebilirlik" odaklı ortak yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu iş birliği, ISO standartlarının teknik, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu olmasını sağlamaktadır (ISO, 2023a; ISO, 2023b; ISO, 2023c).

2.2.3.ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi

Enerji, modern işletmeler için maliyetler, rekabet gücü ve çevresel etkiler üzerinde doğrudan etkisi olan stratejik bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Tanaka, 2015; IEA, 2022). Reaktif, parçalı veya proje bazlı enerji yönetim yaklaşımlarının, sürdürülebilir ve kalıcı verimlilik kazanımları sağlama konusunda yetersiz kaldığı; bu nedenle sistematik ve standardize edilmiş enerji yönetim çerçevelerine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır (McKane et al., 2017). Bu zorluğa karşılık olarak 2011 yılında yayımlanan ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı, enerji yönetimini sistematik, ölçülebilir ve sürekli iyileştirilebilir bir kurumsal süreç haline getirmeyi amaçlamıştır (ISO, 2011; UNIDO, 2011). Standardın 2018'de yayımlanan revize versiyonu ise, ISO'nun Yüksek Seviye Yapı çerçevesine uygun olarak yeniden düzenlenerek ISO 9001, ISO 14001 ve ISO 45001 gibi diğer yönetim sistemleriyle yapısal uyum sağlamıştır (ISO, 2018; Tanaka, 2015).

ISO 50001, kuruluşların enerji performanslarını planlamasını, uygulamasını, izlemesini ve sürekli iyileştirmesini sağlayan, PUKÖ döngüsüne dayalı yapılandırılmış bir yönetim sistemidir. Standardın temel amacı, enerji verimliliğini arttırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak, sera gazı emisyonlarını minimize etmek ve enerjiyle ilişkili riskleri yönetmenin yanında bu süreçlerin veriye dayalı, stratejik ve üst yönetim liderliğinde yürütülmesini sağlamaktır (IEA, 2022).

Bu çerçevede, kuruluşlar enerji incelemesi yaparak tüketim profillerini analiz etmekte; enerji baz çizgisi (EnB) ve enerji performans göstergeleri (EnPI) tanımlayarak iyileştirme potansiyelini objektif şekilde ölçmektedirler. EnPI'lar (örneğin kWh/ton ürün, GJ/m²), enerji tüketiminin faaliyet hacmiyle normalize edilmesini sağlayarak zaman içindeki performans değişimini izlenebilir hale getirmektedir (ISO, 2018). Bu yaklaşım, enerji yönetimini teknik önlemlerle sınırlı olmaktan çıkararak; organizasyonel kültür, çalışan katılımı ve liderlik desteği ile güçlendirilen stratejik bir yönetim sürecine dönüştürmektedir.ISO 50001'in işletmelere çok boyutlu faydaları bulunmaktadır (Jansson et al., 2019):

i. Ekonomik açıdan: enerji maliyetlerinde azalma ve rekabet gücünde artış,

ii. Çevresel açıdan: karbon ayak izinin azalması ve kaynak verimliliğinin artması,

iii. Kurumsal açıdan: enerji bilincinin yerleşmesi, çalışan katılımının güçlenmesi ve sürdürülebilirlik kültürünün gelişmesi.

2.2.3.1. ISO 50001 Standardının Yapısı

2018 versiyonunda standardın yapısı, ISO'nun Yüksek Seviye Yapı modeline uygun olarak 10 ana bölümden oluşmaktadır:

Madde-1: Kapsam:

ISO 50001 standardının birinci maddesi, standardın uygulanabilirlik sınırlarını ve kapsadığı kuruluş türlerini belirlemektedir. Bu maddeye göre ISO 50001, enerji kullanan ya da enerji performansının etkili olduğu her ölçekteki kuruluşa uygulanabilir bir standarttır (ISO, 2018). Standardın amacı, kuruluşların faaliyet alanı, coğrafi konumu veya enerji yoğunluğu düzeyine bakılmaksızın enerji performanslarını iyileştirmek için sistematik bir yönetim çerçevesi sağlamaktır. Madde 1, ISO 50001'in büyük sanayi kuruluşlarının yanı sıra hizmet sektörü, kamu kurumları, eğitim kurumları, sağlık kuruluşları ve küçük-orta ölçekli işletmelere (KOBİ) de uygulanabileceğini vurgulamaktadır (ISO, 2018; McKane et al., 2017).

Madde-2: Atıf yapılan standartlar:

İlgili yönetim sistemi standardının uygulanması sırasında başvurulması zorunlu olan, aynı veya başka teknik komitelerce yayımlanmış diğer ISO (ya da eşdeğer) standartlarını gösteren bu madde, yer verdiği atıf standartlarla birlikte esas standardın ayrılmaz bir parçasını oluşturmakta ve hükümlerinin tam ve doğru şekilde uygulanabilmesi için "vazgeçilmez referans" niteliği taşımaktadır. ISO 50001:2018'in Madde 2'si ise "Bu doküman herhangi bir normatif atıf içermemektedir" ifadesiyle son bulmakta olup, enerji yönetim sistemi standardının,

belirli başka normatif dokümanlara bağlı olmaksızın, tek başına uygulanabilir bir çerçeve sunduğunu göstermektedir (ISO, 2018; Zeng et al., 2011).

Madde-3: Terimler ve tanımlar:

ISO 50001'in üçüncü maddesi, standardın uygulanmasında ortak bir dil ve kavramsal bütünlük sağlamak amacıyla kullanılan temel terimlerin tanımlarını içermektedir. Bu madde, enerji yönetiminde sıklıkla farklı anlamlarda kullanılan kavramları sistematik biçimde standartlaştırarak, ölçüm, analiz ve raporlama süreçlerinde kavramsal tutarlılık oluşturmaktadır (ISO, 2018).Enerji yönetimi uygulamalarında en önemli üç kavram bu maddede tanımlanmıştır:

i. Enerji Performansı : Bir kuruluşun enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi düzeylerinin birlikte ortaya koyduğu genel durumu ifade eder. Enerji performansı, enerji tasarrufu miktarı ile enerji kaynaklarının ne kadar etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanıldığını da kapsamaktadır. Bu kavram, sistemin genel enerji başarısını ölçen çatı göstergedir (da Silva Gonçalves & dos Santos, 2019).

ii. Enerji Baz Çizgisi (EnB) : Enerji performansındaki değişimlerin izlenmesi ve karşılaştırılmasında kullanılan referans seviyesidir. EnB, geçmiş performans verileri, üretim hacimleri, iklim koşulları veya operasyonel değişkenler dikkate alınarak oluşturulur. Böylece işletmenin enerji performansında iyileşme veya gerileme olup olmadığı objektif biçimde değerlendirilebilir (ISO, 2018).

iii. Enerji Performans Göstergesi (EnPI) : Enerji performansındaki değişimleri ölçmek, analiz etmek ve iyileştirme etkilerini doğrulamak amacıyla kullanılan nicel göstergelerdir; "kWh/ton üretim", "MJ/m² bina alanı" veya "CO_2/çalışan" gibi oranlar EnPI'ye örnektir. EnPI'ler, sürekli iyileştirme döngüsünde hem hedef belirleme hem de performans izleme aracı olarak kullanılmaktadır (IEA, 2022).

Bu üç kavram bir bütün olarak enerji yönetiminin temel ölçüm sistemini oluşturmaktadır: EnB geçmişi, EnPI mevcut durumu, enerji performansı ise genel

eğilimi temsil etmektedir. Madde 3, ayrıca “enerji verimliliği”, “enerji kullanımı”, “enerji tüketimi”, “enerji yönetim sistemi” ve “enerji gözden geçirmesi” gibi terimlerin de tanımlarını içermektedir. Bu tanımlar, enerji yönetim sisteminin hem teknik hem de yönetsel boyutlarını açıklığa kavuşturarak, standardın ölçülebilirlik ve izlenebilirlik esaslarını desteklemektedir (ISO, 2018).

Madde-4: Kuruluşun Bağlamı:

ISO 50001’in dördüncü maddesi, enerji yönetim sisteminin etkin biçimde tasarlanabilmesi için kuruluşun faaliyetlerini etkileyen iç ve dış koşulların sistematik biçimde analiz edilmesini öngörmektedir. Bu madde, enerji yönetimi uygulamalarının örgütsel stratejiyle uyumlu, paydaş odaklı ve çevresel faktörlerle entegre biçimde yürütülmesini amaçlamaktadır (ISO, 2018). Kuruluşun bağlamının anlaşılması, iki temel boyutta ele alınmaktadır:

i. İç Bağlam: Kuruluşun enerji yönetimi kapasitesini etkileyen içsel unsurları kapsar. Bu unsurlar arasında mevcut enerji altyapısı, teknoloji seviyesi, operasyonel süreçler, çalışan yetkinliği, kurum kültürü, bilgi sistemleri ve mali kaynaklar yer alır. İç bağlamın doğru analiz edilmesi, enerji yönetim sisteminin hangi düzeyde uygulanabileceğini ve hangi alanlarda iyileştirme potansiyeli bulunduğunu belirler.

ii. Dış Bağlam: Enerji performansını doğrudan veya dolaylı biçimde etkileyen çevresel, yasal, ekonomik ve toplumsal faktörleri içerir. Bu kapsamda enerji mevzuatı, karbon vergileri, piyasa koşulları, iklim politikaları, tedarik zinciri yapısı ve paydaş beklentileri gibi unsurlar değerlendirilir (IEA, 2022). Dış bağlam analizi, kuruluşun enerji yönetimi stratejisinin ulusal ve uluslararası sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmasını sağlar.

Madde 4 ayrıca ilgili tarafların ve onların beklentilerinin belirlenmesini zorunlu kılar. İlgili taraflar arasında yöneticiler, çalışanlar, tedarikçiler, müşteriler, yatırımcılar, yasal otoriteler ve yerel topluluklar yer almaktadır. Her paydaşın enerji

performansına ilişkin beklentileri (örneğin maliyet düşürme, çevresel sorumluluk, iş güvenliği) dikkate alınarak yönetim sistemi kapsamı tanımlanır (ISO, 2018).

Madde-5: Liderlik:

ISO 50001'in beşinci maddesi, enerji yönetim sisteminin etkinliğini doğrudan belirleyen liderlik ve yönetim taahhüdü boyutunu tanımlamaktadır. Bu maddeye göre, enerji yönetimi teknik bir süreç olmanın ötesinde; üst yönetimin stratejik vizyonu, politika yönlendirmesi ve çalışan katılımı ile sürdürülebilir hale gelen bütünsel bir yönetim fonksiyonudur (ISO, 2018).

Üst yönetimin taahhüdü, standardın merkezinde yer almaktadır. Kuruluşun en üst düzey yönetimi, enerji performansının iyileştirilmesine yönelik politikaları benimsemek, gerekli kaynakları sağlamak ve bu politikaların tüm örgüt düzeyinde uygulanmasını güvence altına almakla yükümlüdür. Yönetim; enerji yönetimi hedeflerini kurumsal stratejiyle ilişkilendirmeli, performans göstergelerini izlemeli ve sistemin sürekliliğini sağlamalıdır. Madde 5, bu kapsamda üç temel liderlik sorumluluğunu öne çıkarmaktadır:

i. Enerji Politikasının Oluşturulması: Üst yönetim, kuruluşun enerji verimliliği, yasal uyum ve sürekli iyileştirme hedeflerini yansıtan yazılı bir enerji politikası oluşturmalıdır. Bu politika, tüm çalışanlara ve paydaşlara açıkça iletilmeli ve kurum kültürünün bir parçası haline getirilmelidir. Enerji politikası; "kaynakların verimli kullanımı, çevresel etki azaltımı ve sürekli gelişim" ilkelerine dayanır (ISO, 2018).

ii. Roller, Sorumluluklar ve Yetkiler: Kuruluş içinde enerji yönetimiyle ilgili roller, sorumluluklar ve yetkiler net biçimde tanımlanmalıdır. Bu kapsamda genellikle bir Enerji Yönetim Temsilcisi atanır. Bu kişi, sistemin kurulması, uygulanması, izlenmesi ve raporlanmasından sorumlu olur (McKane et al., 2017). Rol tanımları sayesinde hem hesap verebilirlik hem de koordinasyon sağlanır.

iii. Çalışan Katılımı ve Farkındalık: ISO 50001, enerji yönetiminin başarısında çalışan katılımını kritik bir unsur olarak görür. Üst yönetim, çalışanların enerji tasarrufu fırsatlarını belirleme, iyileştirme önerileri sunma ve uygulamalara aktif katılımını teşvik etmelidir. Bu durum, teknik verimliliğin yanında, örgütsel aidiyet ve sürdürülebilirlik kültürünü de güçlendirmektedir (IEA, 2022).

Madde-6: Planlama:

Bu madde, enerji performansının sürekli iyileştirilmesi amacıyla risk ve fırsatların belirlenmesi, yasal ve diğer yükümlülüklerin değerlendirilmesi, enerji gözden geçirmesinin yapılması, enerji temel çizgisinin (EnB) ve enerji performans göstergelerinin (EnPI) oluşturulması ile hedeflerin ve eylem planlarının tanımlanmasını kapsamaktadır (ISO, 2018). Planlama süreci, kuruluşun enerji performansını etkileyen içsel ve dışsal faktörlerin sistematik biçimde analiz edilmesiyle başlar. Bu analiz kapsamında şu adımlar izlenir:

i. Risk ve Fırsatların Değerlendirilmesi: Enerjiyle ilişkili riskler (örneğin fiyat dalgalanmaları, ekipman arızaları, yasal değişiklikler) ve fırsatlar (örneğin enerji verimliliği teknolojileri, devlet teşvikleri, karbon ticareti mekanizmaları) belirlenir. Bu değerlendirme, enerji yönetim sisteminin hem dayanıklılığını hem de rekabet gücünü arttırır (ISO, 2018; IEA, 2022).

ii. Yasal ve Diğer Şartların Belirlenmesi: Kuruluş, enerji yönetimiyle ilgili ulusal mevzuat, çevre düzenlemeleri, sektör standartları ve gönüllü taahhütleri gözden geçirerek uygunluk yükümlülüklerini tanımlar. Bu gereklilikler, enerji performans hedeflerinin belirlenmesinde referans alınır (ISO, 2018; IEA, 2022).

iii. Enerji Gözden Geçirmesi: Kuruluş, enerji tüketimi, enerji kullanımı ve enerji verimliliğini etkileyen süreç, ekipman ve faaliyetleri analiz eder; enerji kullanımında en yüksek etkisi olan alanları belirlemeye yardımcı olur (McKane et al., 2017).

iv. Enerji Baz Çizgisinin (EnBS) Oluşturulması: Enerji baz çizgisi, kuruluşun enerji performansının ölçüleceği referans noktasıdır. Tarihsel enerji verileri, üretim hacmi ve çevresel koşullar dikkate alınarak oluşturulur. EnB, performans değişimlerinin objektif olarak izlenmesini sağlar (ISO, 2018).

v. Enerji Performans Göstergelerinin (EnPI) Tanımlanması: Enerji Performans Göstergeleri, enerji performansındaki gelişimin izlenmesini sağlayan ölçülebilir göstergelerdir (IEA, 2022).

vi. Enerji Hedefleri ve Eylem Planlarının Oluşturulması: Elde edilen veriler doğrultusunda, kuruluşun enerji politikasıyla uyumlu ölçülebilir enerji hedefleri belirlenir. Bu hedefler, sorumlu birimlerin, zaman çizelgelerinin ve izleme yöntemlerinin tanımlandığı eylem planlarıyla desteklenir. Planların başarısı periyodik olarak gözden geçirilir ve iyileştirme döngüsüne dahil edilir (ISO, 2018; McKane et al., 2017; IEA, 2022).

Bu madde, enerji yönetimini teknik bir kontrol mekanizması olmaktan çıkarıp, veriye dayalı, stratejik bir karar destek sistemi haline getirir. Böylece kuruluş, hem enerji verimliliği hem de iş sağlığı ve güvenliği gibi diğer performans alanlarında sürdürülebilir bir yönetim kapasitesi kazanır (ISO, 2018; Gerek & Aydın, 2025).

Madde-7: Destek:

ISO 50001'in yedinci maddesi, enerji yönetim sisteminin etkin biçimde uygulanabilmesi ve sürdürülebilmesi için gerekli olan kaynak, yetkinlik, farkındalık, iletişim ve dokümantasyon unsurlarını kapsamaktadır. Bu madde, sistemin teknik yönünü destekleyen insan, bilgi ve organizasyonel altyapının oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır (ISO, 2018). Bu madde, enerji yönetim sisteminin yalnızca teknik bir yapı olmasının ötesinde, insan odaklı bir öğrenme ve iletişim sistemi olduğunu vurgulamaktadır. Yetkinlik, farkındalık ve iletişim kültürü geliştirilmeden, hiçbir enerji yönetim sistemi sürdürülebilir biçimde işlemez. Bu nedenle ISO 50001'in 7. maddesi, sistemin etkinliğini destekleyen beş temel unsuru – kaynakların sağlanması,

yetkinlik, farkındalık, iletişim ve dokümante edilmiş bilgi – tanımlamakta; aşağıdaki alt başlıklarda bu destek boyutları açıklanmaktadır.

i. Kaynakların Sağlanması: Üst yönetim, enerji yönetim sisteminin yürütülmesi için gerekli insan kaynağını, finansal olanakları, teknik araçları ve bilgi sistemlerini temin etmelidir. Kaynakların sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, sistemin etkinliğini doğrudan belirler (ISO, 2018; McKane et al., 2017).

ii. Yetkinlik : Enerjiyle ilgili görevleri yerine getiren personelin uygun eğitim, bilgi ve deneyime sahip olması gerekir. Kuruluş, çalışan yetkinliklerini düzenli olarak değerlendirir, eksiklikleri belirler ve eğitim programlarıyla giderir. Özellikle enerji yöneticilerinin teknik bilgi düzeyi, sistemin başarısında kritik öneme sahiptir (McKane et al., 2017).

iii. Farkındalık: Tüm çalışanların enerji politikası, enerji hedefleri ve kişisel katkılarının önemi konusunda bilinçlendirilmesi gereklidir. Farkındalık çalışmaları; enerji tasarrufu kültürünün yerleşmesini ve çalışanların gönüllü katılımını teşvik eder (IEA, 2022).

iv. İletişim : Kuruluş, enerji performansına ilişkin bilgilerin iç ve dış paydaşlarla doğru, açık ve zamanında paylaşılmasını sağlayan iletişim süreçleri oluşturmalıdır. Bu kapsamda enerji hedefleri, performans raporları ve iyileştirme sonuçları periyodik olarak duyurulur (ISO, 2018).

v. Dokümante Edilmiş Bilgi : Enerji yönetim sistemiyle ilgili tüm süreçler, prosedürler, kayıtlar ve raporlar dokümante edilmelidir. Bu belgeler hem iç denetimlerde hem de dış sertifikasyon süreçlerinde kanıt niteliği taşır. Dokümantasyonun güncelliği ve erişilebilirliği, sistemin izlenebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır (ISO, 2018).

Madde-8: Operasyon:

ISO 50001'in sekizinci maddesi, enerji yönetim sisteminin günlük faaliyetlerle entegrasyonunu sağlayan operasyonel planlama, kontrol ve tasarım süreçlerini düzenlemektedir. Bu madde, enerji performansının planlama aşaması da dahil olmak üzere, operasyonlarının her adımında sürdürülebilir biçimde yönetilmesini amaçlamaktadır. Operasyonel planlama ve kontrol, tasarım, satın alma ve acil durum hazırlığı süreçlerine enerji verimliliği kriterlerinin entegre edilmesi, sistemin kurumsal düzeyde sürdürülebilirliğini güvence altına alır (ISO, 2018).

i. Operasyonel Planlama ve Kontrol: Kuruluş, enerji performansını etkileyen faaliyet, süreç ve ekipmanları tanımlayarak bunların etkin kontrolünü sağlamalıdır. Bu kapsamda enerji yoğun süreçler için operasyonel kriterler belirlenir, çalışma talimatları oluşturulur ve enerji verimliliğini korumak amacıyla bakım planları hazırlanır (ISO, 2018; McKane et al., 2017; Tanaka, 2015).

ii. Tasarım : Yeni tesis, sistem veya ekipman tasarımı yapılırken enerji verimliliği kriterleri dikkate alınmalıdır. Tasarım süreci, enerji performansını iyileştirecek teknolojik seçeneklerin değerlendirilmesini ve çevresel etkilerin azaltılmasını kapsar. Bu yaklaşım, "enerji verimli tasarım" ilkesini kurumsal bir standart haline getirir.

iii. Satın Alma : Enerjiyle ilişkili ürün ve hizmetlerin temininde, tedarikçilerin enerji verimliliği performansları dikkate alınmalıdır. Kuruluş, enerji tüketimi üzerinde önemli etkisi olan ekipmanlar için teknik spesifikasyonlar belirleyerek tedarik sürecine entegre eder. Böylece enerji yönetimi, yalnızca işletme içinde değil, tedarik zinciri düzeyinde de sürdürülebilir hale gelir (IEA, 2022).

iv. Acil Durum Hazırlığı: Enerjiyle ilgili operasyonlarda, olağanüstü durumlar (örneğin ekipman arızası, enerji kesintisi) nedeniyle enerji performansının olumsuz etkilenmemesi için önleyici tedbirler ve eylem planları oluşturulur. Bu süreç, sistemin esnekliğini ve sürekliliğini destekler (ISO, 2018; McKane et al., 2017).

Madde-9: Performans değerlendirmesi:

ISO 50001'in dokuzuncu maddesi, enerji yönetim sisteminin etkinliğini değerlendirmeye yönelik izleme, ölçme, analiz, iç denetim ve yönetimin gözden geçirmesi süreçlerini tanımlamaktadır. Bu madde, enerji yönetiminin sürekli iyileştirme döngüsünü veri temelli biçimde sürdürmesini sağlar (ISO, 2018).

i. İzleme, Ölçme ve Analiz: Kuruluş, enerji performansını düzenli aralıklarla izlemeli, ölçmeli ve analiz etmelidir. Ölçümler, belirlenen Enerji Performans Göstergeleri (EnPI) ve Enerji Baz Çizgisi (EnB) ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Bu süreç, enerji verimliliğinde sağlanan gelişmeleri nesnel biçimde ortaya koyar. Ölçüm sistemleri; sayaçlar, otomasyon yazılımları veya enerji izleme platformları gibi araçlarla desteklenebilir (ISO, 2018; McKane et al., 2017; IEA, 2022).

ii. İç Denetim: Kuruluş, enerji yönetim sisteminin ISO 50001 gereklerine uygunluğunu doğrulamak ve sistemin etkinliğini değerlendirmek amacıyla belirli aralıklarla iç denetimler yapmalıdır. İç denetimler, uygunsuzlukların tespiti, düzeltici faaliyetlerin planlanması ve sürekli iyileştirme kültürünün güçlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (McKane et al., 2017).

iii. Yönetimin Gözden Geçirmesi: Üst yönetim, enerji yönetim sisteminin genel performansını belirli periyotlarla gözden geçirmelidir. Bu değerlendirme; enerji hedeflerinin gerçekleşme durumu, iç denetim sonuçları, enerji performans trendleri, yasal uygunluk ve iyileştirme fırsatlarını kapsar. Yönetim gözden geçirmesi, sistemin stratejik yönünün güncellenmesi ve kaynak tahsisinin etkin biçimde yapılmasını sağlar (IEA, 2022).

Madde-10: İyileştirme:

ISO 50001'in onuncu maddesi, enerji yönetim sisteminin dinamik yapısını korumak ve sürekli gelişimini sağlamak amacıyla uygunsuzlukların giderilmesi, düzeltici faaliyetlerin uygulanması ve sürekli iyileştirme süreçlerini düzenlemektedir (ISO,

2018). Madde 10, ISO 50001'in özünü oluşturan "Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ)" döngüsünün son halkasını temsil eder. Bu aşama, sistemdeki hataların giderilmesiyle birlikte, performans artışına yönelik proaktif öğrenme ve geliştirme mekanizmasının işletilmesini hedeflemektedir (ISO, 2018; McKane et al.).

Madde 10, ISO 50001'in en kritik aşamasıdır; çünkü bu madde, sistemin "döngüsel" karakterini ve kendini yenileyebilme kapasitesini temsil eder. Uygunsuzlukların yönetimi, düzeltici faaliyetlerin uygulanması ve sürekli iyileştirmenin kurumsal düzeyde benimsenmesi sayesinde kuruluşlar, enerji yönetimini kısa vadeli maliyet azaltımından çıkararak, uzun vadeli stratejik sürdürülebilirlik aracına dönüştürür (McKane et al., 2017; IEA, 2022). Madde 10, iki temel bileşenden oluşmaktadır:

i. Uygunsuzluk ve Düzeltici Faaliyet: Uygunsuzluk, standardın gerekliliklerinden, enerji politikalarından, hedeflerden veya prosedürlerden sapma anlamına gelmektedir. Tespit edilen her uygunsuzluk için kuruluş; kök neden analizi yaparak uygunsuzluğun temel nedenlerini belirlemeli, düzeltici faaliyet planı oluşturmalı (sorumlu kişi, süre, kaynak, yöntem), uygulama sonrası etkinlik değerlendirmesi yapmalıdır (McKane et al., 2017). Bu sistematik yaklaşım, hataların giderilmesinin yanında, benzer hataların tekrarını önleyerek enerji yönetim sisteminin kurumsal güvenilirliğini artırır. Düzeltici faaliyetler, performans kayıplarını en aza indirme ve enerji hedeflerinin sapmadan gerçekleştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle kuruluş, uygunsuzlukların belgelenmesini ve raporlanmasını da sağlamakla yükümlüdür (ISO, 2018).

ii. Sürekli İyileştirme: Madde 10'un ikinci bileşeni, enerji yönetim sisteminin sürdürülebilirliğinin temel dayanağı olan sürekli iyileştirme ilkesidir. Bu yaklaşım, kuruluşun enerji performansında, sistem etkinliğinde ve genel çevresel etkilerinde sürekli gelişme sağlamayı amaçlar. Sürekli iyileştirme faaliyetleri şu süreçleri içerir: (i) Enerji verimliliği teknolojilerinin izlenmesi ve uygulanması, (ii) süreçlerin enerji yoğunluğunun azaltılması, (iii) çalışanlardan gelen iyileştirme önerilerinin değerlendirilmesi, (iv) enerji izleme sistemlerinden elde edilen verilerin analizi, (v) yeni enerji hedeflerinin dinamik biçimde güncellenmesi.Sürekli iyileştirme kültürü,

enerji tasarrufunun yanı sıra, kurumsal öğrenme, inovasyon ve çevresel sorumluluk açısından da stratejik bir değer yaratır (IEA, 2022).

Üst yönetim, Madde 10'un uygulanmasında merkezi bir rol oynar. Uygunsuzluk raporlarını düzenli olarak gözden geçirmek, düzeltici faaliyetlerin uygulanması için kaynak sağlamak, iyileştirme sonuçlarını performans değerlendirmesi sürecine entegre etmek ve enerji hedeflerini, sistem çıktıları doğrultusunda güncellemek yönetimin sorumluluk alanındadır. Bu yönetimsel sahiplenme, enerji yönetim sisteminin sürekliliğini kurumsal düzeyde garanti altına almaktadır. Böylece sistem, salt teknik bir kontrol mekanizması olmaktan çıkarak, stratejik yönetim aracı haline gelir (Aguilera & Cuervo-Cazurra, 2021).

Kuruluş, iyileştirme faaliyetlerinin etkisini ölçmek amacıyla performans göstergeleri (EnPI) ve baz çizgiler (EnB) üzerinden periyodik analiz yapmalıdır. Bu analizlerde enerji tüketimi, enerji yoğunluğu, maliyet tasarrufu ve karbon emisyonu gibi metrikler dikkate alınır.Elde edilen veriler, yönetim gözden geçirmesi toplantılarında değerlendirilir ve sonuçlar kurumsal raporlama süreçlerine (örneğin sürdürülebilirlik raporu, ESG raporu) entegre edilir (GRI, 2021).

ISO 50001'in son maddesi, teknik bir gereklilik olmanın ötesinde, kuruluşta sürekli gelişim ve öğrenme kültürünün yerleşmesini hedefler. Bu kültür, tüm çalışanların sürece aktif katılımını, iyileştirme fırsatlarını fark etmesini ve enerji verimliliğini bireysel bir sorumluluk olarak görmesini teşvik eder (IEA, 2022).

2.2.3.2. ISO 50001 Standardının İlkeleri ve Temel Unsurları

ISO 50001, kuruluşların enerji performansını planlı, ölçülebilir ve sürekli iyileştirilebilir bir sistemle yönetmesini sağlayan beş temel yönetim ilkesine dayanır; bunlar, sistemin felsefesini oluşturur ve etkinliğin temelini teşkil eder (ISO, 2018):

i. Üst Yönetim Katılımı: Enerji yönetiminin başarısı, üst yönetimin liderliği ve aktif desteğine bağlıdır. Üst yönetim, enerji politikasını onaylar, gerekli kaynakları tahsis

eder, sonuçlardan sorumluluk alır ve enerji yönetimini stratejik karar süreçlerine entegre eder.

ii. Veriye Dayalı Karar Verme: Tüm enerjiyle ilgili kararlar, ölçülebilir ve doğrulanabilir verilere dayandırılır. Enerji Performans Göstergeleri (EnPI) aracılığıyla objektif izleme ve analiz, sistemi sezgisel değil, kanıta dayalı hale getirir.

iii. Sürekli İyileştirme: Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsüne göre işleyen bu yaklaşım, hem operasyonel hem de stratejik düzeyde sürekli gelişmeyi sağlar.

iv. Risk Esaslı Düşünce: Planlama aşamasında, enerji arz güvenliği, fiyat dalgalanmaları, karbon düzenlemeleri ve çevresel etkiler gibi faktörler proaktif olarak değerlendirilir (IEA, 2022). Bu düşünce, beklenmedik durumlara karşı direnç kazandırır.

v. Süreç Odaklılık: Enerji kullanımı, üretim sürecinin tüm aşamalarında (girdi–süreç–çıktı zinciri) incelenir. Bu sayede enerji verimliliği, işletmenin ayrılmaz bir parçası haline gelir.

Bu ilkeler, ISO 50001'i kurumsal öğrenme ve sürdürülebilir kalkınma vizyonuyla uyumlu bir yönetim sistemine dönüştürmektedir. Ancak, bu ilkelerin hayata geçirilmesi, standart tarafından tanımlanan somut temel unsurlar üzerinden gerçekleşir. Bu unsurlar, sistemin yapısal ve operasyonel bileşenleridir. Her unsur, PUKÖ döngüsünün bir aşamasıyla ilişkilendirilebilir (ISO, 2018):

i. Enerji Politikası: Üst yönetimin yazılı taahhüdüdür. Sürekli iyileştirme, yasal uyum ve enerji performansının artırılması gibi temel niyetleri içerir.

ii.Enerji Gözden Geçirmesi: Kuruluşun mevcut enerji tüketimi, ekipmanları, süreçleri ve insan davranışları analiz edilerek, önemli enerji kullanımları (SEU) belirlenir.

iii.Enerji Baz Çizgisi (EnB): Enerji performansının izleneceği tarihsel referans noktasıdır. Üretim hacmi, iklim koşulları ve çalışma süresi gibi normalleştirme değişkenleri dikkate alınarak oluşturulur ve büyük değişikliklerde güncellenir (ISO, 2018).

iv.Enerji Performans Göstergeleri (EnPI): SEU'lar için geliştirilen nicel göstergelerdir (örneğin: kWh/ton, MJ/m²). Değişimleri ölçmek, karşılaştırmak ve hedeflere ulaşımı değerlendirmek için kullanılır.

v.Yasal ve Diğer Şartlar: Ulusal enerji mevzuatı, çevre yasaları ve sektörel düzenlemeler sistem içine entegre edilir; uygunluk periyodik olarak kontrol edilir.

vi.Veri Toplama ve İzleme: Güvenilir bir altyapı ile elektrik, doğal gaz, buhar, basınçlı hava gibi tüm enerji kaynaklarının tüketimi izlenir, analiz edilir ve raporlanır.

2.2.3.3. Enerji Performans Göstergeleri (EnPI)

Enerji Performans Göstergeleri (EnPI), ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin ölçülebilirlik omurgasını oluşturur. Bu göstergeler, kuruluşların enerji performansındaki değişimleri ölçmek, izlemek, analiz etmek için kullanılan nicel veya normalize edilmiş göstergelerdir (ISO, 2018). Bu göstergeler, enerji performansının hangi düzeyde iyileştiğini veya kötüleştiğini ortaya koyarak, yönetim sisteminin etkinliğinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadırlar (ISO, 2018).

ISO 50001'in 6.5. maddesinde tanımlanan bu göstergeler, enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi gibi parametrelerin sistematik biçimde ölçülmesini sağlamaktadır. Böylece kuruluşlar, enerji performanslarını geçmiş dönemdekilerle olduğu kadar, belirlenmiş hedeflerle ve enerji baz çizgisi (EnB) ile de karşılaştırabilmektedir. Bu göstergeler, enerji tasarrufunun kanıtlanmasını, enerji verimliliği projelerinin geri dönüşünün ölçülmesini ve sürekli iyileştirme döngüsünün sağlıklı işlemesini desteklemektedirler.

ISO 50006 standardına göre enerji performans göstergelerinin (EnPI) belirlenmesinde temel amaç, göstergelerin teknik ve istatistiksel açıdan güvenilir bir karar destek aracı olarak kullanılabilmesidir. Bu doğrultuda EnPI'lerin, öncelikle enerji performansını doğrudan etkileyen bir parametreyi temsil etmesi (ilgili olması), hesaplanabilmesi için güvenilir, doğrulanabilir ve düzenli biçimde elde edilebilen veri setlerine dayanması (ölçülebilir olması) gerekmektedir. Ayrıca göstergelerin, zaman içinde ya da benzer proses ve operasyonlar arasında anlamlı karşılaştırmalar yapmaya elverişli (karşılaştırılabilir), enerji performansındaki değişimleri yeterli hassasiyetle yansıtan (duyarlı) bir yapıda olması beklenmektedir. Son olarak, bu göstergelere temel oluşturan verilerin tanımlanmış enerji baz çizgisi (EnB) ile uyumlu biçimde toplanması ve analiz edilmesi (tutarlılık) zorunlu görülmektedir (McKane et al., 2017).

Kuruluşun faaliyet alanına, enerji kullanım biçimine ve veri erişim düzeyine bağlı olarak Enerji Performans Göstergeleri farklı biçimlerde tanımlanabilir. Aşağıda, farklı sektörlerde sık kullanılan bazı örnek EnPI göstergeleri sunulmuştur (ISO, 2018; McKane et al., 2017; IEA, 2022).

Tablo 2.4: Sektörlere Göre Enerji Verimliliği İzleme Göstergeleri (EnPI)

SEKTÖR / ALAN	ÖRNEK EnPI GÖSTERGESİ
Metal işleme endüstrisi	kWh/ton ergitme, m^3 doğal gaz/ton ürün
Otomotiv üretimi	kWh/adet araç, kWh/çalışan
Konaklama ve hizmet sektörü	kWh/m^2, kWh/konaklama gecesi
Kamu binaları	kWh/m^2, MWh/personel
Gıda sektörü	kWh/ton üretim, kgCO_2/ürün
Hastaneler	kWh/yatak, m^3 gaz/hasta günü

ISO 50001 kapsamında enerji performans göstergelerinin (EnPI) belirlenmesi, birbirini izleyen sistematik adımlar çerçevesinde yürütülmektedir. İlk olarak, kuruluşun kullandığı tüm enerji kaynaklarına (elektrik, doğal gaz, yakıt, buhar vb.) ilişkin tüketim verileri düzenli ve sistematik biçimde toplanmakta; ardından bu veriler analiz edilerek enerji performansının değerlendirileceği bir referans dönem tanımlanmakta ve enerji baz çizgisi (EnB) oluşturulmaktadır. Daha sonra, üretim miktarı, iklim koşulları, çalışma süresi gibi enerji tüketimini etkileyen normalize

edici değişkenler belirlenerek verilerin karşılaştırılabilir hale gelmesi sağlanmaktadır. Bu altyapı kurulduktan sonra, kuruluşun enerji kullanımı yapısına en uygun EnPI'ler seçilmekte ve bu göstergeler periyodik olarak hesaplanmaktadır. Son aşamada ise, EnPI trendleri belirlenen enerji hedefleriyle karşılaştırılmakta, sapmalar analiz edilmekte ve gerekli görülen durumlarda düzeltici/önleyici faaliyetler planlanarak enerji yönetim sisteminin sürekli iyileştirilmesi sağlanmaktadır (ISO, 2018; IEA, 2022).

2.2.3.4. Sürekli İyileştirme ve Enerji Verimliliği Yönetimi

Sürekli iyileştirme, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin merkezi felsefesini ve dinamik yapısını oluşturan temel ilkedir. Bu yaklaşım, enerji verimliliğini bir kez gerçekleşen bir "tasarruf projesi" olarak görmez, kurumsal kültürün ayrılmaz bir parçası haline getiren, veriye dayalı, döngüsel ve proaktif bir yönetim anlayışını benimser (ISO, 2018). ISO 50001, sürekli iyileştirmeyi enerji tüketiminde azalmaya ek olarak, sistem etkinliğinin, iş süreçlerinin ve kurumsal öğrenmenin sürekli geliştirilmesini de kapsamaktadır (ISO, 2018; McKane et al., 2017).

ISO 50001:2018, sürekli iyileştirmeyi Madde 10.2'de açıkça zorunlu kılmaktadır. Bu madde, iyileştirmenin enerji performansına ek olarak, yönetim sisteminin uygunluğuna, yeterliliğine ve etkinliğine de yönelik olması gerektiğini vurgular. Bu kapsamda iyileştirme, hem teknik hem de yönetsel boyutlarda gerçekleşmektedir.

ISO 50001, sürekli iyileştirmeyi döngüsel bir süreç olarak tanımlamaktadır. Bu yapı, geleneksel "Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsüne benzer şekilde işler, ancak ISO dokümanlarında bu terim doğrudan kullanılmaz; bunun yerine Yüksek Seviye Yapı çerçevesinde aşağıdaki aşamalar bütünsel olarak ele alınmaktadır (ISO, 2018; McKane, Therkelsen, Scodel, Rao, & Aghajani, 2017).

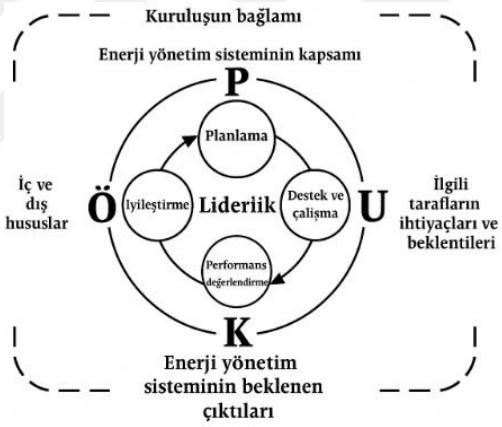
i. Planla (Maddeler 4–6): Kuruluşun bağlamı analiz edilir, liderlik taahhüdü sağlanır, riskler ve fırsatlar değerlendirilir, EnB ve EnPI oluşturulur, enerji hedefleri belirlenir.

ii. Uygula (Maddeler 7–8): Kaynaklar tahsis edilir, yetkinlik geliştirilir, operasyonel kontroller devreye alınır, tasarım ve satın alma süreçlerine enerji kriterleri entegre edilir.

iii. Kontrol Et (Madde 9): Enerji performansı izlenir, iç denetimler yapılır, üst yönetim periyodik gözden geçirme toplantıları gerçekleştirir.

iv. İyileştir (Madde 10): Uygunsuzluklar için kök neden analizi yapılır, düzeltici faaliyetler uygulanır, yeni iyileştirme fırsatları değerlendirilerek döngü yeniden başlatılır.

Bu döngü, enerji yönetimini statik bir sistemden, öğrenen ve gelişen bir organizasyonel süreç haline getirir (McKane et al., 2017).



Şekil 2.5: ISO 50001 PUKÖ Döngüsü ve Liderlik Temelli Süreç Yapısı

Sürekli iyileştirme yaklaşımı, enerji verimliliği yönetimini üç temel boyutta dönüştürmektedir. İlk olarak, reaktiften proaktife geçişi sağlar; geleneksel yaklaşımlarda enerji tasarrufu çoğunlukla maliyet baskısı veya yasal zorunluluklar karşısında reaktif bir tepki olarak ele alınırken, sürekli iyileştirme enerji verimliliğini stratejik bir fırsat olarak konumlandırır ve ileriye dönük, planlı iyileştirme programlarını teşvik eder (IEA, 2022). İkinci olarak, veriye dayalı karar alma kültürünü güçlendirir; Enerji Performans Göstergeleri (EnPI) ve enerji baz çizgisi (EnB) gibi araçlar sayesinde uygulanan önlemlerin etkinliği objektif verilerle izlenir,

böylece sezgisel ve parçalı kararlardan uzaklaşılarak kanıta dayalı bir yönetim anlayışı yerleşir. Üçüncü olarak ise, kurumsal öğrenme ve kültürü destekler; çalışanların iyileştirme süreçlerine katılımı, önerilerinin sistematik biçimde değerlendirilmesi ve elde edilen başarıların paylaşılması, enerji verimliliğini bireysel ve kolektif bir sorumluluk haline getirir ve bu sayede enerji tasarrufu uygulamalarının kalıcılığı güvence altına alınır (IEA, 2022).

Uluslararası uygulamalarda, ISO 50001'e dayalı sürekli iyileştirme süreçlerinin enerji maliyetlerinde %10–30, karbon emisyonlarında ise %8–25 oranında azalma sağladığı raporlanmıştır (IEA, 2022).

2.2.3.5. ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi

ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, kuruluşların İSG risklerini sistematik şekilde yönetmelerine, iyileştirme fırsatlarını değerlendirmelerine ve çalışan refahını artırmalarına yönelik uluslararası bir çerçeve sunmaktadır (ISO, 2018). ISO 45001, 2018 yılında Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından yayımlanmış ve daha önce yürürlükte olan OHSAS 18001 standardının yerini almıştır.(Zwetsloot & Leka, 2020).

ISO 45001'in temel amacı, kuruluşların İSG performansını sistematik biçimde arttırmak, yaralanma ve sağlık bozulmalarını önlemek ve güvenli çalışma ortamı oluşturmak için bir yönetim çerçevesi sunmaktır (ISO, 2018). ISO 45001, kazaların önlenmesinin yanı sıra çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahının geliştirilmesini hedefleyen bir "insan merkezli yönetim sistemi" anlayışını temsil etmektedir. Bu kapsamda, özellikle standardın 6.1.2.3 maddesinde psikososyal riskler (örneğin iş stresi, taciz, iş güvencesizliği) açıkça "tehlike" olarak tanımlanmış ve risk değerlendirmesine dahil edilmesi zorunlu kılınmıştır (ISO, 2018, s. 16).

Standardın felsefesi, "önleme kültürü"nü kurumsal sistemin bir parçası haline getirerek, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının kök nedenlerini önlemeyi hedeflemektir. Bu kapsamda ISO 45001, enerji yönetimi (ISO 50001) ve çevre

yönetimi (ISO 14001) gibi sistemlerle birlikte, sürdürülebilir işletme yönetiminin bütüncül yapısını tamamlayan temel bir bileşen olarak konumlanmaktadır. ISO 45001, sanayi işletmelerinden hizmet sektörüne, kamu kurumlarından KOBİ'lere kadar tüm kuruluş tiplerinde uygulanabilir esnekliğe sahiptir (ISO, 2018).

ISO 45001 süreçlerin etkin biçimde yürütülmesi, aşağıda belirtilen temel ilkelerin örgütsel yapıya entegre edilmesine bağlıdır (ISO, 2018; Fernández-Muñiz et al., 2020):

i. Proaktif risk yönetimi: Tehlikelerin kök neden analizi yoluyla erken tespit edilmesi ve uygun kontrol önlemlerinin sistematik olarak uygulanması,

ii. Liderlik ve taahhüt: Üst yönetimin İSG politikalarına görünür biçimde destek vermesi, gerekli kaynakları tahsis etmesi ve güvenlik kültürünün geliştirilmesinde aktif rol üstlenmesi,

iii. Çalışan katılımı: Tüm hiyerarşik düzeylerde çalışanların risk değerlendirme, karar alma ve sürekli iyileştirme süreçlerine etkin katılımının sağlanması,

iv. Süreç odaklı yönetim: İSG uygulamalarının bakım, tedarik ve üretim planlaması gibi temel organizasyonel süreçlerle bütünleştirilmesi,

v. Sürekli iyileştirme: İSG performansının düzenli olarak izlenmesi, analiz edilmesi ve Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al (PUKÖ) döngüsü aracılığıyla geliştirilmesi,

vi. Yasal ve uluslararası uyum: Ulusal mevzuatın yanı sıra ILO sözleşmeleri (örneğin, ILO C155 ve ILO-OSH 2001) gibi uluslararası referans belgelerle uyumun sürdürülmesi.

2.2.3.6. ISO 45001 Standardının Ana Bileşenleri

Standardın yapısı, ISO'nun tüm yönetim sistemi standartları için ortak kabul ettiği Yüksek Seviye Yapı modeline dayanmaktadır ve 10 temel maddeden oluşmaktadır (ISO, 2018).

Madde 1 : Kapsam

Bu madde, standardın amacını, uygulanabilirliğini ve kapsamını tanımlamaktadır. ISO 45001, kuruluşun büyüklüğü, sektörü, coğrafi konumu veya ürün/hizmet türüne bakılmaksızın, her ölçekteki organizasyona uygulanabilir niteliktedir. Standardın temel amacı, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önleyerek çalışanların fiziksel ve ruhsal bütünlüğünü korumaktır (ISO, 2018, Madde 1).

ISO 45001, doğrudan çalışanlarla beraber, taşeronları, yüklenicileri, ziyaretçileri ve diğer ilgili tarafları da kapsamaktadır. Böylece iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi, kuruluşun doğrudan kontrolü altındaki veya etkisinde bulunan tüm operasyonel süreçleri içine almaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, işletme içi süreçlerde ve dış paydaş ilişkilerinde ortaya çıkan iş sağlığı ve güvenliği risklerinin etkin biçimde yönetilmesini sağlamaktadır (Bottani et al., 2019).

Kapsam maddesi ayrıca, kuruluşun faaliyet alanı, ürün ve hizmet yaşam döngüsü boyunca İSG risk ve fırsatlarını değerlendirmesini ve yönetim sisteminin bu bağlamda sınırlarını tanımlamasını öngörmektedir. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını reaktif (kazadan sonra önlem alma) bir anlayıştan çıkararak, proaktif risk yönetimi kültürüne dönüştürmektedir (Zwetsloot et al., 2017).

Madde 2: Atıf Yapılan Standartlar

ISO 45001:2018 standardı, kendi içinde bütüncül ve bağımsız bir yönetim sistemi çerçevesi sunmakta olup, kuruluşların ISO 45001'i uygularken başka bir standarda başvurma zorunluluğu bulunmamaktadır. Standartın uygulanmasında isteğe bağlı

olarak ISO 31000, ISO 19011 ve ISO/IEC 17021-10 rehberlerinden yararlanılabilmektedir (ISO/IEC, 2018).

Madde 3 : Terimler ve Tanımlar

Bu madde, ISO 45001 standardının tutarlı, net ve yanlış yorumlanamaz biçimde uygulanabilmesi için temel kavramları tanımlamaktadır. Standardın "tehlike", "İSG riski", "fırsat", "çalışan", "uygunsuzluk" ve "İSG performansı" gibi anahtar terimlere açıklık getirmesi, kuruluşlar arasında ortak bir İSG dili oluşturulmasını sağlamaktadır (ISO, 2018, Madde 3).

Öne çıkan bir özellik, "İSG riski" ile "fırsat" kavramlarının ayrı ayrı ele alınmasıdır. ISO 45001'de "İSG riski", işyerindeki tehlikelerin yaralanma, hastalık veya işyeri kaynaklı sağlık bozulmalarına yol açma olasılığı ve sonuçlarının birleşimi olarak tanımlanır (ISO, 2018, Madde 3.20). Buna karşın "fırsat", iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin geliştirilmesi, çalışan katılımının arttırılması veya yasal uyumun güçlendirilmesi gibi olumlu gelişim potansiyellerini ifade eder (ISO, 2018, Madde 3.19). Bu ayrım, ISO 45001'in iş sağlığı ve güvenliği yönetimini yalnızca tehlikeleri azaltmaya yönelik pasif bir yaklaşımdan, gelişim ve iyileştirme odaklı proaktif bir yönetim sistemine dönüştürdüğünü göstermektedir (Zwetsloot & Leka, 2020).

Madde 4 : Kuruluşun Bağlamı

Bu madde, kuruluşun iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemini etkili bir şekilde tasarlayabilmesi, uygulayabilmesi ve sürdürebilmesi için içsel ve dışsal bağlamını sistematik olarak analiz etmesini zorunlu kılmaktadır (ISO, 2018, Madde 4). Bu analiz, kuruluşun faaliyetlerini etkileyen tüm faktörlerin anlaşılması ve iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin genel stratejik hedeflerle uyum içinde yürütülmesini sağlamaktadır.

- İç bağlam, İSG performansını etkileyen örgüt içi unsurları kapsamaktadır. Bunlar arasında kurum kültürü, yönetim yapısı, kurumsal değerler, çalışan yetkinlikleri,

mevcut kaynaklar, teknolojik altyapı, bilgi akışı ve risk algısı yer almaktadır. Bu unsurların değerlendirilmesi, kuruluşun güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesine, dolayısıyla iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin gerçekçi ve uygulanabilir hale getirilmesine olanak tanımaktadır (Fernández-Muñiz et al., 2020).

- Dış bağlam ise kuruluşun kontrolü dışında kalan ancak iş sağlığı ve güvenliği performansını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen faktörleri içermektedir. Bu kapsamda; yasal ve düzenleyici gereklilikler, teknolojik gelişmeler, sosyoekonomik koşullar, çevresel etkiler, piyasa dinamikleri ve sektörel risk profilleri gibi unsurlar dikkate alınmalıdır (ISO, 2018, Madde 4.1).

Madde 5 : Liderlik ve Çalışan Katılımı

Bu madde, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin etkinliğini sağlayan temel yönetsel dayanakları tanımlamaktadır. ISO 45001'e göre, üst yönetimin liderliği, taahhüdü ve hesap verebilirliği, sistemin başarısının ön koşuludur (ISO, 2018, Madde 5). Yönetim, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemini politika düzeyinde destekler, uygulamaları yönlendirir, gerekli kaynakları sağlar ve sistemin etkinliğinden doğrudan sorumlu olur.

Üst yönetimin sorumlulukları, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi bağlamında özellikle birkaç temel alanda yoğunlaşmaktadır. Her şeyden önce, kuruluşun genel stratejisiyle uyumlu bir İSG politikasının oluşturulması, bu politikanın resmi olarak onaylanması ve tüm çalışanlara etkin biçimde duyurulması üst yönetimin temel görevleri arasındadır. Bununla bağlantılı olarak, İSG hedeflerine ulaşılabilmesi için gerekli insan, mali ve teknolojik kaynakların sağlanması ve sürdürülebilir biçimde desteklenmesi gerekmektedir. Üst yönetim aynı zamanda, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin performans sonuçlarından kurumsal düzeyde hesap verebilirliği üstlenmekte; kaza oranları, uygunsuzluklar ve iyileştirme faaliyetlerine ilişkin sonuçların sorumluluğunu taşımaktadır. Son olarak, güvenlik kültürünün güçlendirilmesi için yöneticilerin sahada görünür olması, çalışan katılımını teşvik etmesi ve İSG kurallarına örnek olacak davranışlar sergilemesi, liderlik

sorumluluğunun ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir (ISO, 2018; EU-OSHA, 2020; Fernández-Muñiz, Montes-Peón, & Vázquez-Ordás, 2007).

Madde 5 ayrıca, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin süreçlerine katılımı ve danışma süreçlerini zorunlu kılmaktadır. Katılım, çalışanların risk değerlendirmesi, iyileştirme önerileri ve uygulama süreçlerine aktif katkıda bulunmasını ifade ederken; danışma, işletmeyi etkileyebilecek İSG kararları alınmadan önce çalışanların görüşlerinin alınmasını gerektirmektedir (ISO, 2018, Madde 5.4). Bu ayrım, OHSAS 18001'den ISO 45001'e geçişte en belirgin yapısal gelişmeyi temsil etmektedir. İSG kültürü artık yönetsel bir zorunluluktan çok, katılımcı, diyalog temelli ve kapsayıcı bir yönetim anlayışına dayanmaktadır (Zwetsloot & Leka, 2020). Bu katılımcı yaklaşım, İSG performansını arttırırken, çalışan bağlılığını, güven kültürünü ve kurumsal öğrenme kapasitesini de güçlendirmektedir (Clarke, 2020; Mullen et al., 2017).

Madde 6 : Planlama

Bu madde, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin risk temelli yapısını oluşturmaktadır. ISO 45001, kuruluşların mevcut tehlikeleri kontrol altına almasını ve potansiyel İSG risklerini ve iyileştirme fırsatlarını önceden belirleyerek sistematik biçimde yönetmesini öngörmektedir. Bu yaklaşım, "önleme kültürü"nü kurumsallaştırarak iş kazalarının ve meslek hastalıklarının kök nedenlerine proaktif müdahale etmeyi mümkün kılmaktadır (ISO, 2018, Madde 6; Zwetsloot & Leka, 2020). Planlama süreci, İSGYS'nin sürdürülebilir biçimde yönetilmesi için dört temel bileşenden oluşmaktadır:

i. Tehlikelerin Belirlenmesi: Kuruluş, faaliyetleri, süreçleri, ekipmanları ve çalışma ortamlarını analiz ederek fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal tehlikeleri tanımlar. Bu adım, risk değerlendirmesinin başlangıç noktasıdır. ISO 45001, tehlike tanımını sadece ani kaza potansiyeliyle sınırlamaz; uzun vadeli sağlık etkilerini — örneğin iş stresi, yorgunluk, taciz veya kas-iskelet sistemi bozuklukları gibi psikososyal ve kronik riskleri de kapsamaktadır (ISO, 2018, Madde 6.1.2.3).

ii. Risklerin Değerlendirilmesi ve Fırsatların Tanımlanması: Risk değerlendirmesi, iş yerindeki tehlikelerin olasılık ve şiddetine göre önceliklendirilmesini sağlayarak, hangi risklerin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini belirlemektedir. ISO 45001 standardı, risklerin azaltılmasının yanında, İSG Yönetim Sistemi'nin etkinliğini arttıracak fırsatların da tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu fırsatlar, çalışan refahını artıran, yasal uyumu güçlendiren veya operasyonel verimliliği geliştiren uygulamaları kapsamaktadır. Örneğin dijital izleme sistemleri, ergonomik iş istasyonları ya da otomasyon çözümleri hem riskleri azaltmakta hem de kurumsal düzeyde stratejik kazanımlar sağlamaktadır (Fernández-Muñiz vd., 2020).

iii. Yasal ve Diğer Yükümlülüklerin Belirlenmesi: Kuruluş, ulusal mevzuat, sektörel düzenlemeler, müşteri sözleşmeleri, sendika anlaşmaları ve gönüllü taahhütlerden kaynaklanan tüm İSG yükümlülüklerini tanımlar ve İSGYS'ne entegre eder. Bu süreç, yasal uygunluğun sağlanması kadar kurumsal itibarın korunması açısından da önemlidir. ISO 45001, bu yükümlülüklerin dinamik olarak izlenmesini ve mevzuat değişikliklerinin sistemde zamanında yansıtılmalarını gerektirmektedir (ISO, 2018, Madde 6.1.3).

iv. İSG Hedeflerinin ve Eylem Planlarının Oluşturulması: Kuruluş, belirlenen riskler ve fırsatlar doğrultusunda ölçülebilir, izlenebilir ve zaman çerçevesine bağlı İSG hedefleri belirler. Her hedef için sorumlu birim, gerekli kaynaklar, uygulama yöntemi ve performans izleme göstergeleri tanımlanır. Bu süreç, PUKÖ döngüsünün "Planla" aşamasını oluşturmaktadır (ISO, 2018, Madde 6.2).

Madde 7 : Destek

Bu madde, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin etkin biçimde uygulanması, sürdürülmesi ve sürekli iyileştirilmesi için gerekli olan kurumsal destek mekanizmalarını tanımlamaktadır. ISO 45001'e göre, bir yönetim sistemi risk temelli yapıyla birlikte yeterli kaynaklara, yetkin insan gücüne, etkin iletişim süreçlerine ve güvenilir bilgi yönetimi altyapısına dayanmalıdır (ISO, 2018, Madde 7). Madde 7, kuruluşun İSGYS'ni yaşanır ve sürdürülebilir kılan beş temel destek unsurunu kapsar:

i. Kaynaklar: Kuruluş, İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi'nin etkin biçimde uygulanması ve belirlenen hedeflere ulaşılması için gerekli insan, mali, teknolojik ve zaman kaynaklarını sağlamalıdır. Bu kaynakların sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, kaza önleme faaliyetlerinin yanı sıra çalışan eğitimlerinin yürütülmesi, kişisel koruyucu donanımların temini ve sürekli iyileştirme çalışmalarının devamlılığı açısından da büyük öneme sahiptir (ISO, 2018, Madde 7.1; Fernández-Muñiz vd., 2020).

ii. Yetkinlik: İSG ile ilgili görevleri yerine getiren tüm çalışanların gerekli bilgi, beceri ve deneyime sahip olması zorunludur. Kuruluş, yetkinlik ihtiyaçlarını belirlemeli, eksiklikleri tespit etmeli ve bunları giderici eğitim veya gelişim faaliyetleri planlamalıdır. Bu zorunluluk, doğrudan istihdam edilen personelle beraber yöneticiler, taşeronlar ve yüklenicileri de kapsamaktadır (ISO, 2018).

iii. Farkındalık: Çalışanlar, kuruluşun İSG politikası, hedefleri, maruz kaldıkları riskler ve bireysel sorumlulukları konusunda bilinçlendirilmelidir. Farkındalık, güvenlik kültürünün çalışan davranışlarına yansıtılmasını amaçlamaktadır. Bu nedenle ISO 45001, farkındalık faaliyetlerinin sürekli, hedef kitleye uygun ve etkinliği izlenebilir olmasını öngörmektedir (ISO, 2018, Madde 7.3).

iv. İletişim: Kuruluş, iç (örneğin çalışan-yönetim arası) ve dış (örneğin denetim kurumları, tedarikçiler) paydaşlarla açık, doğru, zamanında ve iki yönlü iletişim süreçleri oluşturmalıdır. İletişim, hem yukarıdan aşağıya bilgi aktarımını hem de aşağıdan yukarıya geri bildirim mekanizmalarını içermelidir. Bu yapı, çalışan katılımını ve güven kültürünü güçlendiren temel unsurdur (ISO, 2018, Madde 7.4).

v. Dokümante Edilmiş Bilgi: İSG'ye ilişkin tüm politika, prosedür, talimat, kayıt ve raporlar düzenli bir şekilde oluşturulmalı, korunmalı, güncellenmeli ve sadece yetkili kişilerin erişimine açık olmalıdır. Dokümante edilmiş bilgi, dış denetimlerde uygunluk kanıtı sunan, kurumsal belleği güçlendiren ve sürekli öğrenmeyi destekleyen bir yönetim aracıdır. ISO 45001, bu süreci bilgiye dayalı karar alma döngüsünün etkin bir bileşeni olarak tanımlamaktadır (ISO, 2018, Madde 7.5).

Madde 8 : Operasyon

ISO 45001'in sekizinci maddesi, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin günlük operasyonel süreçlere entegre edilmesini sağlamaktadır. Bu madde, planlama aşamasında (Madde 6) belirlenen İSG risklerinin ve fırsatlarının uygulamaya dönüştürüldüğü, kontrollerin hayata geçirildiği ve operasyonel faaliyetlerin İSGYS ile tutarlı yürütüldüğü aşamayı temsil etmektedir (ISO, 2018, Madde 8). Madde 8, aşağıdaki süreçleri kapsayan iki temel bileşenden oluşmaktadır:

i. Operasyonel Planlama ve Kontrol (Madde 8.1): Kuruluş, İSG risklerini ortadan kaldırmak veya kabul edilebilir düzeye indirmek amacıyla operasyonel kontroller oluşturur ve uygular (ISO, 2018; Hale & Borys, 2013). Bu kapsamda güvenli çalışma prosedürleri geliştirilir, iş akışları risklere uygun şekilde planlanır, bakım ve onarım faaliyetleri İSG kriterlerine göre yürütülür, ateşli çalışma, kapalı alan girişi gibi riskli faaliyetler için izin sistemleri kurulur, değişiklik yönetimi süreçleriyle tesis, ekipman, personel veya süreçlerde yapılacak değişikliklerin İSG etkileri önceden değerlendirilir, taşeron, yüklenici ve tedarikçiler gibi dış kaynaklı süreçlerin İSG performansı ise sözleşme yönetimi, seçim kriterleri ve denetimler aracılığıyla güvence altına alınır (ISO, 2018; EU-OSHA, 2020). ISO 45001'in 8.1 maddesinde de vurgulandığı üzere, bu süreçlerin ortak amacı, İSG'nin politika belgesinde kalmayıp, günlük iş uygulamalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmesidir (ISO, 2018; Fernández-Muñiz, Montes-Peón, & Vázquez-Ordás, 2007; Zwetsloot et al., 2013).

ii. Acil Durum Hazırlığı ve Müdahale (Madde 8.2): Kuruluş, yangın, patlama, kimyasal sızıntı, elektrik arızaları veya doğal afetler gibi olası acil durum senaryolarını belirler ve bunlara yönelik acil durum planları geliştirir. Bu planlar; tahliye prosedürlerini, iletişim zincirlerini, kurtarma ekiplerinin görev ve sorumluluklarını, acil durum ekipmanlarının bakımlarını kapsamaktadır (ISO, 2018; ILO, 2001). Madde 8, İSGYS'nin stratejik planlamadan operasyonel gerçeğe geçişini sağlayan uygulama aşamasıdır. Bu madde, "planlama" (Madde 6) ile "performans izleme" (Madde 9) arasında köprü görevi görerek, risk temelli kararların sahada

tutarlı biçimde hayata geçirilmesini ve organizasyonel öğrenmenin sürekliliğini sağlar (ISO, 2018; EU-OSHA, 2020). Böylece iş sağlığı ve güvenliği, kuruluşun operasyonel verimliliğinin ve sürdürülebilir performansının temel bir bileşeni haline gelir (Fernández-Muñiz, Montes-Peón, & Vázquez-Ordás, 2007; Zwetsloot et al., 2013).

Madde 9 : Performans Değerlendirmesi

ISO 45001'in dokuzuncu maddesi, İSGYS'nin etkinliğinin sistematik olarak ölçülmesini, izlenmesini, analiz edilmesini ve iyileştirme fırsatlarının belirlenmesini düzenlemektedir. Bu madde, İSGYS'nin "ölçme ve değerlendirme" ayağını oluşturarak, sistemin performans sonuçlarıyla sürekli olarak doğrulanmasının sağlanması gerektiğini belirtmektedir (ISO, 2018, Madde 9).

Madde 9'un temel amacı, İSG performansının nesnel verilere dayalı olarak izlenmesi, yasal ve diğer gerekliliklere uygunluğun değerlendirilmesi, iç denetimlerin yürütülmesi ve bu sonuçların üst yönetim gözden geçirmesine aktarılmasıdır. Bu süreç, kuruluşun İSG performansını sadece geçmiş kazalara dayalı izleyen göstergelerin yanında, önleyici ve öncül göstergelerle değerlendirmesine olanak tanımaktadır (Zwetsloot & Leka, 2020).

i. İzleme ve Ölçme (Madde 9.1.1–9.1.2): Kuruluş, İSG performansını hem nicel hem nitel göstergelerle izlemelidir. Bunlar arasında: Kaza sıklık oranı (KSO), Kayıp iş günü sayısı (KİG), Ramak Kala Olaylar, Düzeltici Faaliyet Sayısı, Eğitim Katılım Oranı gibi göstergeler yer almaktadır. ISO 45001 ayrıca, öncül göstergelerin de izlenmesini öngörmektedir; bu kapsamda güvenli davranış gözlemleri, ergonomi denetimleri, risk değerlendirmelerinin güncellenme sıklığı ve çalışan katılım oranları gibi metrikler önem taşımaktadır (ISO, 2018, Madde 9.1.1).

ii. Uygunluk Değerlendirmesi (Madde 9.1.2): Kuruluş, İSG ile ilgili yasal mevzuat, sektör standartları, sözleşme hükümleri ve gönüllü taahhütler gibi tüm yükümlülüklere uygunluk durumunu periyodik olarak değerlendirmelidir. Bu süreç,

mevcut uygunluğun belgelenmesinin yanı sıra, yaklaşan yasal değişimlere hazırlık yapılmasını da içermektedir. Uygunluk değerlendirme sonuçları kayıt altına alınmalı, tespit edilen eksiklikler için düzeltici faaliyetler başlatılmalıdır (ISO, 2018).

iii. İç Denetim (Madde 9.2): İSGYS'nin etkinliği, risk temelli ve planlı iç denetimlerle değerlendirilir. Denetimler, sistemin uygunluk, yeterlilik ve etkinliğini bağımsız biçimde ölçmelidir. ISO 45001, iç denetimlerin ISO 19011:2018 rehber ilkeleri doğrultusunda yürütülmesini önerir (ISO, 2018, Madde 9.2). Denetim planları, yüksek riskli süreçlere, taşeron faaliyetlerine ve önceki uygunsuzluklara öncelik vermeli; sonuçlar Madde 10'a (İyileştirme) girdi olarak kullanılmalıdır.

iv. Yönetimin Gözden Geçirmesi (Madde 9.3): Üst yönetim, İSGYS'nin performansını belirli aralıklarla (genellikle yıllık) gözden geçirerek stratejik karar süreçlerine entegre eder. Bu değerlendirme şunları kapsar: Kaza ve ramak kala olay verileri, risk değerlendirme ve izleme sonuçları, iç denetim bulguları, uygunluk değerlendirme raporları, çalışan geri bildirimleri ve katılımı, ilgili tarafların beklentileri, yasal ve operasyonel değişimler.

Gözden geçirme toplantıları, İSGYS'nin stratejik yönünün belirlenmesi, kaynak tahsisi, hedeflerin güncellenmesi ve iyileştirme fırsatlarının önceliklendirilmesi açısından büyük öneme sahiptir (ISO, 2018, Madde 9.3).

Madde 10 : İyileştirme

ISO 45001'in son maddesi, İSGYS'nin sürekli gelişimini sağlamak amacıyla uygunsuzlukların giderilmesi, düzeltici faaliyetlerin uygulanması ve iyileştirme kültürünün kurumsallaştırılmasına odaklanmaktadır. Bu madde, Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsünün "Önlem Al" aşamasına karşılık gelmekte ve sistemin döngüsel olarak kendini yenileme yeteneğini güvence altına almaktadır (ISO, 2018, Madde 10).

i. Uygunsuzlukların Belirlenmesi ve Kök Neden Analizi: Kuruluş, İSGYS'nde veya faaliyetlerinde ortaya çıkan uygunsuzlukları tespit etmeli, analiz etmeli ve kayıt altına almalıdır. Uygunsuzluk; kazalar, ramak kala olaylar, prosedür ihlalleri veya yasal yükümlülüklerin karşılanmaması biçiminde ortaya çıkabilir. Bu durumların her biri için kök neden analizi yapılmalı, temel nedenler belirlenmeli ve benzer olayların tekrarlanmaması için düzeltici faaliyet planları hazırlanmalıdır.Bu yaklaşım, yalnızca semptomlara değil, problemi doğuran sistemsel nedenlere odaklanarak reaktif müdahaleler yerine proaktif çözümler üretir (Zwetsloot & Leka, 2020).

ii. Düzeltici Faaliyetlerin Planlanması ve Uygulanması: ISO 45001, düzeltici faaliyetlerin sistematik biçimde planlanmasını, uygulanmasını ve etkinliğinin doğrulanmasını zorunlu kılar. Bu kapsamda kuruluş, olayı analiz eder, kök nedenleri belirler, düzeltici faaliyet planı oluşturur (sorumlu kişi, zaman planı, kaynaklar), faaliyetlerin etkinliğini değerlendirir ve gerekirse iyileştirir. Düzeltici faaliyetler, yalnızca mevcut uygunsuzlukların giderilmesini değil, gelecekteki benzer risklerin oluşmasının engellenmesini de hedefler. Böylece kuruluş, her uygunsuzluğu bir öğrenme ve gelişme fırsatına dönüştürür (ISO, 2018, Madde 10.2).

iii. Sürekli İyileştirme Kültürünün Oluşturulması: Madde 10'un temel felsefesi, İSG performansının sürekli gelişimini destekleyen bir kurumsal öğrenme kültürü inşa etmektir. Bu kültür, çalışan katılımına dayalı bir yapıyı gerektirir. Kuruluşlar, çalışan önerilerini, iç denetim bulgularını, kaza ve ramak kala olay analizlerini ve performans göstergelerini iyileştirme fırsatları olarak değerlendirmelidir. Sürekli iyileştirme güvenli teknoloji ve ekipmanların benimsenmesi, İSG eğitim içeriklerinin periyodik güncellenmesi, davranışsal güvenlik gözlemlerinin uygulanması, güvenlik kültürü göstergelerinin (örneğin olay raporlama sıklığı, güvenli davranış oranı) izlenmesi ile gerçekleştirilir. Bu süreç, İSGYS'ni yalnızca "uyum aracı" olmaktan çıkararak kurumsal öğrenme ve sürdürülebilirlik sisteminin bir parçası haline getirir.

iv. Performans Geri Bildirimi ve Stratejik Uyum: İyileştirme süreci, performans göstergeleri (örneğin KSO, KİG, eğitim saatleri, uygunsuzluk sayıları) üzerinden izlenir. Elde edilen veriler, yönetim gözden geçirmesi (Madde 9.3) toplantılarında

stratejik kararlara dönüştürülür (ISO, 2018). Bu yapı, İSGYS'nin hem operasyonel hem stratejik düzeyde sürekli olarak gelişmesini sağlar.

2.2.3.7. Proaktif Risk Yönetimi ve Çalışan Katılımı

ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, iş sağlığı ve güvenliği yönetimini kazalar gerçekleştikten sonra müdahale edilen reaktif bir yaklaşımdan, tehlikelerin önceden öngörülüp kök nedenlerinden ele alındığı proaktif bir modele dönüştürmüştür. Bu dönüşümün temelini, kuruluşun İSG riskleriyle birlikte, iyileştirme fırsatlarını da sistematik şekilde değerlendiren planlama yaklaşımı oluşturmaktadır (ISO, 2018, Madde 6).

Standardın Madde 6.1'inde tanımlanan proaktif risk yönetimi, kuruluşun iç ve dış bağlamının analizini (Madde 4), tehlikelerin sistemli tespitini ve İSG risklerinin yanı sıra fırsatların belirlenmesini gerektirmektedir. Bu ayrım, İSG'yi bir maliyet unsuru olmaktan çıkararak, sürdürülebilir rekabet avantajı yaratan stratejik bir yönetim fonksiyonu haline getirmektedir. Özellikle psikososyal risklerin — iş stresi, taciz, aşırı iş yükü, iş güvencesizliği gibi — açıkça İSGYS kapsamına alınması (ISO, 2018, Madde 6.1.2.3), çalışan sağlığının fiziksel, zihinsel ve sosyal boyutlarıyla korunması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu proaktif yaklaşım, yönetsel bir değerlendirmeyle sınırlı kalmamakta; Madde 5.4'te zorunlu kılınan çalışan katılımı ve danışma süreçleriyle bütünsel bir yapı kazanmaktadır. ISO 45001, çalışanların risk değerlendirmelerine, prosedür geliştirme süreçlerine ve iyileştirme önerilerine aktif şekilde dahil edilmesini ve karar alma öncesinde görüşlerinin alınmasını şart koşmaktadır (ISO, 2018, Madde 5.4). Bu katılım tanımı, "çalışan" kavramının taşeronlar, geçici işçiler, stajyerler ve yüklenicileri de kapsayacak şekilde geniş tanımlanmasıyla (ISO, 2018, Madde 3.2) mümkün kılınmıştır. Böylece İSG kültürü, yukarıdan aşağıya emir-komuta modelinden, çift yönlü iletişim, ortak sorumluluk ve güven temelli bir yapıya evrilmiştir. Araştırmalar, bu katılımcı ortamın çalışanların riskleri erken fark etme, ramak kala olayları raporlama ve güvenlik kurallarını kolektif bir değer olarak

benimseme eğilimini arttırdığını göstermektedir (Zwetsloot & Leka, 2020; Clarke, 2020).

Proaktif risk yönetimi ile çalışan katılımı arasındaki sinerji, İSGYS'ni statik bir uyum mekanizmasından dinamik bir kurumsal öğrenme sistemine dönüştürmektedir (Hale & Borys, 2013; EU-OSHA, 2020). Örneğin, bir operatörün günlük işinde fark ettiği ergonomik bir sorun, katılımcı bir kültürde hızlıca raporlanmakta; bu bilgi, proaktif planlama çerçevesinde kök neden analizine ve kalıcı bir düzeltici faaliyete dönüşebilmektedir (Fernández-Muñiz, Montes-Peón, & Vázquez-Ordás, 2007). Bu döngü, organizasyonel direnci ve çalışanlara duyulan güveni artırırken, aynı zamanda insana yakışır çalışma ortamlarını ve sürdürülebilir iş performansını destekleyen bir yönetim altyapısı oluşturmaktadır (Zwetsloot et al., 2013; ILO, 2023). Bu yönüyle ISO 45001, kurumsal sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu somutlaştıran bütüncül bir yönetim vizyonu olarak değerlendirilmektedir (ISO, 2018; EU-OSHA, 2023).

2.2.4. Liderlik, İletişim ve Sürekli İyileştirme Kültürü

ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, iş sağlığı ve güvenliğinin prosedürel bir zorunluluktan öte, kurumsal kültürün bir parçası haline gelmesini sağlayan üç temel unsuru merkeze alır: üst yönetimin liderliği, etkin iletişim süreçleri ve sürekli iyileştirme kültürü. Standardın Madde 5'inde özellikle vurgulandığı üzere, üst yönetimin liderliği İSGYS'nin başarısının temel koşuludur. Yönetim, İSG politikasını onaylamakla kalmaz; gerekli kaynakları sağlar, stratejik hedeflerle uyumu güvence altına alır ve İSGYS'nin etkinliğinden doğrudan hesap verebilir hale gelir (ISO, 2018, Madde 5.1). Bu liderlik rolü, karar alma yetkisiyle beraber, güvenlik davranışlarıyla örnek olma sorumluluğunu da içermektedir. Araştırma bulguları, üst yönetimin görünür ve tutarlı desteğinin çalışanlarda güvenlik kültürüne yönelik bağlılığı ve güveni önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Clarke, 2020).

Liderliğin etkinliği, iki yönlü ve etkin iletişim süreçleriyle güçlenmektedir. ISO 45001, Madde 7.4'te kuruluşun iç (çalışanlar, yönetim) ve dış (tedarikçiler, denetim kurumları, topluluk) paydaşlarla açık, zamanında, anlaşılır ve erişilebilir iletişim

mekanizmaları kurmasını zorunlu kılmaktadır (ISO, 2018, Madde 7.4). Liderlik ve iletişim bu şekilde bütünleştiğinde, örgüt içinde öğrenen bir İSG kültürü gelişmekte; her uygunsuzluk, kaza veya denetim bulgusu bir öğrenme ve gelişim fırsatı olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, ISO 45001 Madde 10'da tanımlanan sürekli iyileştirme ilkesinin temelini oluşturmaktadır. Kuruluşlar, sistematik kök neden analizleriyle düzeltici faaliyetler geliştirir, bu faaliyetlerin etkinliğini izler ve elde edilen dersleri geleceğe dönük risk azaltma stratejilerine entegre eder (ISO, 2018, Madde 10.2). Böylece İSGYS, statik bir kontrol mekanizmasından, dinamik, uyarlanabilir ve gelişime açık bir sistem haline gelir. Bu bütüncül yapı sayesinde ISO 45001, iş sağlığı ve güvenliğini bir uyum yükümlülüğünden öte, kurumsal sürdürülebilirliğin ve etik yönetişimin temel bir bileşeni haline getirmektedir.

2.2.5.Yönetim Sistemlerinde PUKÖ Döngüsü ve Süreç Odaklı Yaklaşım

Yönetim sistemlerinin temelini oluşturan Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsü, ISO standartlarının sürdürülebilirlik, sürekli iyileştirme ve sistematik yönetim anlayışına dayalı ortak yapısını temsil etmektedir. Bu döngü, süreçlerin planlanmasından sonuçların değerlendirilmesine kadar tüm aşamalarda kurumsal performansın sürekli olarak izlenmesini ve geliştirilmesini amaçlamaktadır (Deming, 1986; ISO, 2018).

PUKÖ yaklaşımı, kuruluşların riskleri proaktif biçimde yönetmesini, fırsatları belirlemesini ve kaynakları etkin biçimde kullanmasını sağlamakta, yönetim sistemlerinin birbirinden bağımsız işleyen bölümler yerine etkileşimli süreçlerden oluştuğunu vurgulamaktadır. Böylece enerji verimliliği, iş sağlığı ve güvenliği, çevre yönetimi veya kalite yönetimi gibi farklı sistemler arasında bütünleşik bir yapı kurulması mümkün hale gelmektedir (Zeng et al., 2011; Fernández-Muñiz vd., 2020).

PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al) döngüsü, yönetim sistemlerinin temelini oluşturan ve sürekli iyileştirmeyi güvence altına alan döngüsel bir yapıdır. Bu çerçevede "Planla" aşamasında kuruluşun politika, hedef ve süreçleri tanımlanmakta; tehlikeler belirlenerek riskler değerlendirilmekte ve bunları

azaltmaya yönelik stratejiler ile enerji yönetiminde EnPI'lar, İSG yönetiminde ise risk kontrol önlemleri oluşturulmaktadır. "Uygula" aşamasında planlanan faaliyetler, prosedürler ve kontroller hayata geçirilmekte; çalışan eğitimi, kaynak tahsisi ve operasyonel kontroller yoluyla sistemin fiili uygulama kapasitesi ortaya çıkmaktadır. "Kontrol Et" aşamasında performans göstergeleri, iç denetimler ve yönetimin gözden geçirmesi aracılığıyla süreçlerin hedeflerle uyumu izlenmekte ve veriye dayalı değerlendirmeler yapılmaktadır. Son olarak "Önlem Al" aşamasında, tespit edilen uygunsuzluklar ve performans sapmaları doğrultusunda düzeltici ve iyileştirici faaliyetler planlanıp uygulanmakta; böylece enerji ve İSG yönetim sistemlerinin sürekli gelişimi sağlanmaktadır (Deming, 1986; ISO, 2018).

PUKÖ döngüsü, yönetim sisteminin dinamik bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Her döngü tamamlandığında sistem, önceki performans verileri üzerinden öğrenir, eksiklikleri giderir ve kendini bir üst seviyeye taşır (Bernstein & Hahn, 2020).

Tablo 2.5: PUKÖ Döngüsünün Yapısı ve İşleyişi

AŞAMA	ANA FAALİYETLER	ISO MADDELERİ İLİŞKİSİ	AMAÇ
Planla	Kuruluşun bağlamını, risk ve fırsatlarını analiz etme; politika ve hedefleri belirleme; eylem planlarını oluşturma	ISO 50001/45001: Madde 4–6	Stratejik yön belirleme, sistematik planlama
Uygula	Planlanan faaliyetlerin uygulanması, operasyonel kontrollerin yürütülmesi, çalışan katılımı ve iletişim	ISO 50001/45001: Madde 7–8	Planların somut uygulamaya dönüştürülmesi
Kontrol Et	Performansın izlenmesi, ölçülmesi, iç denetimlerin yürütülmesi ve yönetim gözden geçirmesi	ISO 50001/45001: Madde 9	Gerçekleşen sonuçların planlanan hedeflerle karşılaştırılması
Önlem Al	Uygunsuzlukların düzeltilmesi, düzeltici faaliyetlerin uygulanması ve sürekli iyileştirme	ISO 50001/45001: Madde 10	Sistemin kalıcılığını ve gelişimini sağlama

Her iki standartta da PUKÖ döngüsü, yönetim sisteminin kalbini oluşturur. Ancak odak alanları farklıdır. Aşağıdaki tablo, PUKÖ döngüsünün iki farklı standartta farklı içeriklerle, ancak aynı mantıksal yapıda işlediğini göstermektedir.

PUKÖ'nün temel amacı, yönetim sistemini "düzeltici" bir araçtan "öğrenen" bir sisteme dönüştürmektir. Her döngü tamamlandığında sistem, performans verilerinden yeni bilgi üretir ve bu bilgi bir sonraki planlama aşamasına entegre edilir. Bu sayede kuruluşlar, hem enerji hem de İSG alanında sürekli öğrenen organizasyon yapısına

kavuşur (Senge, 1990). Bu öğrenme kültürü; risk farkındalığını artırır, liderlik kapasitesini güçlendirir ve kurumsal sürdürülebilirliği destekler.

Tablo 2.6: ISO 45001 ve ISO 50001'de PUKÖ Döngüsünün Ortak Yönleri

AŞAMA	ISO 45001 (İSG YÖNETİMİ)	ISO 50001 (ENERJİ YÖNETİMİ
Planla	Tehlike belirleme, risk ve fırsat analizi, İSG politikası, hedefler	Enerji incelemesi, EnPI/EnB belirleme, enerji hedefleri
Uygula	Operasyonel kontrol, eğitim, iletişim, çalışan katılımı	Operasyonel kontrol, enerji tasarımı, satın alma süreçleri
Kontrol Et	Performans izleme, iç denetim, uygunluk değerlendirmesi	Performans izleme, ölçüm, iç tetkik
Önlem Al	Düzeltici faaliyetler, sürekli iyileştirme kültürü	Düzeltici faaliyetler, enerji performansında sürekli gelişim

PUKÖ döngüsünün etkin işleyebilmesi, süreç odaklı yaklaşımla iç içedir. Süreç odaklılık, örgütün faaliyetlerini birbirleriyle bağlantılı ve değer yaratan süreçler bütünü olarak görmeyi gerektirir. ISO standartları, kuruluşların girdi-çıktı ilişkileriyle tanımlanmış süreçlerin yönetilmesini zorunlu kılar (ISO, 2018, Madde 4.4). Bu yaklaşım, bir yönetim sisteminin yalnızca belirli bölümlerde değil, tüm operasyonlarda — tedarik zinciri, üretim, bakım, insan kaynakları gibi — tutarlı biçimde uygulanabilmesini sağlar. Örneğin, bir enerji yönetim sisteminde (ISO 50001) "enerji incelemesi" süreci, İSGYS'de (ISO 45001) "tehlike tanımlama" süreciyle kesişebilir; ikisinin de çıktısı, ortak bir "risk değerlendirme" sürecine girdi olabilir. Bu entegrasyon, süreç odaklı düşünce sayesinde mümkün olur ve kaynak israfını önler, veri tutarlılığını artırır (Zeng et al., 2015).

PUKÖ döngüsü ve süreç odaklılık, yönetim sistemlerini stratejik, entegre ve sürdürülebilir hale getirir. PUKÖ, sistemin sürekli gelişmesini sağlarken; süreç odaklılık, bu gelişmenin tüm organizasyon genelinde tutarlı ve koordineli şekilde yayılmasını destekler. Araştırmalar, bu iki ilkeyi etkin şekilde uygulayan kuruluşların operasyonel verimlilik, kaynak verimliliği, çalışan memnuniyeti ve kurumsal dayanıklılık açısından önemli kazanımlar elde ettiğini göstermektedir (Talib et al., 2013; Fernández-Muñiz et al., 2020). Dolayısıyla PUKÖ ve süreç odaklı yaklaşım, modern yönetim sistemlerinin felsefi temelini oluşturmaktadır: iyileşme, bir defalık bir proje değil, örgütün DNA'sına işlenmiş sürekli bir görevdir.

2.3.Entegre Yönetim Sistemleri

Entegre Yönetim Sistemleri (EYS), kuruluşların kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği, enerji, bilgi güvenliği gibi yönetim alanlarını etkileşimli ve bütüncül bir yapı içinde ele almalarını sağlayan çağdaş bir yönetim modelidir (Zeng et al., 2011; Bernardo et al., 2015).

2.3.1. Entegre Yönetim Sistemleri Kavramı

Entegre yönetim sistemi, bir kuruluşta yürütülen birden fazla yönetim sistemi standardının (örneğin kalite, çevre, İSG, enerji) ortak politika, süreçler, dokümantasyon ve denetim mekanizmaları altında bütünleşik biçimde yürütülmesini ifade etmektedir (Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017). Bu yaklaşımda amaç, her bir standardın gerekliliklerini ortadan kaldırmak değil; benzer ve örtüşen hükümleri tek bir çatı altında toplayarak yönetim sistemini sadeleştirmek, mükerrerlikleri azaltmak ve kurumsal öğrenmeyi güçlendirmektir (Tutko & Woźniak, 2023).

Geleneksel yaklaşımda ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 ve ISO 50001 gibi standartlar çoğu zaman farklı zamanlarda, farklı danışmanlarla, farklı sorumlu birimler tarafından kurulmakta; bu da benzer prosedürlerin tekrar yazılmasına, ayrı ayrı iç denetim ve dış tetkik süreçlerinin yürütülmesine ve çalışanlar açısından karmaşık bir doküman yapısının oluşmasına yol açmaktadır (Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017; Ispas et al., 2025). Oysa entegrasyon yaklaşımıyla; (i) tek bir yönetim politikası (örneğin kalite–çevre–İSG–enerji politikası), (ii) ortak amaç ve hedefler (enerji performansı, kaza oranları, uygunluk, sürdürülebilirlik göstergeleri), (iii) ortak süreçler (risk ve fırsat yönetimi, eğitim, iletişim, doküman kontrolü, iç denetim, yönetimin gözden geçirmesi), daha tutarlı ve anlaşılır bir sistem kurgusuna dönüştürülebilmektedir (Tutko & Woźniak, 2023). Bu sayede hem üst yönetim hem de çalışanlar, farklı standartların ayrı dilini takip etmek yerine, tek bir entegre yönetim sistemi dili üzerinden hareket edebilmektedir (DNV, 2023; Enerjisa, 2024).

Entegre yönetim sistemlerinin başlıca avantajları; (i) aynı sürecin (örneğin risk değerlendirmesi, eğitim planlaması, iç denetim) farklı standartlar için ayrı ayrı kurgulanması yerine ortak bir süreç altında birleştirilmesiyle tekrarların azaltılması, (ii) yönetim zamanı, insan kaynağı ve finansal kaynakların daha etkin kullanılması ve çoklu denetim yerine entegre denetim yapılabilmesi yoluyla kaynak verimliliğinin artırılması, (iii) farklı alanlardaki (İSG, enerji, çevre) risklerin aynı veri tabanı, aynı göstergeler ve aynı PUKÖ döngüsü içinde ele alınması sayesinde daha tutarlı karar alma süreçlerinin desteklenmesi ve (iv) çevresel ve sosyal performansın kurumsal strateji ve iş hedefleriyle bütünleşik biçimde değerlendirilmesiyle sürdürülebilirlik odağının güçlendirilmesi şeklinde özetlenebilmektedir (Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017; Tutko & Woźniak, 2023; Ispas et al., 2025).

Tablo 2.7'de özetlenen yapısal, fonksiyonel ve kültürel entegrasyon bileşenleri; ortak süreç ve prosedürlerin birleştirilmesiyle bürokratik yüklerin azaltılmasını, kalite–çevre–enerji–İSG gibi alanlarda hedeflerin uyumlaştırılmasıyla kaynakların etkin kullanılmasını ve çalışanların çoklu sistem farkındalığıyla hareket etmesini sağlayarak kurumsal öğrenme ile sürdürülebilirlik kültürünü güçlendirmektedir.

Tablo 2.7: Entegre Yönetim Temel Bileşenleri

BİLEŞEN	AÇIKLAMA	KATKI ALANI
Yapısal Entegrasyon	Ortak süreçlerin, prosedürlerin ve yönetim döngülerinin birleştirilmesi	Bürokratik yüklerin azaltılması, süreç basitleştirme
Fonksiyonel Entegrasyon	Kalite, çevre, enerji, İSG gibi alanların hedeflerinin uyumlaştırılması	Çatışmasız hedef yönetimi ve kaynak optimizasyonu
Kültürel Entegrasyon	Çalışanların çoklu sistem farkındalığıyla hareket etmesi	Kurumsal öğrenme, katılım ve sürdürülebilirlik kültürü

Metal gibi enerji yoğun ve yüksek riskli sektörlerde, ISO 45001 ve ISO 50001'in bu üç entegrasyon boyutu çerçevesinde entegre olarak uygulanması, hem iş kazalarının hem de enerji israfının aynı anda ve tutarlı bir sistem içinde yönetilebilmesine imkan tanıdığı için, entegre yönetim sistemi yaklaşımı bu çalışma bağlamında stratejik önem taşımaktadır.

2.3.2. Yüksek Seviye Yapı ve Yapısal Uyum

i. “Yüksek Seviye Yapı (High Level Structure – Annex SL)” modeli, tüm yeni ve revize edilen ISO yönetim sistemi standartlarında ortak başlık yapısı, ortak çekirdek metin ve ortak terminoloji kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (ISO, 2015; ISO, 2018). Yüksek Seviye Yapı Modeli’nin temel ilkeleri kısaca şunlardır:

ii. Yönetim sistemi standartlarının on ana bölümden (kapsam, atıf yapılan standartlar, terimler ve tarifler, kuruluşun bağlamı, liderlik, planlama, destek, operasyon, performans değerlendirmesi, iyileştirme) oluşması,

iii. Risk temelli düşünme ve PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem al) döngüsünün tüm standartlarda ortak çerçeve olarak benimsenmesi,

iv. “Kuruluşun bağlamı”, “ilgili taraflar”, “liderlik” ve “katılım” gibi kavramların, tüm yönetim sistemlerinin temelini oluşturan çekirdek unsurlar olarak tanımlanması,

v. Farklı standartlarda yer alan özel gerekliliklerin, bu ortak yapı içine yerleştirilen “modüller” şeklinde kurgulanması.

Bu çerçevede ISO 45001 ve ISO 50001; aynı madde yapısını (Madde 4–10 arası), benzer başlık adlarını, PUKÖ döngüsüne dayalı ortak yönetim mantığını paylaşmakta; yalnızca odaklandıkları risk türleri ve performans göstergeleri (İSG performansı – enerji performansı) bakımından farklılaşmaktadır.

ISO’nun standart geliştirme süreci, teknik komiteler (TC) ve proje komiteleri (PC) aracılığıyla yürütülmektedir (International Organization for Standardization [ISO], 2019). Örneğin ISO/TC 301 (Enerji Yönetimi) ve ISO/PC 283 (İSG Yönetim Sistemleri), hem kendi aralarında hem de ISO/TC 207 (Çevre Yönetimi) ile koordineli çalışarak sürdürülebilirlik odaklı ortak yaklaşımlar geliştirmiştir (ISO, 2018). Bu iş birliği, yönetim sistemi standartlarının teknik, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu olmasını ve farklı standartların tek çatı

altında entegre uygulanabilir bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (ISO, 2015, 2018).

Bu bütüncül tasarım sayesinde, bir işletme ISO 45001 veya ISO 50001'i uygulamaya koyduğunda, aynı çerçeve içinde diğer standartları entegre etmesi de yapısal olarak kolaylaşmaktadır.

2.3.3. ISO 45001 ve ISO 50001'in Yapısal Benzerlikleri ve Farklılıkları

ISO 45001 ve ISO 50001, Yüksek Seviye Yapı çerçevesinde geliştirilmiş yönetim sistemi standartlarıdır. Bu nedenle, her iki standart da aynı madde iskeletini, benzer terminolojiyi ve PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem al) döngüsünü temel alan ortak bir yönetim mantığını paylaşmaktadır. Aralarındaki temel fark, odaklandıkları risk alanları ve performans göstergelerinden kaynaklanmakta; buna karşın entegrasyon açısından kritik olan yönetimsel yapı ve süreçler büyük ölçüde örtüşmektedir (ISO, 2018).

2.3.3.1. Ortak Madde Yapısı ve Yönetim Mantığı

ISO 45001 ve ISO 50001, "Yüksek Seviye Yapı" gereği aynı on maddelik ana iskeleti paylaşmaktadır. Her iki standartta da Madde 1 "Kapsam", Madde 2 "Atıf yapılan standartlar" ve Madde 3 "Terimler ve tarifler" başlıklarını taşımakta; bu üç madde, standardın hangi faaliyet alanlarında geçerli olduğunu, hangi tamamlayıcı normatif dokümanlara atıf yaptığını ve metinde kullanılan temel kavramların nasıl tanımlandığını ortaya koyan giriş bölümünü oluşturmaktadır. Entegrasyon açısından kritik olan çekirdek kısım ise, yönetim sistemi mantığının detaylandığı 4–10. maddelerden oluşmaktadır. Her iki standartta da:

Madde 4 – Kuruluşun bağlamı: Kuruluşun iç ve dış bağlamı, ilgili tarafların beklentileri ve yönetim sisteminin kapsamı tanımlanır. ISO 45001'de bu bağlam daha çok iş kazaları, meslek hastalıkları ve çalışanların sağlık–güvenlik koşulları

üzerinden; ISO 50001'de ise enerji tüketimi, enerji kullanımı ve enerji verimliliği üzerinden şekillenmektedir.

Madde 5 – Liderlik: Üst yönetimin taahhüdü, politika oluşturma ve rollerin, sorumlulukların belirlenmesi ele alınır. Her iki standart da politika düzeyinde "uygunluk yükümlülüklerine uyma", "sürekli iyileştirme" ve "kaynak sağlama" taahhüdünü zorunlu kılar.

Madde 6 – Planlama: Risklerin ve fırsatların belirlenmesi, hedeflerin ve bu hedeflere ulaşmak için planların oluşturulması yer alır. ISO 45001'de İSG riskleri ve fırsatları, ISO 50001'de ise enerji performansı riskleri ve fırsatları ele alınır; ancak her iki standartta da risk temelli düşünme esastır.

Madde 7 – Destek: Kaynaklar, yetkinlik, farkındalık, iletişim ve dokümante edilmiş bilgi başlıkları altında, yönetim sisteminin sürdürülebilirliği için gerekli destekleyici unsurlar tanımlanır.

Madde 8 – Operasyon: Operasyonel planlama ve kontrol, acil durum hazırlığı ve müdahale süreçleri ele alınır. ISO 50001'de enerjiyle ilgili operasyonel kontrol (örneğin, enerji performans göstergelerinin izlendiği ekipman ve prosesler), ISO 45001'de ise İSG tehlikelerinin kontrol edildiği çalışma ortamı ve süreçler ön plandadır.

Madde 9 – Performans değerlendirmesi: İzleme, ölçme, analiz, iç denetim ve yönetimin gözden geçirmesi süreçleri her iki standartta da benzer yapıdadır; yalnızca ölçülen göstergeler değişmektedir (kaza sıklığı, meslek hastalığı oranı, enerji tüketimi, EnPI vb.).

Madde 10 – İyileştirme: Uygunsuzlukların ele alınması, düzeltici faaliyetler ve sürekli iyileştirme adımları tanımlanır ve PUKÖ döngüsünün "Kontrol et – Önlem al" halkası bu maddeyle tamamlanır.

Bu ortak mimari, ISO 45001 ve ISO 50001'in tek tek kurulmasındansa tek bir entegre yönetim sistemi içinde kurgulanmasını yapısal olarak mümkün kılmaktadır.

2.3.3.2. Odak Alanları ve Temel Kavramlar

ISO 45001 ve ISO 50001 arasındaki farklılıklar, esas olarak odaklandıkları risk alanları ve performans kavramları üzerinden ortaya çıkmaktadır. ISO 45001'de temel kavram "İSG performansı" olup; kaza sıklığı ve şiddeti, meslek hastalığı oranı, ramak kala olaylar ve çalışan katılım düzeyi gibi göstergelerle izlenmektedir (ISO, 2018). ISO 50001'de ise ana kavram "enerji performansı"dır; enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi düzeylerinin bileşimi olarak tanımlanmakta, enerji tasarrufu miktarı ile enerji kaynaklarının ne ölçüde etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanıldığını da kapsayan çatı bir gösterge niteliği taşımaktadır (ISO, 2018).

Bununla birlikte, ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ve ISO 45001 (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi), kurumsal sürdürülebilirlik yaklaşımı içinde ortak bir yönetsel felsefeyi paylaşmaktadır. Her iki standart da Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsüne dayalıdır ve risk temelli düşünme, liderlik, katılımcı yönetim ve sürekli iyileştirme ilkeleri üzerinden birbirini tamamlayan bir yapı sergilemektedir (ISO, 2018). Enerji yönetimi ile iş sağlığı ve güvenliği arasındaki etkileşim özellikle operasyonel kontrol, performans izleme ve yasal uyum başlıklarında belirginleşmektedir. Enerji verimliliği uygulamaları (örneğin motor modernizasyonu, atık ısı geri kazanımı, aydınlatma optimizasyonu), enerji tüketimini azaltırken aynı zamanda gürültü, titreşim, ısı maruziyeti ve yangın riski gibi İSG boyutlarında da iyileşme sağlayabilmektedir (Çiçek ve Demirtaş, 2021). Bu nedenle ISO 50001 ve ISO 45001 standartlarının entegre uygulanması, işletmelerin hem çevresel hem de insani riskleri sistematik biçimde yönetmesini mümkün kılmaktadır.

ISO standartlarının 2015 sonrası revizyonlarıyla birlikte, Yüksek Düzey Yapı çerçevesinde ortak terminoloji ve madde yapısı benimsenmiştir. Bu ortak yapı, liderlik, planlama, destek, operasyon, performans değerlendirmesi ve iyileştirme gibi temel yönetim boyutlarında ISO 45001 ve ISO 50001 arasında yüksek düzeyde uyum

bulunduğunu göstermektedir (ISO, 2021). Tablo 2.8, iki standardın bu uyum alanlarını karşılaştırmalı olarak özetlemekte; özellikle bağlam analizi, risk ve fırsat yönetimi, operasyonel kontrol ve performans göstergelerinin izlenmesi gibi süreçlerdeki paralellikleri görünür kılmaktadır.

Bu karşılaştırmalı çerçeve, enerji yönetimi ile iş güvenliği performansının birbirini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Örneğin, üretim alanında enerji tüketimini azaltmaya yönelik otomasyon sistemleri, aynı zamanda insan–makine etkileşimini optimize ederek kaza riskini düşürebilmekte; böylece her iki standardın hedefi olan verimlilik ve güvenli çalışma ortamı birlikte sağlanmaktadır. Dolayısıyla enerji verimliliği hedefleri ile iş güvenliği hedeflerinin birlikte ele alınması, işletmelerde kaynak kullanımını optimize ederken aynı zamanda çalışan refahını artırma potansiyeli taşımaktadır (Fernández-Muñiz et al., 2020).

Tablo 2.8: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartları Arasındaki Uyum Alanları

UYUM ALANI	ISO 50001 İÇERİĞİ	ISO 45001 İÇERİĞİ	ENTEGRASYONUN FAYDASI
Bağlam Analizi	Kuruluşun enerji kullanımına ilişkin iç ve dış hususların belirlenmesi	Kuruluşun İSG bağlamında iç ve dış hususlarının belirlenmesi	Ortak stratejik planlama ve risk önceliklendirmesi
Liderlik ve Taahhüt	Enerji yönetimi politikası ve kaynak tahsisi	İSG politikası, liderlik sorumluluğu ve çalışan katılımı	Yönetim taahhüdünün iki sistemde bütünleştirilmesi
Risk ve Fırsat Yönetimi	Enerji verimliliği risk ve fırsatlarının değerlendirilmesi	İSG risk ve fırsatlarının değerlendirilmesi	Tek çerçevede bütünleşik risk matrisi oluşturulması
Performans İzleme	Enerji performans göstergeleri (EnPI)	İSG performans göstergeleri (Kaza sıklığı, şiddeti vb.)	Veri tabanlı karar verme ve sürekli i yileştirme
İç Denetim ve Gözden Geçirme	Enerji yönetimi denetimleri	İSG yönetimi denetimleri	Tekil denetim planı ile kaynak ve zaman tasarrufu

2.3.3.3. Ortak Yönler, Farklılıklar ve Sinerji Noktaları

ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ve ISO 45001 (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi), farklı yönetim alanlarını hedeflese de PUKÖ döngüsüne dayalı risk temelli yönetim anlayışı, liderlik ve çalışan katılımı vurgusu, performansın ölçülerek izlenmesi ve sürekli iyileştirme gerekliliği gibi açılardan ortak bir yönetsel felsefeyi paylaşmaktadır (ISO, 2018; Rebelo et al., 2016). Bununla birlikte, her bir standart kendi bağlamına özgü amaçlar, göstergeler ve paydaşlar tanımlar. Bu farklılaşmayı görünür kılmak üzere hazırlanan Tablo 2.9'da, iki standart "temel amaç", "ana ölçütler", "odak alanı" ve "temel paydaşlar" boyutlarında karşılaştırılmakta; ISO

50001'in enerji performansının artırılması ve enerji verimliliği hedeflerine, ISO 45001'in ise iş kazaları ile meslek hastalıklarının önlenmesi ve güvenli çalışma koşullarının sağlanmasına odaklandığı; buna karşılık her iki standardın da ölçülebilir performans göstergeleri ve çok disiplinli paydaş yapısı üzerinden kurumsal sürdürülebilirliği destekleyen tamamlayıcı çerçeveler sunduğu ortaya konulmaktadır.

Tablo 2.9: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartlarının Yapısal Farklılıkları

BOYUT	ISO 50001	ISO 45001
Temel Amaç	Enerji performansının artırılması ve enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleştirilmesi	İş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi, güvenli çalışma koşullarının sağlanması
Ana Ölçütler	Enerji performans göstergeleri (EnPI), enerji baz çizgisi (EnB)	Kaza sıklık oranı, şiddet oranı, ramak kala bildirim oranı
Odak Alanı	Enerji kaynakları, tüketim ekipmanları, proses verimliliği	Çalışan sağlığı, ergonomi, çevresel ve fiziksel riskler
Temel Paydaşlar	Enerji yöneticisi, bakım ekibi, çevre birimi	İSG uzmanı, işyeri hekimi, çalışan temsilcisi

Bu tamamlayıcılık, iki standardın birlikte uygulanması durumunda işletmeler için önemli bir sinerji potansiyeli yaratmaktadır. Enerji verimliliği projeleri (örneğin ekipman modernizasyonu, havalandırma ve aydınlatma optimizasyonu, atık ısı geri kazanımı) yalnızca enerji tüketimini ve maliyetleri azaltmakla kalmamakta; gürültü, ısı, titreşim ve yangın riski gibi İSG boyutlarında da iyileşmeye yol açarak çalışanların maruziyetini düşürebilmektedir (Çiçek & Demirtaş, 2021). Benzer biçimde, düzenli bakım ve proses kontrol faaliyetleri hem enerji kayıplarını azaltmakta hem de ekipman arızalarından kaynaklanabilecek iş kazalarının önlenmesine katkı sunmaktadır (Fernández-Muñiz et al., 2020). Dolayısıyla ISO 50001 ve ISO 45001'in entegre edilmesi, teknik verimlilik ile insan merkezli güvenliğin aynı yönetim yapısı altında buluştuğu, hem çevresel hem de sosyal sürdürülebilirlik performansını güçlendiren bütüncül bir yönetim kültürü oluşturmaktadır (Zwetsloot et al., 2013; Tanaka, 2015; ISO, 2018; IEA, 2022; EU-OSHA, 2023).

2.3.3.4. Süreç, Terminoloji ve Politika Uyumu

ISO 50001 ve ISO 45001 standartları, farklı odak alanlarına sahip olsalar da yönetim süreçleri, terminolojik yapı ve politika kurgusu bakımından yüksek düzeyde uyum

göstermektedir. Her iki standart da Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al (PUKÖ) döngüsüne dayalı bir yönetim modeli üzerine inşa edilmiş; risk temelli düşünme, liderlik, çalışan katılımı ve performansın ölçülerek izlenmesi gibi ortak ilkelere göre yapılandırılmıştır (ISO, 2018; ISO, 2018; Fernández-Muñiz et al., 2020). Tablo 2.10, bu yapısal uyumu süreç, ölçüm göstergeleri ve operasyonel uygulamalar boyutlarında özetlemekte; enerji yönetimi ve İSG yönetimi arasındaki entegrasyon fırsatlarını somut biçimde görünür kılmaktadır.

Bu çerçevede "risk temelli düşünme", "performans göstergesi (KPI/EnPI)", "sürekli iyileştirme", "liderlik", "katılım" ve "gözden geçirme" gibi kavramların her iki standartta da benzer anlamlarda kullanılması, dokümantasyonun bütünleşmesini ve disiplinler arası iletişimi kolaylaştırmaktadır.

Tablo 2.10: ISO 50001 ve ISO 45001 Süreçsel ve Yönetimsel Uyum Alanları

BOYUT	ISO 50001	ISO 45001	SİNERJİ / ENTEGRASYON ALANI
Temel Prensip	Sürekli iyileştirme, risk esaslı düşünme	Sürekli iyileştirme, risk esaslı düşünme	Ortak PUKÖ döngüsü
Ana Hedef	Enerji verimliliği, maliyet azaltma	Kazaların önlenmesi, çalışan sağlığı	Güvenli ve verimli üretim
Performans Göstergesi	EnPI (kWh/ton, MJ/m²)	TRIR, LTIFR, maruziyet süresi	Ortak raporlama paneli
Operasyonel Müdahale	Motor modernizasyonu, aydınlatma optimizasyonu	Koruyucu sistemler, bakım rutinleri	Frekans invertörü → hem enerji tasarrufu hem gürültü azaltımı
Yönetimsel Süreç	İç denetim, yönetim incelemesi	İç denetim, yönetim incelemesi	Ortak denetim ekibi

Politika düzeyinde ISO 50001 enerji politikasını verimlilik, kaynak optimizasyonu ve çevresel etki azaltımı etrafında; ISO 45001 ise çalışan sağlığı, güvenli çalışma koşulları ve risklerin ortadan kaldırılması ekseninde tanımlamakta, entegre yönetim sisteminde bu iki politika "güvenli ve verimli üretim" ortak hedefinde birleşmektedir. Böylece işletmeler, enerji ve İSG performansını aynı yönetim çatısı altında izleyip yönlendirerek hem yönetim kolaylığı hem de sürdürülebilir performans yönetimi açısından güçlü bir entegrasyon zemini elde etmektedir.

2.3.3.5. PUKÖ Döngüsü Bağlantısı

PUKÖ döngüsü, enerji performansı ve iş güvenliği süreçlerinin bütünleşik biçimde yönetilmesine olanak tanır. Her iki standartta da sistemin sürdürülebilirliği, planlama aşamasında risk ve fırsatların belirlenmesine, uygulama aşamasında gerekli

kaynakların etkin kullanımına, kontrol aşamasında performansın izlenmesine ve önlem aşamasında sürekli iyileştirme faaliyetlerinin yürütülmesine bağlıdır (Zeng et al., 2011; Rebelo et al., 2016). Bu bağlamda, iki standardın PUKÖ döngüsündeki karşılıkları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Tablo 2.11: ISO 50001 ve ISO 45001 Standartlarının PUKÖ Döngüsü Aşamalarına Göre Karşılaştırılması

PUKÖ AŞAMASI	ISO 50001 (ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ)	ISO 45001 (İSG YÖNETİM SİSTEMİ)
Planla	Enerji politikası oluşturulur, enerji performans göstergeleri (EnPI) tanımlanır, önemli enerji kullanımları belirlenir ve hedefler planlanır.	İSG politikası oluşturulur, tehlikeler tanımlanır, risk ve fırsatlar değerlendirilir, hedefler ve programlar planlanır.
Uygula	Enerji yönetim planları uygulanır, enerji verimliliğini artıracak operasyonel kontroller gerçekleştirilir.	Riskleri azaltmaya ve güvenli çalışma koşullarını geliştirmeye yönelik prosedürler uygulanır, çalışanlar eğitilir.
Kontrol Et	Enerji performansı izlenir, ölçümler yapılır, iç denetimlerle sistem etkinliği değerlendirilir.	İSG performansı (örneğin kaza sıklığı, ramak kala olay oranı) izlenir, iç denetimlerle sistemin uygunluğu değerlendirilir.
Önlem Al	Enerji performansındaki sapmalar analiz edilir, düzeltici ve önleyici faaliyetler planlanır, yönetim gözden geçirmesi yapılır.	İSG performansına ilişkin uygunsuzluklar değerlendirilir, düzeltici/önleyici eylemler uygulanır, sistem sürekli iyileştirilir.

PUKÖ döngüsünün bu yapısı, iki standardın entegrasyonunu teknik olarak kolaylaştırmaktadır (ISO, 2015; ISO, 2018). Enerji performansının artırılması ile çalışan güvenliğinin sağlanması, aynı yönetim sisteminde ortak planlama, ölçme, değerlendirme ve iyileştirme mekanizmaları üzerinden yürütülebilir (Tanaka, 2015; Zwetsloot et al., 2013; EU-OSHA, 2023). Böylece kuruluşlar hem enerji kaynaklarını etkin kullanır hem de güvenli çalışma ortamları oluşturarak sürdürülebilir bir performans elde eder (Grawitch, Gottschalk, & Munz, 2006).

2.3.3.6. ISO 45001-50001 Entegrasyonu İçin Ortak Süreçler ve Dokümantasyon

i. ISO 45001 ve ISO 50001'in entegre biçimde uygulanmasında en kritik adım, ortak süreçlerin belirlenmesi ve bu süreçlere ilişkin dokümantasyonun sadeleştirilmesidir (ISO, 2015; ISO, 2018; Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017; Tutko & Woźniak, 2023). Entegrasyon için başlıca ortak süreçler şunlardır:

i.Entegre politika: İSG, enerji, çevre ve kalite hedeflerini aynı çerçevede ele alan, yasal uygunluk, sürekli iyileştirme ve kaynak sağlama taahhütlerini ortak ifade eden tek bir yönetim politikası.

ii.Ortak risk ve fırsat yönetimi: Tehlike tanımlama, risklerin ve fırsatların belirlenmesi adımlarının, hem İSG hem enerji risklerini kapsayacak şekilde tek bir metodolojiyle yürütülmesi (örneğin aynı risk envanterinde hem enerjiyle ilişkili riskler hem de İSG riskleri yer alabilir).

iii.Eğitim ve farkındalık: Çalışanlara verilen eğitimlerin (örneğin bakım, proses kontrol, makine kullanımı) hem İSG hem de enerji verimliliği boyutlarını içerecek biçimde entegre tasarlanması.

iv.İletişim ve çalışan katılımı: Çalışan temsilcilerinin, İSG kurulları ve enerji verimliliği ekiplerinin ortak platformlarda bir araya gelerek karar süreçlerine katılması.

v. Doküman ve kayıtların yönetimi: Prosedür, talimat ve kayıtların, "İSG ayrı, enerji ayrı" mantığıyla değil, tek bir süreç yaklaşımıyla (örneğin "Bakım ve Operasyonel Kontrol Prosedürü") yapılandırılması.

vi. İç denetim ve yönetimin gözden geçirmesi: İSG ve enerji yönetim sistemlerinin ayrı ayrı denetlenmesi yerine, entegre iç denetim planı ve tek bir yönetimin gözden geçirmesi toplantısı ile bütüncül değerlendirme yapılması.

Bu ortak süreçlerin, çalışma kapsamındaki metal işletmesi gibi orta ölçekli kuruluşlarda üç katmanlı bir mimariyle ele alınması mümkündür:

i. Stratejik katman: Entegre politika, uzun vadeli İSG–enerji hedefleri, üst yönetim taahhüdü ve kaynak tahsisi.

ii. Operasyonel katman: Proses bazlı risk değerlendirme, bakım ve işletme talimatları, günlük operasyonel kontrol faaliyetleri.

iii. İzleme ve iyileştirme katmanı: Performans göstergelerinin (kaza oranı, enerji tüketimi, uygunluk durumu vb.) izlenmesi, iç denetimler ve yönetimin gözden geçirmesi ile sürekli iyileştirme döngüsünün işletilmesi.

Bu yapı, hem İSG performansının hem de enerji performansının aynı yönetim sisteminin iki tamamlayıcı yüzü olarak ele alınmasına imkan tanımaktadır.

2.3.4. Entegrasyonun Temel İlkeleri, Faydaları ve Uygulama Engelleri

Entegre yönetim sisteminin etkin bir biçimde tasarlanması ve uygulanması, aşağıdaki temel ilkelere dayanmaktadır(Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017):

i. Ortak Yapı ve Terminoloji :Tüm ISO yönetim standartları, 2015 sonrası dönemde ortak bir yapı olan Yüksek Seviye Yapı modeline göre tasarlanmıştır. Bu model, standartlar arasında kavramsal bütünlük ve süreç uyumu sağlar.

ii. Süreç Odaklı Yaklaşım:Entegrasyon, birbirini destekleyen süreçlerin eşgüdümünü gerektirir. Enerji yönetimi ve İSG süreçleri, planlama, uygulama, izleme ve iyileştirme adımlarında aynı mantık zinciriyle yönetilmelidir.

iii. Risk ve Fırsat Temelli Düşünme:ISO 50001'de enerji verimsizliği, ISO 45001'de ise iş kazası riski temel tehdit alanlarıdır. Her iki standartta da risklerin tanımlanması ve fırsatların değerlendirilmesi sistemin temel dinamiğini oluşturur.

iv. Liderlik ve Katılım:Üst yönetimin kararlılığı ve çalışanların aktif katılımı entegrasyonun başarısını belirler. Yönetim, ortak politika ve hedefleri destekleyecek bir kültür oluşturmalıdır.

v. Sürekli İyileştirme: PUKÖ döngüsüne dayanan her iki sistem, performansın sürekli ölçülmesini, analiz edilmesini ve iyileştirilmesini zorunlu kılar.

Entegre yönetim sistemlerinin işletmelere sağladığı başlıca faydalar arasında, ortak süreç ve hedeflerin uyumlaştırılmasıyla zaman ve kaynak israfının azaltılması, operasyonel maliyetlerin düşürülmesi ve buna bağlı olarak verimlilik ile kaynak yönetiminin güçlenmesi yer almaktadır (Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017; Tutko & Woźniak, 2023). Ayrıca, tüm yönetim sistemlerinin aynı politika ve hedef çerçevesinde yönetilmesi kurumsal tutarlılığı ve stratejik bütünlüğü desteklemekte;

enerji ve İSG gerekliliklerine eşzamanlı uyum, mevzuata uygunluğun artmasına ve kurumsal itibarın güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Ispas et al., 2025; DNV, 2023). Diğer taraftan, hem enerji hem de İSG risklerinin bütüncül biçimde yönetilebilmesi risk düzeylerinin azaltılmasını; çevresel, sosyal ve ekonomik göstergelerin eşgüdümlü yönetimi sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sunan sürdürülebilirlik performansının geliştirilmesini; ortak veri toplama ve raporlama süreçleri ise kurum içi öğrenmenin ve bilgi temelli karar alma mekanizmalarının güçlenmesini mümkün kılmaktadır (ISO, 2015; ISO, 2018).

Her ne kadar entegrasyon önemli faydalar sunsa da, uygulama sürecinde çeşitli yapısal ve kültürel engellerle karşılaşılabilmektedir; bu engeller (i) çalışanların değişime karşı isteksizliğinin yeni sistemlere uyum sürecini yavaşlatmasına yol açtığı kültürel direnç, (ii) üst yönetimin entegrasyona stratejik öncelik vermemesi sonucunda ortaya çıkan kaynak yetersizliği ve motivasyon eksikliği şeklinde görülen yönetimsel yetersizlik, (iii) farklı sistemlerin veri toplama, analiz ve raporlama yöntemlerinin uyumsuzluğundan kaynaklanan teknik ve dokümantasyon uyumsuzluğu, (iv) entegrasyonun gerekleri hakkında yetersiz bilgi nedeniyle uygulamada hatalara ve performans kayıplarına neden olan eğitim ve farkındalık eksikliği ve (v) ortak göstergelerin tanımlanmaması veya etkin performans ölçüm araçlarının bulunmaması sonucunda sistemin sürdürülebilirliğini zayıflatan izleme ve değerlendirme zorlukları olarak özetlenebilmektedir (Zeng, Shi, & Lou, 2007; Salomone, 2008; Bernardo, Casadesús, Karapetrovic, & Heras, 2009).

2.3.5. Enerji-İSG Entegrasyonu İçin Kavramsal Model Önerisi

ISO 50001 (Enerji Yönetim Sistemi) ve ISO 45001 (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi) standartlarının entegrasyonu, işletmelerde sürdürülebilir performans yönetiminin bütüncül bir çerçevede yürütülmesini sağlar. Bu entegrasyon, enerji verimliliği hedefleriyle iş sağlığı ve güvenliği hedeflerini aynı sistematik yapı içinde buluşturarak, hem çevresel hem de insani sürdürülebilirlik boyutlarını güçlendirir (Rebelo et al., 2016; Zeng et al., 2011).

i. Bu bölümde önerilen kavramsal model, enerji yönetimi ve İSG yönetimi arasındaki yapısal kesişim noktalarını sistem teorisi temelli bir çerçevede bütünleştirmektedir (von Bertalanffy, 1968; Jørgensen, Remmen, & Mellado, 2006). Modelin amacı, farklı standartların birbirini tamamlayan süreçleri üzerinden kurumsal sinerji yaratmak ve çift yönlü sürekli iyileştirme mekanizmasını güçlendirmektir (Deming, 1986; Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017). Kavramsal model, üç temel kuramsal yaklaşım üzerine inşa edilmiştir.

ii. Sistem Teorisi: Kuruluş, birbirine bağımlı alt sistemlerden oluşan bir bütün olarak ele alınır. Enerji yönetimi ve İSG yönetimi süreçleri, ortak kaynaklar ve hedefler üzerinden etkileşim halindedir.

iii. Süreç Odaklı Yaklaşım: Enerji performansı ve İSG performansı birbirini etkileyen süreçler olarak tanımlanır. Örneğin, enerji verimliliği yatırımları (otomasyon, havalandırma sistemleri vb.) aynı zamanda ergonomi ve çalışan güvenliğini de geliştirebilir.

iv. Sürekli İyileştirme (PUKÖ Döngüsü): Planlama, uygulama, izleme ve önlem alma aşamaları hem enerji hem de İSG yönetiminde ortak yapıyı temsil eder. Bu döngü, sistemin öğrenen bir organizasyon yapısı içinde evrilmesini sağlar.

Önerilen kavramsal model, üç etkileşimli katmandan oluşmaktadır. Bu yapı, hem süreçler arası hem de stratejiden uygulamaya entegrasyonu mümkün kılmaktadır.

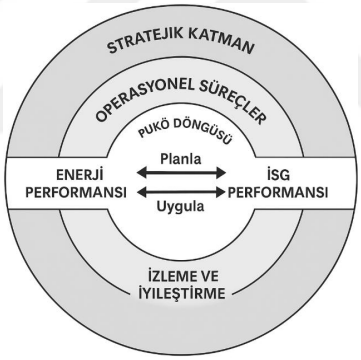
Tablo 2.12: Enerji ve İSG Yönetim Sistemleri Entegrasyon Modelinin Yapısı

KATMAN	İÇERİK	AMAÇ
Stratejik Katman	Üst yönetim politikası, vizyon, hedefler, enerji ve İSG entegrasyon stratejisi	Kurumsal yönelim ve kaynak tahsisinin ortak bir politika altında yürütülmesi
Operasyonel Katman	Enerji verimliliği süreçleri, tehlike tanımlama, risk-fırsat yönetimi, bakım ve proses kontrolü	Günlük operasyonlarda enerji ve güvenlik süreçlerinin eşgüdümü
İzleme ve İyileştirme Katmanı	Performans göstergeleri (EnPI, kaza sıklığı, ramak kala oranı vb.), iç denetim, yönetimin gözden geçirmesi	Ortak göstergelerle performansın ölçülmesi, veri tabanlı sürekli iyileştirme

Modelin merkezinde ortak PUKÖ döngüsü bulunmaktadır; bu döngü, iki yönetim sisteminin birbirini besleyen süreçlerini bütünleştirir ve (i) Planla aşamasında enerji

ve İSG politikalarının ortak hedeflere bağlanmasını ve risk ile fırsat analizlerinin birlikte yürütülmesini, (ii) Uygula aşamasında enerji verimliliği projeleri ile güvenli çalışma prosedürlerinin aynı operasyonel kontrol planına entegre edilmesini, (iii) Kontrol Et aşamasında enerji performans göstergeleri (EnPI) ile İSG metriklerinin ortak bir veri tabanında izlenmesini ve (iv) Önlem Al aşamasında düzeltici faaliyetlerin hem enerji kayıplarını hem de güvenlik risklerini azaltacak biçimde planlanmasını sağlamaktadır (Deming, 1986; ISO, 2018; Jørgensen, Remmen, & Mellado, 2006; Nunhes, Bernardo, & Oliveira, 2017).

Şekilde, üç katmanlı yapı ve merkezde PUKÖ döngüsü yer almaktadır. Bu döngü, enerji ve İSG süreçlerinin karşılıklı etkileşimli olarak yönetilmesini sağlamaktadır. Dış halkada stratejik katman, orta halkada operasyonel süreçler, iç halkada ise izleme ve iyileştirme yer almaktadır. Merkezde enerji performansı ile İSG performansı arasındaki çift yönlü etkileşimi gösteren oklar bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Enerji–İSG Entegrasyonu İçin Önerilen Kavramsal Model

Önerilen modelin işletmelere sağlayacağı temel kazanımlar; (i) enerji verimliliği uygulamaları ile iş güvenliği performansının aynı yönetim sistemi içinde eş zamanlı ve dengeli biçimde optimize edilmesi, (ii) kaynak kullanımında tasarruf sağlanması ve veri toplama ile raporlama süreçlerinde sadeleşme, (iii) yönetim kararlarının ölçülebilir, karşılaştırılabilir ve izlenebilir göstergelere dayandırılması ve (iv) kurumsal sürdürülebilirlik, paydaş güveni ve mevzuata uyum düzeyinde artış sağlanması şeklinde özetlenebilir.

Bu model, özellikle enerji yoğun sektörlerde (örneğin metal, kimya, çimento) uygulanabilirliği yüksek bir çerçeve sunmakta ve işletmelerin hem çevresel hem de sosyal performanslarını güçlendiren bütünleşik bir yönetim yaklaşımı önermektedir.

2.3.6. Entegre Yönetim Sistemlerinde Performans, Uyum ve Sürdürülebilirlik

Entegre yönetim sistemleri, dokümantasyonu sadeleştiren bir araç olmanın ötesinde; kurumsal performans, yasal uyum ve sürdürülebilirlik açısından değer üreten bir yönetim yaklaşımıdır. ISO 45001 ve ISO 50001'in entegrasyonu, performans ve uyum boyutunda aşağıdaki katkıları sağlayabilmektedir:

i.Performans: Enerji yönetimi açısından performans; enerji performans göstergeleri (EnPI), enerji temel çizgisi (EnB), enerji yoğunluğu, tüketim eğilimleri ve verimlilik kazanımlarıyla ölçülmektedir. İSG performansı ise kaza sıklık oranı, ramak kala olay oranı, meslek hastalığı sıklığı, çalışan katılım düzeyi ve uygunsuzlukların giderilme süresi gibi göstergelerle değerlendirilmektedir. Kaza sıklığı ve enerji tüketimi gibi göstergelerin aynı tabloda izlenmesi, "güvenlik–verimlilik" dengesini daha net görmeyi sağlamaktadır. Örneğin, enerji verimliliği için yapılan bir proses iyileştirme, aynı zamanda fiziksel riskleri azaltıyorsa, bu çift yönlü fayda entegre sistemde daha görünür hale gelmektedir.

Entegre yönetim sistemlerinde performans, belirli metriklerin izlenmesinin yanısıra; kurumsal hedeflerin ölçülebilir çıktılara dönüştürülmesi sürecidir. ISO 50001 ve ISO 45001 standartları, performans yönetimini PUKÖ döngüsü temelinde ele alır ve her iki sistemde de veriye dayalı karar alma mekanizmaları oluşturur.

Entegre yönetim sistemlerinde uyum kavramı, yasal zorunlulukların karşılanması ile birlikte, etik, sosyal ve çevresel sorumlulukların bütüncül biçimde yönetilmesidir. ISO 45001 ve ISO 50001, kuruluşların ulusal ve uluslararası mevzuatlara uyum sağlamasını, ilgili tarafların beklentilerini dikkate almasını ve bu gereklilikleri dokümante edilmiş bilgilere dayalı olarak izlemelerini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, (i) enerji mevzuatı (ör. 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu,

yönetmelikler), (ii) iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı (ör. 6331 Sayılı İSG Kanunu ve bağlı yönetmelikler), (iii) çevre ve sürdürülebilirlik politikaları (ör. Avrupa Yeşil Mutabakatı, karbon emisyon raporlama yükümlülükleri) tek bir yönetim sisteminde bütünleştirilerek izlenir. Bu durum, denetim maliyetlerini azaltır, uygunsuzluk riskini düşürür ve kurumsal şeffaflığı artırır.

Entegre yönetim sistemleri, sürdürülebilirlik kavramını çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla bütünleştirmektedir. Enerji yönetimi, çevresel sürdürülebilirliğin (karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliği); İSG yönetimi ise sosyal sürdürülebilirliğin (çalışan sağlığı, güvenliği, refahı) temelini oluşturmaktadır. Bu iki sistemin entegrasyonu, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile doğrudan ilişkilidir:

Tablo 2.13: Entegrasyonunun Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile İlişkisi

SKA NO	AMAÇ BAŞLIĞI	ENTEGRE YÖNETİM SİSTEMİ İLİŞKİSİ
7	Erişilebilir ve Temiz Enerji	Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji uygulamalarıyla enerji yönetiminin desteklenmesi
8	İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	Güvenli çalışma ortamı ve çalışan refahının artırılmasıyla İSG performansının güçlendirilmesi
9	Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı	Akıllı üretim teknolojileri, enerji optimizasyonu ve güvenli endüstriyel altyapı
12	Sorumlu Tüketim ve Üretim	Enerji ve malzeme israfının azaltılması, kaynak yönetimi süreçlerinin entegrasyonu
13	İklim Eylemi	Enerji verimliliği ve karbon azaltım projeleri aracılığıyla çevresel sürdürülebilirlik katkısı

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Deseni ve Yöntemsel Yaklaşım

Araştırma, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetiminin bütüncül bir sistem perspektifiyle ele alınmasını ve ISO 45001 ile ISO 50001 standartlarının entegrasyon potansiyelinin, İstanbul'da faaliyet gösteren bir metal işletmesi örneği üzerinden ortaya konmasını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda araştırma, karma yöntemli tek vaka çalışması deseni ile yapılandırılmıştır.

Bu kapsamda, araştırmanın örnek olayını İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi oluşturmaktadır. İşletme, özellikle kaynak ve montaj, boya ve fırın hattı, kompresör odası ve ağır kaldırma–malzeme taşıma süreçleri yönüyle hem enerji yoğun hem de iş sağlığı ve güvenliği risk profili belirgin olan tipik bir KOBİ niteliğindedir.

Tek vaka deseni, belirli bir örgütsel bağlamda işleyen yönetim sistemlerinin, süreçlerin ve paydaş etkileşimlerinin ayrıntılı biçimde incelenmesine imkan tanımakta; nicel verilerin yanı sıra bağlamsal ve nitel bilgilerin de analiz sürecine dahil edilmesine olanak vermektedir (Yin, 2018). Metal sektöründe iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetiminin aynı anda ele alınması, hem teknik hem de örgütsel boyutları bulunan karmaşık bir yapı ortaya çıkardığından, tek vaka deseni bu karmaşıklığı bütünlüklü biçimde yakalamak için uygun görülmüştür.

Araştırmada karma yöntem yaklaşımı benimsenmiştir. Nitel ve nicel veriler, birbirini tamamlayacak biçimde tasarlanmış ve aynı vaka bağlamında bütünleştirilmiştir. Nitel boyutta; üst ve orta kademe yöneticiler, iş sağlığı ve güvenliği uzmanı, enerji yöneticisi ve saha sorumluları ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler, yerinde gözlemler ve doküman incelemesi aracılığıyla, işletmedeki ISO 45001 ve

ISO 50001 uygulamalarının mevcut durumu, entegrasyon düzeyi, kurumsal kültür ve sürdürülebilirlik yaklaşımları analiz edilmiştir. Nicel boyutta ise, işletmenin kritik üretim süreçlerinde FMEA, HRNS ve Fine-Kinney yöntemleri uygulanarak İSG ve enerjiyle ilişkili riskler sistematik biçimde değerlendirilmiş ve önceliklendirilmiştir. Bu yönüyle çalışma, iç içe geçmiş karma desen özellikleri taşımakta; nicel risk analizleri, nitel vaka incelemesi içine gömülü bir bileşen olarak kurgulanmaktadır (Creswell & Plano Clark, 2017).

Araştırma deseni, çalışmanın önceki bölümlerinde sunulan kavramsal çerçeveye ve sistematik literatür taraması sonucunda elde edilen bulgulara dayanmaktadır. Yönetim sistemi standartlarının (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001 vb.) entegre biçimde uygulanmasının; kaynak kullanımında verimlilik, dokümantasyonda sadeleşme, performans göstergelerinde uyum ve paydaşlara karşı hesap verebilirlik gibi önemli yararlar sağladığı vurgulanmaktadır (Francisco et al., 2024; Gerek & Aydın, 2025). Enerji yönetim sistemi standardı ISO 50001'e ilişkin çalışmalar, enerji performansı göstergelerinin (EnPI), enerji temeli (EnB) kavramının ve sürekli iyileştirme döngüsünün, sektörel düzeyde önemli tasarruf ve sera gazı azaltım etkileri oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Alotaibi et al., 2025; Pandin et al., 2024).

Benzer biçimde, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi standartlarına (özellikle ISO 45001'e) ilişkin literatür, sistem yaklaşımı ve risk temelli düşünme sayesinde iş kazası oranlarının, meslek hastalıklarının ve ilgili maliyetlerin azaltılabileceğini; ancak sertifikasyonun tek başına otomatik bir performans artışı garantilemediğini göstermektedir (Joo & Baek, 2024; Morgado et al., 2019). Bu nedenle, entegre yönetim sistemlerini inceleyen güncel çalışmalar, entegrasyonu yalnızca doküman düzeyinde değil, risk analizi ve süreç yönetimi düzeyinde de ele alan modellerin gerekliliğini vurgulamaktadır (Mahmood et al., 2022; Rampasso et al., 2019).

Çalışmada benimsenen yöntemsel yaklaşım, söz konusu literatürden hareketle üç temel kabul üzerine inşa edilmiştir: (i) metal sektöründe sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimi, sosyo-teknik bir sistem olarak ele alınmalı; teknik önlemlerin yanında,

örgütsel yapı, kültür, çalışan katılımı ve yönetim sistemleri de beraberce değerlendirilmelidir (Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025; Yfanti, 2025), (ii) ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonu, risk temelli düşünme ilkesini merkeze alan bir yaklaşımla tasarlanmalı ve kritik proseslerdeki İSG ve enerji riskleri nicel yöntemlerle görünür kılınmalıdır (F. Yıldız, 2024; Pekcan, 2023; Özmen, 2025) ve (iii) entegre yönetim sistemi modeli, hem teorik bir çerçeve olarak hem de somut bir üretim ortamı üzerinde sınanmış, veri temelli ve uygulanabilir bir yapı olarak geliştirilmelidir (Francisco et al., 2024; Mahmood et al., 2022).

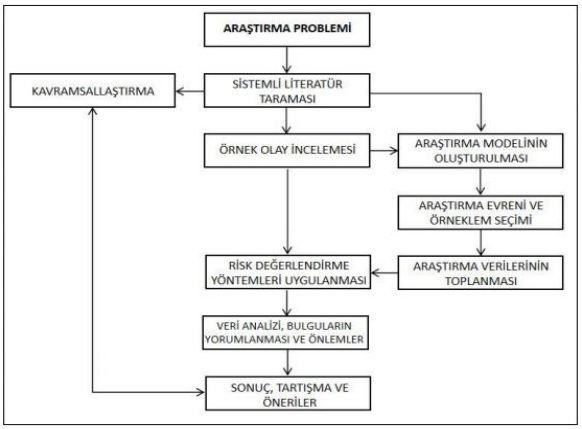
Bu çerçevede araştırma; bir yandan İstanbul'da faaliyet gösteren söz konusu metal işletmesinde yürütülen örnek olay incelemesi ile ISO 45001 ve ISO 50001'in mevcut uygulama düzeyini ve entegrasyon potansiyelini ortaya koymakta, diğer yandan FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleriyle elde edilen risk skorlarını kullanarak entegrasyonu destekleyici risk temelli bir yönetim modeli geliştirmeyi hedeflemektedir.

3.2. Araştırma Süreci ve Akış Diyagramı

Bu araştırmanın yöntemsel kurgusu, araştırma probleminin tanımlanması ve kavramsallaştırılmasından, sonuçların tartışılması ve uygulamaya yönelik önerilerin geliştirilmesine uzanan aşamalı ve döngüsel bir yapı üzerine inşa edilmiştir. Süreç, hem nitel hem de nicel bileşenleri içeren karma yöntem yaklaşımına uygun olarak kurgulanmış ve her bir aşama bir sonrakine girdi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Creswell & Plano Clark, 2017; Yin, 2018). Bu bütüncül süreci gösteren akış, Şekil 4.1'de özetlenmektedir.

Şekilde görüldüğü üzere, araştırma süreci "Araştırma Problemi"nin belirlenmesi ile başlamaktadır. Bu aşamada, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi alanlarındaki gelişmeler, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının yapısı ve metal sektöründeki uygulamalar bir arada değerlendirilerek temel araştırma soruları oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, problemin kuramsal temellerini güçlendirmek amacıyla "Kavramsallaştırma" ve "Sistematik literatür taraması" gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması kapsamında, yönetim sistemi standartlarının entegrasyonu, ISO 50001 uygulamalarının sonuçları, ISO 45001'in iş sağlığı ve güvenliği performansına etkileri ve metal endüstrisinde risk değerlendirme yaklaşımlarını konu alan çalışmalar incelenmiştir (Francisco et al., 2024; Gerek & Aydın, 2025; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025; Rampasso et al., 2019). Bu aşamada elde edilen bulgular, hem kavramsal çerçevenin hem de araştırma modelinin geliştirilmesine girdi sağlamıştır.



Şekil 3.1: Araştırma Akış Diyagramı

Üçüncü aşamada, literatürde tespit edilen boşluklar ve entegrasyon ihtiyacı doğrultusunda "Örnek olay incelemesi" yapılmasına karar verilmiştir. Dördüncü aşama, "Araştırma modelinin oluşturulması"dır. Bu adımda, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının ortak ve tamamlayıcı unsurları, risk temelli düşünme ilkesi ve sürdürülebilirlik yaklaşımı dikkate alınarak entegrasyona yönelik analitik bir çerçeve geliştirilmiştir. Söz konusu model, bir yandan işletmedeki İSG ve enerji yönetimi uygulamalarının olgunluk düzeyini değerlendirmeyi, diğer yandan FMEA, HRNS ve Fine-Kinney sonuçlarını bu çerçeveye bağlayarak entegrasyonu destekleyecek iyileştirme alanlarını ortaya koymayı amaçlamaktadır (Mahmood et al., 2022; Chiu, Lo, & Tsai, 2012).

Beşinci aşamada "Araştırma evreni ve örneklem seçimi" gerçekleştirilmiş; İstanbul'daki metal imalat işletmeleri evren olarak tanımlanırken, ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerini büyük ölçüde karşılayan orta ölçekli bir metal işletmesi amaçlı örnekleme yoluyla seçilmiştir. Aynı aşamada, yönetim kademeleri ve kritik prosesler düzeyinde hangi aktör ve süreçlerden veri toplanacağı da belirlenmiştir (Patton, 2015).

Altıncı aşama, "Araştırma verilerinin toplanması"dır. Bu kapsamda; üst ve orta kademe yöneticiler ile uzmanlarla yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmış, üretim alanlarında doğrudan gözlemler gerçekleştirilmiş ve işletmenin politika, prosedür, iş kazası kayıtları, enerji tüketim verileri gibi dokümanları incelenmiştir (Darabont et al., 2021; Alotaibi et al., 2025). Aynı süreçte, seçilen prosesler için FMEA, HRNS ve Fine-Kinney yöntemlerinde kullanılacak nicel veriler de derlenmiştir.

Yedinci aşamada, toplanan veriler ışığında "Risk değerlendirme yöntemlerinin uygulanması" adımına geçilmiştir. Bu adımda, her bir kritik proses için olası tehlikeler ve hata türleri tanımlanmış; FMEA, HRNS ve Fine-Kinney yöntemleri kullanılarak risk skorları hesaplanmıştır (F. Yıldız, 2024; Pekcan, 2023; Özmen, 2025). Böylece, hem İSG hem de enerji yönetimi açısından öncelikli risk alanları belirlenmiş ve entegrasyon modeline veri sağlayacak nicel çıktılar elde edilmiştir.

Sekizinci aşama, "Veri analizi, bulguların yorumlanması ve öneriler"dir. Bu aşamada nitel ve nicel veriler bir arada değerlendirilmiş; yönetim sistemi uygulamaları, örgütsel bağlam, risk skorları ve enerji performansı göstergeleri bütünleşik bir bakış açısıyla analiz edilmiştir (Creswell & Plano Clark, 2017). Elde edilen bulgular, hem literatürle karşılaştırılmış hem de ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonuna yönelik önerilen model çerçevesinde yorumlanmıştır.

Son aşamada, akış diyagramında "Sonuç, tartışma ve öneriler" olarak ifade edilen bölüm kapsamında, çalışmanın temel sonuçları sentezlenmiş; metal sektöründe sürdürülebilir İSG ve enerji yönetimine katkıları tartışılmış; işletmelere, politika yapıcılara ve araştırmacılara yönelik öneriler geliştirilmiştir. Diyagramda

kavramsallaştırma kutusuna geri dönen ok, araştırmanın döngüsel ve öğrenmeye açık yapısını simgelemekte; elde edilen sonuçların yeni araştırma sorularına ve geliştirilmiş modellere zemin oluşturacağını göstermektedir (Yfanti, 2025; Gerek & Aydın, 2025).

Bu sistematik akış, çalışmanın rastlantısal bir uygulama çalışması olmasının ötesine geçmesini; kuramsal çerçeve, yöntem, uygulama ve sonuçlar arasında tutarlı ve izlenebilir bir bağ kurulmasını sağlamaktadır.

3.3. Araştırma Evreni ve Örneklem

Araştırmanın evrenini, İstanbul'da metal imalatı alanında faaliyet gösteren işletmeler oluşturmaktadır. Ana metal sanayi ve fabrikasyon metal ürünleri imalatı, hem kullanılan ekipman ve prosesler hem de maruz kalınan tehlike türleri bakımından yüksek riskli sektörler arasında yer almakta; bu işletmeler aynı zamanda yüksek enerji tüketimi, emisyon yoğunluğu ve iş kazası sıklığı ile dikkat çekmektedir (Erin, 2021; Gün, 2022). Bu nedenle, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetiminin entegrasyonunu incelemek üzere metal sektörünün evren olarak seçilmesi, hem teori hem de uygulama açısından anlamlı görülmüştür.

Bununla birlikte, araştırma deseni gereği çalışmada derinlemesine inceleme ve karma yöntem yaklaşımı benimsendiğinden, geleneksel anlamda geniş örneklemli nicel tasarımlar yerine, ayrıntılı veri toplanmasına imkan veren örnek olay (vaka) odaklı bir yapı tercih edilmiştir (Yin, 2018). Bu doğrultuda, evreni temsil etme potansiyeli yüksek, belirli ölçütleri karşılayan bir işletmeye odaklanmak amacıyla amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır (Patton, 2015).

Amaçlı örnekleme kapsamında araştırma alanı olarak seçilecek metal işletmesinin; İstanbul'da faaliyet gösteren bir metal imalat işletmesi olması, iş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirmeleri, eğitimler ve kayıt sistemleri gibi temel unsurları içeren belirli bir kurumsal yapı ve uygulama düzeyine sahip bulunması, kesim, kaynak, kompresör, boya fırınları vb. enerji tüketimi yüksek proseslere sahip olması,

ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının temel gerekliliklerileriyle büyük ölçüde uyumlu prosedür ve uygulamaları yürütmesi ve yönetimin araştırmaya katılım ile veri paylaşımı konusunda istekli olması ölçütleri dikkate alınmıştır. Bu ölçütleri karşılayan, İstanbul'da faaliyet gösteren orta ölçekli bir metal işletmesi örnek olay olarak belirlenmiş ve çalışmanın birincil araştırma alanı haline gelmiştir. Söz konusu işletmenin seçimi, hem entegrasyon potansiyelini inceleyebilecek kadar gelişmiş bir yönetim sistemi altyapısına sahip olması hem de risk temelli iyileştirmelere ihtiyaç duyulan alanların sahada doğrudan gözlemlenebilmesine imkan tanıması bakımından uygun görülmüştür (Erin, 2021; Gün, 2022; Francisco et al., 2024).

Nitel veri toplama süreci açısından örneklem; üst yönetim (genel müdür veya fabrika müdürü), iş sağlığı ve güvenliği yöneticisi/uzmanı, enerji yönetimi sorumlusu, üretim müdürü ve ilgili hat şefleri ile bakım sorumlusu/teknik hizmetler yöneticisi gibi pozisyonlarda görev yapan kişilerden oluşmaktadır. Bu katılımcılar, hem yönetim sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasından sorumlu olmaları hem de sahadaki pratiklere ilişkin bilgileri nedeniyle bilgi açısından "zengin durum örnekleri" olarak değerlendirilmiştir (Patton, 2015). Nicel veri toplama sürecinde ise örneklem birimini, işletmedeki kritik proses adımları ve bu adımlarda yürütülen faaliyetler oluşturmaktadır. FMEA, HRNS ve Fine-Kinney analizleri, özellikle İSG ve enerji risklerinin yoğunlaştığı kaynak ve montaj hattı, boya ve fırın hattı, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi ile ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonları gibi süreçlerde yoğunlaştırılmıştır. Bu yaklaşım, metal sektöründe risk değerlendirmesi ve yönetim sistemleri uygulamalarını ele alan çalışmalarda önerilen proses bazlı ve risk odaklı örneklem seçimi ile uyumludur (Aker, 2019; Ateş, 2016; Yıldız, 2024). Sonuç olarak araştırmanın örneklem yapısı; örgütsel düzeyde işletme yönetimi ve uzmanlarından oluşan nitel katılımcı grubuna, proses düzeyinde ise FMEA, HRNS ve Fine-Kinney yöntemleriyle analiz edilen seçili süreç ve faaliyetlere dayanmaktadır. Bu yapı, çalışmanın karma yöntem doğasıyla uyumlu olarak hem yönetim sistemi entegrasyonunu hem de risk profilini aynı çerçevede değerlendirmeye olanak tanımaktadır (Creswell & Plano Clark, 2017; Yin, 2018).

3.4. Araştırma Alanı: İstanbul'da Faaliyet Gösteren Metal İşletmesi

Araştırmanın uygulama alanını, İstanbul'da faaliyet gösteren, sac metal işleme ve çelik konstrüksiyon imalatı yapan orta ölçekli bir metal işletmesi oluşturmaktadır. İşletme, ağırlıklı olarak sanayi ve altyapı projelerine yönelik metal konstrüksiyon elemanları, makine şasileri, taşıyıcı çelik yapılar ve özel imalat parçaları üretmektedir. Üretim; hammadde kabulünden sevkiyata kadar birbirini izleyen süreçler halinde kurgulanmış olup, yüksek enerji tüketimi ve çok çeşitli iş sağlığı ve güvenliği risklerini aynı anda barındırmaktadır. Metal sektörüne ilişkin çalışmalarda da, özellikle ana metal ve fabrikasyon metal imalatı yapan işletmelerin hem kaza sıklığı hem de maruziyet şiddeti açısından yüksek risk grubunda yer aldığı vurgulanmaktadır (Erin, 2021; Gün, 2022; Şahin, 2019).

İncelenen metal işletmesinde üretim süreci genel olarak;

i. Hammadde hazırlama ve kesim: Sac levhaların stok sahasından alınarak plazma, lazer, giyotin ve testere tezgahlarında istenen ölçülere getirilmesi,

ii. Şekillendirme: Pres, bükme, zımbalama ve delme makineleriyle parçaların geometrik olarak şekillendirilmesi,

iii. Kaynak ve montaj: Manuel ve/veya robotik kaynak istasyonlarında parçaların birleştirilmesi, montaj hatlarında yarı mamullerin ürün haline getirilmesi,

iv. Yüzey işlemleri ve boya: Kumlama, yağ alma, fosfatlama ve elektrostatik toz boyama fırınlarında korozyon dayanımı ve yüzey kalitesi için işlemlerin yürütülmesi,

v. Son kontrol, paketleme ve sevkiyat: Ölçüsel ve fonksiyonel kontrollerin ardından ürünlerin paketlenmesi ve müşteriye sevk edilmesi.

adımlarından oluşmaktadır. Bu süreçlerde ağır kaldırma, sıcak yüzeyler, kaynak dumanı, gürültü, kimyasal maruziyet, yangın ve patlama riskleri gibi çok sayıda İSG tehlikesi söz konusudur (Aker, 2019; Şahin, 2019). Aynı zamanda kesim, kaynak, kompresör ve boya hatlarında yoğun elektrik, basınçlı hava ve ısıl enerji kullanımı nedeniyle, işletme enerji-yoğun bir üretim ortamı niteliği taşımaktadır. Metal sanayine yönelik sürdürülebilirlik çerçeveleri de bu tür işletmelerde enerji verimliliği, emisyon azaltımı ve çalışan sağlığının birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

İşletmenin iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi alanlarında çeşitli politika, prosedür, talimat ve kayıt sistemlerine sahip olduğu; kısmen yapılandırılmış bir İSG yönetim sistemi ile enerji performansını izlemeye yönelik uygulamaların yürütüldüğü gözlemlenmektedir. Bu kapsamda, risk değerlendirme çalışmaları, periyodik kontrol ve ölçümler, çalışan eğitimleri ve kaza/ramak kala kayıtlarının tutulması gibi pek çok faaliyet hayata geçirilmiştir. Benzer şekilde, enerji tüketiminin izlenmesi, yüksek tüketimli ekipmanların takibi ve belirli enerji verimliliği projelerinin uygulanması gibi, enerji yönetimi bileşenleri de işletmede belirli bir olgunluk düzeyine ulaşmıştır (Erin, 2021; Gün, 2022; Alotaibi et al., 2025).

Bununla birlikte, yapılan incelemeler ve görüşmeler sonucunda, işletmenin ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarına tam anlamıyla entegre bir yönetim sistemine sahip olmadığı, ancak bu standartların gerekliliklerini büyük ölçüde karşılayan uygulamaları parça parça yürüttüğü anlaşılmıştır. Başka bir ifadeyle, işletmenin halihazırda ISO 45001 ve ISO 50001'in temel maddeleriyle uyumlu birçok prosedürü bulunmaktadır; fakat bu iki sistemin formel entegrasyonu ve ortak bir yönetim çerçevesi altında işletilmesi henüz tamamlanmamıştır. Bu durum, literatürde de sıkça vurgulanan, işletmelerin mevcut yönetim sistemlerini tek bir çatı altında bütünleştirme ihtiyacı ile uyumludur (Francisco et al., 2024; Gerek & Aydın, 2025; Mahmood et al., 2022).

Bu çalışma, söz konusu metal işletmesinde ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerinin bir arada ele alındığı, risk temelli bir entegrasyon modelinin

geliştirilmesini ve uygulanmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda, işletmenin kritik üretim süreçlerinde FMEA, HRNS ve Fine-Kinney yöntemleri kullanılarak İSG ve enerji ile ilişkili riskler nicel olarak değerlendirilecek; elde edilen bulgular entegrasyon modeliyle ilişkilendirilecektir. Böylece, işletmenin mevcut uygulamalarını sistematik biçimde güçlendiren; İSG performansı, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerini aynı anda destekleyen bir entegre yönetim yaklaşımı ortaya konulacaktır (Mahmood et al., 2022; Lahri et al., 2025).

3.5. Veri Toplama Yöntemleri

Bu araştırmada veri toplama süreci, karma yöntem yaklaşımının gerektirdiği şekilde çoklu veri kaynağı kullanımına dayalı olarak yapılandırılmıştır. Nitel ve nicel veriler, aynı vaka bağlamında birbirini tamamlayacak biçimde tasarlanmış; böylece hem ISO 45001 ve ISO 50001 uygulamalarının örgütsel boyutu hem de metal işletmesindeki proses bazlı risk düzeyi bütüncül bir çerçevede incelenmiştir (Creswell & Plano Clark, 2017; Yin, 2018).

3.5.1. Nitel Veri Toplama Yöntemleri

Araştırmanın nitel boyutunda, üst ve orta kademe yöneticiler, iş sağlığı ve güvenliği uzmanı, enerji yöneticisi ile üretim ve bakım sorumluları ile yarı yapılandırılmış uzman görüşmeleri ve toplantılar gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler öncesinde, literatür taraması ve tez önerisi doğrultusunda araştırmacı tarafından bir görüşme çerçevesi oluşturulmuş; bu çerçeve, aşağıdaki temalar etrafında yönlendirici olarak kullanılmıştır: (i) işletmede İSG ve enerji yönetimi uygulamalarının mevcut durumu, (ii) ISO 45001 ve ISO 50001'e uyum düzeyi, (iii) yönetim sistemleri entegrasyonuna ilişkin algı ve beklentiler, (iv) entegre yönetim sistemi uygulamasında karşılaşılan güçlükler ve kolaylaştırıcı unsurlar, (v) sürdürülebilirlik, verimlilik ve iş kazası/enerji performansı ilişkisine dair değerlendirmeler.

Görüşmeler, çoğunlukla rutin toplantılar ve yüz yüze bilgi paylaşımı sırasında yürütülmüş; ses kaydı alınmamış, bunun yerine araştırmacı tarafından görüşme

esnasında ve hemen sonrasında ayrıntılı alan notları tutulmuştur. Yarı yapılandırılmış yaklaşım, bir yandan belirli bir tematik çerçeve doğrultusunda veri toplamaya olanak tanırken, diğer yandan katılımcıların deneyim ve algılarını serbestçe ifade edebilmelerine olanak sağlamıştır (Patton, 2015). Elde edilen notlar daha sonra yazılı hale getirilmiş ve içerik analizi için temalar altında sınıflandırılmıştır.

Araştırma kapsamında, metal işletmesinin üretim alanlarında doğrudan gözlemler yapılmıştır. Gözlemler sırasında, çalışanların iş yapma biçimleri, kişisel koruyucu donanım kullanımı, iş organizasyonu, malzeme akışı, makine–ekipman koruyucuları ve enerji kullanımına ilişkin pratikler (örneğin makinelerin boşta çalışma süreleri, aydınlatma, basınçlı hava kullanımı vb.) sistematik biçimde izlenmiştir. Gözlem bulguları, hem risk değerlendirme süreçlerinde kullanılan nitel girdileri zenginleştirmiş hem de yönetim sistemi uygulamalarının sahadaki gerçek karşılığını görme imkanı sağlamıştır (Morgado et al., 2019).

Nitel veri toplamanın bir diğer bileşeni, işletmeye ait yazılı dokümanların sistematik incelenmesidir. Bu kapsamda; İSG politikası, enerji politikası ve sürdürülebilirlik beyanları, organizasyon şeması ve görev tanımları, risk değerlendirme formları, kaza ve ramak kala kayıtları, İSG eğitim planları ve katılım kayıtları, periyodik kontrol ve ölçüm raporları (gürültü, aydınlatma, toz vb.), enerji tüketim kayıtları, enerji faturaları ve üretim hacmi verileri ile iç tetkik raporları ve yönetimin gözden geçirmesi toplantı notları değerlendirilmiştir. Bu dokümanlar, ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerinin ne ölçüde karşılandığının belirlenmesinde ve entegrasyon modelinin işletmedeki mevcut altyapıya uygun biçimde tasarlanmasında temel bir referans olarak kullanılmıştır (Darabont et al., 2021; Francisco et al., 2024; Alotaibi et al., 2025).

3.5.2. Nicel Veri Toplama Yöntemleri

Bu araştırmanın nicel boyutunda, ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonuna temel oluşturacak risk skorlarının ve enerji göstergelerinin hesaplanabilmesi amacıyla, başta FMEA, HRNS ve Fine–Kinney olmak üzere seçilen risk değerlendirme

yöntemlerinin gerektirdiği parametreler sistematik biçimde toplanmıştır. Nicel veri toplama süreci, hem proses bazlı risk puanlamasını mümkün kılacak yapılandırılmış formları hem de enerji tüketimi ve üretim hacmine ilişkin sayısal verileri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır.

Her bir yöntem için ayrı ayrı risk değerlendirme formları hazırlanmış; bu formlarda proses adımları, tehlike tanımları ve puanlamada kullanılacak parametreler (olasılık, maruziyet, şiddet, tespit edilebilirlik vb.) yapılandırılmıştır. FMEA için O–S–D (olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik), HRNS için O–M–F–Ş (olasılık, maruziyet, frekans ve şiddet), Fine–Kinney için ise P–F–C (olasılık, maruziyet sıklığı, sonuç/şiddet) ölçekleri oluşturulmuştur (Ateş, 2016; Aker, 2019; Özmen, 2025). Bu formlar, saha çalışması sırasında İSG uzmanı, enerji yöneticisi ve ilgili proses sorumlularının katılımıyla doldurulmuş; puanlama sürecinde katılımcılar arası görüş farklılıkları tartışılarak uzlaşıya dayalı ortak değerler belirlenmiştir. Böylece, hem uzman yargısına dayalı hatalar azaltılmaya çalışılmış hem de çalışan katılımı güçlendirilmiştir.

Enerji yönetimi ile İSG performansının birlikte değerlendirilmesi amacıyla, işletmeye ait enerji tüketim verileri ve üretim hacmi bilgileri de toplanmıştır. Elektrik, doğal gaz ve basınçlı hava tüketimi; üretim hatları ve büyük enerji tüketicileri (kompresörler, fırınlar, kaynak makineleri vb.) bazında analiz edilmiş; mümkün olduğu ölçüde birim ürün başına enerji tüketimi göstergeleri hesaplanmıştır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Rampasso et al., 2019). Bu veriler, yüksek risk düzeyine sahip proseslerin aynı zamanda enerji yoğun süreçler olup olmadığının değerlendirilmesinde ve entegrasyon modelinde önceliklendirme yapılmasında kullanılmıştır.

3.6. Araştırma Modelinin Oluşturulması

Bu tezde geliştirilen araştırma modeli, önceki bölümlerde sunulan kuramsal çerçeve (sürdürülebilir İSG, entegre yönetim sistemleri, ISO 45001–ISO 50001 yapısal uyumu) ile İstanbul'da faaliyet gösteren metal işletmesine ilişkin örnek olay

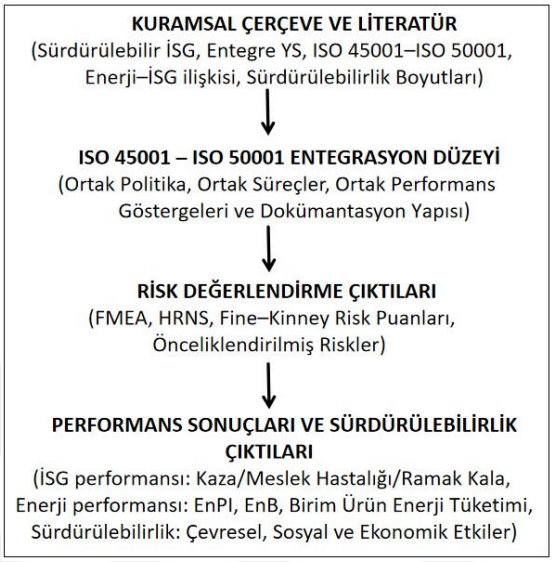
bulgularını ortak bir analitik yapı altında bütünleştirmeyi amaçlamaktadır. Model, yönetim sistemi entegrasyonu ile risk temelli iyileştirme süreçleri arasındaki ilişkiyi görünür kılarak, bu ilişkinin İSG performansı, enerji performansı ve sürdürülebilirlik çıktıları üzerindeki olası etkilerini sistematik biçimde ortaya koyacak şekilde tasarlanmıştır.

Araştırma modelinin geliştirilmesinde, literatürde yer alan entegre yönetim sistemleri ve tekil birleşik yönetim sistemi yaklaşımları, enerji yönetim sistemleri için önerilen entegrasyon–enerji–operasyonel uygulama modeli, ISO 50001'in enerji performansı ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar ile yönetim standartları ve sürdürülebilirlik boyutları (ekonomik, çevresel, sosyal) arasındaki ilişkiyi tartışan kuramsal çerçeveler birlikte değerlendirilmiş ve bütünleştirilmiştir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Alotaibi et al., 2025; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025; Yfanti, 2025). Bu bütünleşik bakış açısı, ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonunun yalnızca doküman düzeyinde değil, süreç, risk analizi ve performans yönetimi düzeyinde ele alınması gerektiğini göstermektedir (Rebelo et al., 2016; Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024).

Bu doğrultuda önerilen modelde, entegrasyon düzeyi (ortak politika, ortak süreçler, ortak performans göstergeleri gibi yönetimsel düzenlemeler) temel açıklayıcı yapı; risk değerlendirme çıktıları (FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleriyle hesaplanan risk öncelik sayıları ve risk sınıfları) ara mekanizma; İSG ve enerji performansındaki değişim ise temel sonuç alanı olarak kurgulanmıştır. Bir başka deyişle model, "ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonuna yönelik yapısal ve süreçsel adımların, kritik proseslerde risk profilini nasıl değiştirdiği ve bunun İSG ile enerji performansına nasıl yansıdığı" sorusuna yanıt aramaktadır.

Modelin uygulamada karşılığı, seçilen metal işletmesinde; (i) mevcut ISO 45001 ve ISO 50001 uygulama düzeyinin ve entegrasyon potansiyelinin nitel verilerle (görüşme, gözlem, doküman incelemesi) ortaya konulması, (ii) kritik proseslerde FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizleriyle entegrasyon öncesi/entegrasyona yönelik senaryoda risk skorlarının karşılaştırılması ve (iii) bu karşılaştırmadan

hareketle, enerji–İSG entegrasyonunu destekleyen somut yönetim önerilerinin geliştirilmesi biçiminde somutlaşmaktadır. Böylece araştırma modeli, hem kuramsal olarak tanımlanan entegrasyon–risk–performans ilişkisinin metal sektörü bağlamında sınanmasına hem de izleyen bölümde ayrıntılandırılacak kavramsal model ve vaka bulgularının tutarlı bir çerçevede sunulmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.2: Araştırma Modeli

Bu kuramsal çerçeveye dayalı olarak oluşturulan araştırma modeli Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde en üstte yer alan "Kuramsal Çerçeve ve Literatür" kutusu; sürdürülebilir İSG, entegre yönetim sistemleri, ISO 45001–ISO 50001 ilişkisi ve enerji–İSG etkileşimine ilişkin literatürden elde edilen ilkeleri ifade etmektedir. Bu çerçeve, bir alt düzeyde "ISO 45001–ISO 50001 Entegrasyon Düzeyi"ni, yani ortak politika, süreçler, performans göstergeleri ve dokümantasyon yapısını tanımlayan açıklayıcı değişkeni beslemektedir. Entegrasyon düzeyi, üçüncü katmanda FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleriyle elde edilen "Risk Değerlendirme Çıktıları"nı şekillendirmekte; bu risk profili ise en altta yer alan "Performans Sonuçları ve Sürdürülebilirlik Çıktıları" (İSG performansı, enerji performansı ve sürdürülebilirlik boyutları) üzerindeki etkilerin analiz edilmesi için ara değişken rolü üstlenmektedir. Böylece şekil, çalışmada izlenen mantıksal akışı ve değişkenler arasındaki nedensel ilişki kurgusunu bütüncül bir yapıda özetlemektedir.

Bu araştırmada kullanılan model, entegre ISO 45001–ISO 50001 yönetim çerçevesine dayanmaktadır. Modelde entegrasyon; (i) İSG ve enerji politikalarının sürdürülebilirlik, yasal uygunluk ve sürekli iyileştirme ilkeleri altında birleştirilmesi, (ii) İSG ve enerji risklerinin ortak bir planlama ve risk yönetimi sürecinde ele alınması, (iii) çalışan maruziyeti ile enerji tüketimini etkileyen operasyonel süreçlerin tek bir proses haritasında bütünleştirilmesi ve (iv) İSG performans göstergeleri ile enerji performans göstergelerinin aynı performans ve iyileştirme döngüsü içinde izlenmesi eksenlerinde kurgulanmıştır. Bu kuramsal entegrasyon çerçevesi, saha uygulamasında FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizlerinden elde edilen bulgularla birlikte değerlendirilmiştir.

Araştırma modelinde kullanılan FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleri, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon çerçevesini besleyen analitik bileşenler olarak konumlandırılmıştır. Üç yöntemden elde edilen risk skorları, bir yandan yüksek risk düzeyine sahip proses ve faaliyetlerin belirlenmesi yoluyla entegrasyonun planlama ve operasyonel kontrol adımlarında "kritik süreçlerin" önceliklendirilmesine, diğer yandan hem İSG risklerini azaltan hem de enerji verimliliğini arttıran çift etkili kontrol ve iyileştirme önlemlerinin tasarlanmasına temel oluşturmaktadır. Aynı skorlar, müdahaleler sonrası kaza sıklığı ve EnPI gibi göstergelerde beklenen iyileşmelerin izlenmesine ve ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon olgunluğunun risk temelli kanıtlara dayalı olarak değerlendirilmesine de imkan tanımakta, böylece önerilen modelin hem teorik hem de uygulamalı yönünü birbirine bağlamaktadır (Aker, 2019; Ateş, 2016; Yıldız, 2024; Özmen, 2025).

3.7. Kullanılan Risk Analiz Yöntemleri

Araştırmada, İstanbul'da faaliyet gösteren metal işletmesinde iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi bağlamındaki kritik tehlike ve risklerin belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve entegrasyon modeline girdi oluşturulması amacıyla üç farklı nicel risk analiz yöntemi birlikte kullanılmıştır. İlk olarak, proses adımlarında ortaya çıkabilecek olası hata türlerini, bu hataların olası etkilerini ve nedenlerini sistematik biçimde inceleyen Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemi uygulanmış; her

bir tehlike için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri kullanılarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmıştır. İkinci olarak, özellikle iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS) ile, olasılık, maruziyet ve şiddet parametreleri temelinde her bir tehlikenin tehlike derecelendirme sayısı (HRN) ortaya konmuştur. Üçüncü yöntem olarak kullanılan Fine–Kinney yöntemi ise, olasılık (P), maruziyet sıklığı (F) ve sonuç/şiddet (C) katsayılarının çarpımına dayalı risk puanları üreterek, özellikle yüksek riskli faaliyetlerin görünür kılınmasına imkan sağlamıştır.

Literatürde de vurgulandığı üzere, birden fazla yöntemin aynı işletmede ve aynı prosesler üzerinde uygulanması; yöntemlerin güçlü ve zayıf yönlerinin karşılaştırılmasına, değerlendirme sürecindeki belirsizliğin azaltılmasına ve karar vericiler için daha sağlam bir önceliklendirme altyapısının oluşmasına katkı sağlamaktadır (Aker, 2019; Pekcan, 2023; Yıldız, 2024; Özmen, 2025). Bu çalışmada söz konusu üç yöntem, aynı prosesler ve tehlikeler üzerinde eşzamanlı olarak uygulanmış; elde edilen risk skorları hem her bir yöntemin kendi ölçeği içinde analiz edilmiş hem de ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeline veri sağlayacak biçimde birlikte yorumlanmıştır. Böylece, entegre yönetim sistemi modelinde öne çıkarılacak kritik süreçler ve öncelikli iyileştirme alanları, çok yöntemli risk analizinin sağladığı kanıtlara dayandırılmıştır.

3.7.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)

FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), bir sistem ya da proses içindeki potansiyel hata türlerini sistematik olarak tanımlayan; bu hataların ortaya çıkma olasılığı, sonuçlarının şiddeti ve tespit edilebilirliğini puanlayarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) üzerinden önceliklendirme yapan proaktif bir risk analiz yöntemidir (Stamatis, 2003). İmalat sanayiinde yaygın biçimde kullanılan FMEA, özellikle ekipman ve süreç güvenliği ile kalite kusurlarının önlenmesinde uzun süredir tercih edilmekte ve iş kazaları ile üretim kayıplarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Altın et al., 2018; Ateş, 2016).

Çalışma kapsamında FMEA, incelenen metal işletmesindeki üretim süreçlerine aşamalı bir yaklaşımla uygulanmış; hammadde hazırlama, kesim, şekillendirme, kaynak–montaj, yüzey işlemleri ve boya gibi temel adımlar ayrıntılı proses basamaklarına dönüştürülmüştür (Ateş, 2016). Her bir basamak için çalışan sağlığı ve güvenliği, ürün kalitesi ve enerji performansı üzerinde olumsuz etki yaratma potansiyeli taşıyan hata türleri (örneğin uygunsuz kaynak akımı, hatalı kaldırma, yetersiz havalandırma) ile bu hataların muhtemel etkileri tanımlanarak FMEA tablolarına işlenmiştir (Erin, 2021; Aker, 2019).

FMEA uygulamasının puanlama aşamasında, Tablo 3.1'de ayrıntıları verilen üç temel parametre her hata türü için 1–10 aralığında değer almıştır: olasılık (O), hatanın belirli bir süre içinde ortaya çıkma ihtimalini; şiddet (Ş), gerçekleşmesi durumunda çalışan sağlığı, güvenliği, enerji verimliliği ve üretim sürekliliği üzerindeki olası etkinin büyüklüğünü; tespit edilebilirlik (S) ise hatanın etkileri ortaya çıkmadan önce mevcut kontrol mekanizmaları ile fark edilme olasılığını ifade etmektedir (Stamatis, 2003; Aker, 2019; Altın et al., 2018). Bu üç parametrenin çarpımıyla RÖS = O × Ş × S formülü kullanılarak her hata türü için sayısal risk öncelik değeri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de gösterilmiştir (Stamatis, 2003; Aker, 2019).

Tablo 3.1: FMEA için Parametre ve Puanlama Tablosu

PARAMETRE	SEMBOL	PUAN ARALIĞI	ANLAMI / AÇIKLAMA
Olasılık	O	1–10	Hata türünün ortaya çıkma olasılığı (1 = çok düşük, 10 = çok yüksek)
Şiddet	Ş	1–10	Hata gerçekleştiğinde ortaya çıkan etkinin ciddiyeti (1 = önemsiz, 10 = ölümcül)
Saptanabilirlik	S	1–10	Hata gerçekleşmeden önce tespit edilebilme ihtimali (1 = çok kolay, 10 = çok zor)
Risk Öncelik Sayısı	RÖS	1–1000	Olasılık × Şiddet × Saptanabilirlik
Risk Düzeyi	–	–	RÖS aralığına göre "Düşük / Orta / Yüksek / Çok yüksek" sınıflaması

Hesaplanan RÖS değerleri artan sıraya göre sıralanmış; belirlenen eşik değerin üzerinde kalan hata türleri "kritik" olarak kabul edilerek bu alanlar için önleyici ve düzeltici faaliyet önerileri geliştirilmiştir (Ateş, 2016; Özmen, 2025). FMEA'nın bu çalışmada tercih edilmesinin temel gerekçeleri; proses adımlarını ayrıntılı biçimde haritalandırarak risklerin neden–sonuç ilişkisi içinde görülmesine olanak tanıması, hem İSG hem de enerji performansına etki eden teknik ve örgütsel faktörleri aynı

analiz çerçevesinde bir araya getirmesi ve elde edilen RÖS değerleri sayesinde entegrasyon modelinde kritik proseslerin belirlenmesi için güçlü bir başlangıç noktası sunmasıdır (Altın et al., 2018; Mahmood et al., 2022).

Çalışmada RÖS değerlerinin yorumlanmasında, literatürde önerilen yaklaşımlar temel alınarak dört kademeli bir sınıflandırma kullanılmıştır (Stamatis, 2003; Altın et al., 2018). Buna göre RÖS < 40 "düşük risk (kabul edilebilir)", 40 ≤ RÖS < 100 "orta risk (önlem alınması faydalı)", 100 ≤ RÖS < 200 "yüksek risk (önlem alınmalı)" ve RÖS ≥ 200 "çok yüksek/kabul edilemez risk (acil önlem şart)" olarak değerlendirilmiş ve bu aralıklar Tablo 3.2'de özetlenmiştir (Stamatis, 2003; Altın et al., 2018). Altın ve arkadaşlarının (2018) "RÖS > 100 → mutlaka önlem alınmalı" yaklaşımı, bu tezde 100–199 aralığı "yüksek" ve 200 ve üzeri "çok yüksek" olmak üzere iki alt kategoriye ayrılarak hem kritik risklerin daha hassas biçimde gruplanmasına hem de FMEA sonuçlarının HRNS ve Fine-Kinney yöntemleriyle elde edilen risk sınıflarıyla karşılaştırılabilir biçimde yorumlanmasına olanak sağlamıştır (Altın et al., 2018; Mahmood et al., 2022; Özmen, 2025).

Tablo 3.2: FMEA için Risk Düzeyi Tablosu

RÖS ARALIĞI	RİSK DÜZEYİ	AÇIKLAMA
1–39	Düşük risk	Kabul edilebilir risk düzeyi
40–99	Orta risk	Önlem alınmasının faydalı olduğu risk düzeyi
100–199	Yüksek risk	Önlem alınmasının gerekli olduğu risk düzeyi
≥ 200	Çok yüksek / kabul edilemez risk	Derhal/öncelikli müdahale gerektiren risk düzeyi

3.7.2. Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS)

Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS), iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde tehlikeleri nicel olarak puanlayarak önceliklendirmeye imkan veren sayısal bir yöntemdir (Bilir & Gürcanlı, 2015; Hippertt et al., 2019). Yöntemde tehlikenin gerçekleşme olasılığı (O), çalışanların tehlikeye maruz kalma sıklığı (F), gerçekleşmesi halinde sonucun şiddeti (Ş) ve risk altındaki kişi sayısı (K) 1–10 aralığında puanlanmakta; bu dört parametrenin çarpımıyla HRN değeri (HRN = O × F × Ş × K) hesaplanmaktadır (Bilir & Gürcanlı, 2015; Fidan, 2024). Böylece

yalnızca tehlikenin niteliği değil, maruziyetin sıklığı ve etkilenebilecek çalışan sayısı da hesaba katılarak, özellikle yüksek tehlike içeren sektörlerde hangi risklere öncelikle müdahale edilmesi gerektiği sistematik biçimde ortaya konulmaktadır (Hippertt et al., 2019; Aker, 2019).

HRNS puanlama sisteminde kullanılan parametreler ve açıklamaları, aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Bilir & Gürcanlı, 2015). Bu tabloda; olasılık (O) tehlikenin gerçekleşme ihtimalini, maruziyet sıklığı (F) çalışanların söz konusu tehlikeyle ne kadar sık karşılaştığını, şiddet (Ş) gerçekleşmesi durumunda beklenen zarar düzeyini ve risk altındaki kişi sayısı (K) ise tehlikeden etkilenebilecek çalışan sayısını ifade etmektedir (Hippertt et al., 2019; Fidan, 2024). Söz konusu dört parametrenin çarpımıyla elde edilen HRN değeri, önceden tanımlanmış aralıklar esas alınarak "düşük, orta, yüksek ve çok yüksek" risk sınıflarından birine karşılık gelecek şekilde yorumlanmakta, böylece farklı tehlikelerin göreli öneminin ve öncelik sırasının sayısal olarak karşılaştırılmasına imkan sağlanmaktadır (Bilir & Gürcanlı, 2015; Fidan, 2024).

Tablo 3.3: HRNS için Parametre ve Puanlama Tablosu

PARAMETRE	SEMBOL	PUAN ARALIĞI	AÇIKLAMA
Olasılık	O	1–10	Tehlikenin gerçekleşme olasılığı
Maruziyet Sıklığı	F	1–10	Çalışanların tehlikeye maruz kalma sıklığı
Şiddet	Ş	1–10	Gerçekleşmesi halinde sonucun ciddiyeti
Risk Altındaki Kişi Sayısı	K	1–10	Etkilenebilecek kişi sayısı
HRN Değeri	HRN	1–400+	O × F × Ş × K
Risk Sınıfı	–	–	HRN aralıklarına göre Düşük / Orta / Yüksek / Çok yüksek

Bu çalışma kapsamında HRNS, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli metal işletmesinde seçilen dört kritik prosese –kaynak–montaj hattı, boya ve fırın hattı, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi ile ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonları– uygulanmıştır (Aker, 2019; Yıldız, 2024). Öncelikle her bir proses için çalışanların maruz kaldığı fiziksel, kimyasal, ergonomik ve organizasyonel tehlikeler belirlenmiş; ardından ilgili tehlikeler için O, F, Ş ve K parametreleri literatürde önerilen ölçekler ve saha gözlemleri doğrultusunda 1–10 aralığında puanlanmıştır (Aker, 2019; Pekcan, 2023). Elde edilen değerler HRN = O × F × Ş × K formülü ile sayısallaştırılmış ve literatüre paralel olarak 1–70 aralığındaki HRN

değerleri “düşük risk”, 71–200 aralığı “orta risk”, 201–400 aralığı “yüksek risk” ve 400’ün üzerindeki değerler “çok yüksek risk” düzeyi olarak sınıflandırılmıştır (Aker, 2019; Yıldız, 2024; Pekcan, 2023). Bu dört kademeli ölçek, hangi tehlikeler için hızlı ve öncelikli iyileştirici faaliyet gerektiğini hem görsel hem de sayısal olarak ortaya koymakta ve HRNS sonuçlarının FMEA ile Fine–Kinney bulguları ile karşılaştırılabilirliğini güçlendirmektedir (Pekcan, 2023; Fidan, 2024).

Tablo 3.4: HRNS için Risk Düzeyi Tablosu

RÖS ARALIĞI	RİSK DÜZEYİ	AÇIKLAMA
1–20	Düşük	Kabul edilebilir risk, mevcut kontrollerle izlenmeli
21–70	Orta	Önlem alınması faydalı, iyileştirme çalışmaları planlanmalı
71–200	Yüksek	Önlem alınmalı, kısa vadede iyileştirme faaliyetleri uygulanmalı
201–400	Çok yüksek	Acil önlem alınmalı, süreç/ekipman yeniden gözden geçirilmeli
401–1000	Kabul edilemez	Derhal/öncelikli önlem alınmalı, gerekirse çalışma durdurulmalı

HRNS’nin bu çalışma kapsamında kullanılmasının temel nedenleri; (i) çalışanların sürece katılımını teşvik eden basit ve anlaşılır bir puanlama yapısına sahip olması, (ii) FMEA ve Fine–Kinney’den bağımsız olarak özellikle maruziyet sıklığı ve mevcut kontrol düzeyini öne çıkararak farklı bir analitik perspektif sunması ve (iii) metal, inşaat, enerji ve maden gibi riskli sektörlerde diğer yöntemlerle birlikte başarıyla uygulanmış olmasına ilişkin güçlü literatür desteğidir (Aker, 2019; Erin, 2021). Böylece aynı tehlike için FMEA, HRNS ve Fine–Kinney sonuçları karşılaştırılabilmiş; entegrasyon modelinde hangi süreçlerin gerçekten kritik olduğu ve hangi yöntemin riskleri daha hassas biçimde ayırt ettiği, nicel bulgulara dayalı olarak tartışılabilmiştir.

3.7.3. Fine-Kinney Yöntemi

Fine–Kinney yöntemi, riskleri olasılık (O), maruziyet sıklığı (F) ve şiddet (Ş) parametreleri üzerinden değerlendiren ve R = O × F × Ş formülüne dayanan nicel bir risk analiz yaklaşımıdır (Kinney & Wiruth, 1976; Aker, 2019). Yöntem özellikle düşük olasılıklı fakat gerçekleştiğinde ölüm, kalıcı sakatlık veya büyük maddi hasar gibi sonuçlara yol açabilen yüksek şiddetli olayların (yangın, patlama, elektrik çarpması, yüksekten düşme vb.) sistematik biçimde önceliklendirilmesinde etkin bir

araç olarak kabul edilmektedir (Aker, 2019; Şahin, 2019). Türkiye'de maden, inşaat, elektrik dağıtım, agrega–kırma tesisleri, gıda ve yem üretimi gibi farklı sektörlerde yapılan çok sayıda akademik çalışmada Fine–Kinney yönteminin sınıflandırma gücü yüksek, uygulaması görece kolay ve karar verme süreçlerini destekleyen bir risk değerlendirme aracı olduğu vurgulanmaktadır (Pekcan, 2023; Yıldız, 2024; Özmen, 2025).

Çalışma kapsamında Fine–Kinney yöntemi, iş sağlığı ve güvenliği ile enerji performansı açısından kritik sonuçlara yol açma potansiyeline sahip prosesler üzerinde uygulanmıştır (Erin, 2021; Gün, 2022). İlk aşamada, kompresör odası, boya fırınları, kaynak operasyonları ve ağır kaldırma süreçlerinde yangın, patlama, kimyasal maruziyet ve mekanik yaralanma gibi yüksek şiddetli senaryolar tanımlanmıştır. Daha sonra her bir senaryo için olasılık (O – tehlikeli olayın gerçekleşme ihtimali), maruziyet sıklığı (F – çalışanların tehlikeli duruma hangi sıklıkla maruz kaldığı) ve şiddet (Ş – olay gerçekleştiğinde beklenen zarar düzeyi) Fine–Kinney literatüründe Tablo 3.5'de belirtilen aralıklara uygun biçimde puanlanmıştır (Kinney & Wiruth, 1976; Aker, 2019). Bu puanlar kullanılarak her bir tehlike için R = O × F × Ş formülüyle risk skoru hesaplanmış; hesaplanan değerler Tablo 3.6'da belirtilen "kabul edilebilir risk", "dikkat gerektiren risk", "önlem alınması gereken risk" ve "acil müdahale gerektiren risk" gibi sınıflara ayrılmış ve ilgili tablolarda sunulmuştur.

Tablo 3.5: Fine-Kinney için Parametre ve Puanlama Tablosu

PARAMETRE	SEMBOL	PUAN ARALIĞI	AÇIKLAMA
Olasılık	P	0,1 – 10	Olayın meydana gelme ihtimali
Frekans	F	0,5 – 10	Maruziyet sıklığı / olayın oluşma sıklığı
Şiddet	Ş	1 – 100	Gerçekleşmesi halinde zararın büyüklüğü
Risk Skoru	R	0,05 – 10.000	P × F × Ş

Tablo 3.5'te Fine–Kinney yönteminde kullanılan parametreler özetlenmektedir. Buna göre olasılık (P), tehlikeli olayın meydana gelme ihtimalini 0,1–10 arasında puanlayarak ifade eder; frekans (F), çalışanların tehlikeye maruz kalma ya da olayın ortaya çıkma sıklığını 0,5–10 aralığında gösterir; şiddet (Ş) ise olay gerçekleştiğinde

ortaya çıkabilecek zararın büyüklüğünü 1–100 arasında derecelendirir. Bu üç parametrenin çarpımıyla elde edilen risk skoru (R = P × F × Ş) 0,05 ile 10.000 arasında değişmekte olup, hesaplanan değerin büyüklüğü ilgili tehlikenin öncelik derecesini ve alınması gereken önlemlerin aciliyetini belirlemek için kullanılmaktadır.

Tablo 3.6: HRNS için Risk Düzeyi Tablosu

RİSK SKORU (R)	RİSK DÜZEYİ
< 20	Önemsiz / Kabul edilebilir
20–70	Dikkate değer, izlenmeli
70–200	Önemli, planlı iyileştirme
200–400	Ciddi, kısa vadede müdahale
> 400	Kabul edilemez, derhal durdur

Yüksek risk skoruna sahip istasyonlar, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli çerçevesinde hem İSG riskini azaltan hem de enerji performansını iyileştiren önlemlerin geliştirilmesi için öncelikli odak alanları olarak ele alınmıştır (Mahmood et al., 2022; Lahri et al., 2025). Örneğin kompresör odasında tespit edilen yüksek patlama ve gürültü riskleri için, bir yandan işitme kaybı ve patlama riskini azaltacak teknik-organizasyonel tedbirler (kabinleme, izolasyon, bakım planları, güvenli çalışma talimatları) tanımlanmış, diğer yandan basınçlı hava kaçaklarını azaltarak gereksiz enerji tüketimini düşürecek iyileştirmeler aynı bölüm içinde değerlendirilmiştir (Mahmood et al., 2022; Yıldız, 2024). Benzer şekilde, boya fırınlarında yangın ve kimyasal maruziyet risklerinin azaltılması için yangın güvenliği tedbirleri, havalandırma ve patlamaya dayanıklı donanım uygulamaları ile birlikte fırın verimliliğini artıracak proses optimizasyonu (uygun sıcaklık–süre parametreleri, düzenli bakım ve izleme) entegre biçimde ele alınmıştır (Lahri et al., 2025; EU-OSHA, 2019). Ağır kaldırma operasyonlarında ise yük düşmesi ve ezilme senaryoları için Fine–Kinney risk skorları dikkate alınarak kaldırma planları, işaretçi kullanımı, kapasite etiketlemesi ve alan düzenlemesi gibi hem güvenlik hem de ekipman ömrü ve üretim sürekliliğini destekleyen önlemler önceliklendirilmiştir (Aker, 2019; Şahin, 2019).

Fine–Kinney yönteminin bu çalışmada tercih edilmesinin başlıca gerekçeleri; yüksek şiddetli ve enerjiyle ilişkili tehlikeleri net biçimde önceliklendirme gücüne sahip olması, puanlama sisteminin uygulayıcılar için anlaşılır ve pratik olması ve literatürde HRNS ile (ve bazı çalışmalarda FMEA ile) birlikte kullanıldığında sonuçların tutarlılığını test etmeye imkan tanıyan tamamlayıcı bir araç olarak önerilmesidir (Aker, 2019; Pekcan, 2023; Yıldız, 2024; Özmen, 2025). FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla, incelenen metal işletmesindeki prosesler için geniş tabanlı ve karşılaştırılabilir bir risk haritası oluşturulmuş; böylece ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyon modelinin hangi süreç ve alanlarda öncelikli olarak güçlendirilmesi gerektiği sayısal risk skorları üzerinden somut biçimde ortaya konmuştur (Mahmood et al., 2022; Lahri et al., 2025).

Çalışmada kullanılan üç risk analiz yöntemi, benzer amaçlara hizmet etmekle birlikte odaklandıkları parametreler ve sağladıkları analitik derinlik açısından birbirini tamamlayıcı niteliktedir (Stamatis, 2003; Bilir & Gürcanlı, 2015; Kinney & Wiruth, 1976). FMEA daha çok proses bazlı detay analizi ve kök neden belirleme açısından; HRNS maruziyet ve kişi sayısına dayalı nicel önceliklendirme açısından; Fine–Kinney ise yüksek şiddetli olayların göreli önemini netleştirme açısından öne çıkmaktadır (Bilir & Gürcanlı, 2015; Aker, 2019; Yıldız, 2024). Üç yöntemin birlikte kullanılması, aynı tehlike için farklı parametre setlerine dayalı risk skorlarının karşılaştırılmasına imkân vererek, metal işletmesinde ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modelinin hangi proseslerde gerçekten kritik iyileştirme potansiyeli taşıdığını daha güvenilir ve bütüncül bir biçimde ortaya koymaktadır (Mahmood et al., 2022; Pekcan, 2023; Özmen, 2025).

4. BULGULAR

Bu bölümde, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesinde yürütülen örnek olay araştırması kapsamında elde edilen nitel ve nicel bulgular sunulmaktadır.

4.1. İşletmenin ve Entegre Yönetim Sisteminin Genel Profili

İş sağlığı ve güvenliği açısından, işletmede ISO 45001:2018 standardının temel gerekliliklerı ile büyük ölçüde uyumlu bir yönetim sistemi altyapısının bulunduğu; risk değerlendirme dokümanlarının, ramak kala bildirimlerinin, eğitim kayıtlarının ve iç denetim raporlarının düzenli olarak tutulduğu görülmüştür. Ancak risk analizi uygulamalarının çoğunlukla klasik 5×5 matris yaklaşımıyla sınırlı kaldığı, proses bazlı detaylı yöntem çeşitliliğinin (FMEA, HRNS, Fine–Kinney gibi) sistematik biçimde kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Enerji yönetimi tarafında, işletmenin elektrik, doğalgaz ve basınçlı hava tüketimine ilişkin verileri dönemsel olarak izlediği; ancak bu verilerin enerji performans göstergeleri (EnPI) ve sistematik bir enerji gözden geçirmesi ile ilişkilendirildiği formel bir ISO 50001:2018 enerji yönetim sistemi kurgusunun henüz tamamlanmadığı anlaşılmaktadır. Enerji tüketim verileri bulunmakla birlikte, bu verilerin İSG riskleri ve proses bazlı kayıplarla entegrasyonu sınırlıdır.

Yapılan görüşmeler ve doküman incelemeleri, işletmenin ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının gerekliliklerini kısmen yerine getirdiğini; ancak bu iki standardın, Annex SL tabanlı ortak yüksek seviyeli yapı çerçevesinde entegre bir yönetim sistemi altında birleştirilmediğini göstermektedir (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Gerek & Aydın, 2025). Bu durum, çalışmada önerilen entegrasyon modelinin uygulanması için hem bir ihtiyaç hem de önemli bir fırsat alanı oluşturmaktadır.

4.2. Entegrasyon Öncesi ve Entegrasyon Sonrası Öngörülen Risk Düzeyi Analizlerinin Çerçevesi

Bu çalışmada kullanılan "entegrasyon öncesi" ve "entegrasyon sonrası öngörülen" ifadeleri, aynı metal işletmesinde yürütülen risk değerlendirme çalışmasının iki farklı durumunu ifade etmektedir.

Entegrasyon öncesi durum, işletmenin mevcut iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetimi uygulamalarına dayanarak, yaklaşık sekiz aylık süreçte gerçekleştirilen gözlemler, doküman incelemeleri ve saha görüşmeleri ile desteklenen FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizleri sonucu elde edilen risk düzeylerini göstermektedir.

Entegrasyon sonrası öngörülen durum ise, çalışma kapsamında önerilen ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeline göre planlanan iyileştirme adımları (mühendislik kontrolleri, organizasyonel düzenlemeler, proses parametrelerinin optimizasyonu, enerji verimliliği projeleri, entegre izleme ve raporlama mekanizmaları vb.) dikkate alınarak aynı tehlikelerin yeniden değerlendirilmesiyle elde edilen risk düzeylerini ifade etmektedir.

Entegrasyon sonrası öngörülen risk skorları; saha gözlemleri, işletme yetkililerinin ve iş güvenliği uzmanının değerlendirmeleri ile literatürde benzer entegre yönetim sistemi uygulamalarında raporlanan risk azaltma eğilimleri temel alınarak analitik biçimde oluşturulmuştur (Yin, 2018; Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025). Bu nedenle entegrasyon sonrası değerler, entegrasyon modelinin uygulanması halinde ulaşılması beklenen gerçekçi risk düzeyleri olarak ele alınmakta; doğrudan deneysel ölçüm sonuçları değil, literatür ve uzman görüşü ile desteklenen analitik öngörüler niteliği taşımaktadır.

4.3 FMEA Bulguları

Genel olarak FMEA analizleri birlikte değerlendirildiğinde, kaynak–montaj hattı, boya–fırın hattı, kompresör odası/basınçlı hava sistemi ile ağır kaldırma ve malzeme

taşıma operasyonlarının, entegrasyon öncesi durumda hem iş kazaları ve meslek hastalıkları hem de enerji verimsizliği açısından "yüksek" ve "çok yüksek" RÖS değerlerine sahip olduğu görülmektedir. ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen teknik (mühendislik kontrolleri, otomasyon ve parametre takibi, lokal emiş, gürültü izolasyonu, patlamaya dayanıklı depolama vb.) ve organizasyonel (yazılı prosedürler, kaldırma planları, renk kodlu etiketleme, planlı bakım, eğitim ve denetim) önlemlerin uygulanmasıyla, tüm proses gruplarında özellikle olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin anlamlı düzeyde azaldığı; buna bağlı olarak çok yüksek risk sınıfındaki hata türlerinin önemli ölçüde ortadan kalktığı ve pek çok riskin yüksek düzeyden orta veya düşük risk sınıflarına gerilediği nicel olarak gösterilmiştir.

Kaynak dumanı maruziyeti, boya kabininde toz birikimi, solvent depolama, kompresör kaçakları ve ağır kaldırma operasyonları gibi yapısal olarak yüksek şiddet içeren tehlikelerde şiddet (Ş) puanlarının değişmemesi, bu alanlarda riskin hiçbir zaman "sıfırlanamayacağını", ancak entegrasyon sayesinde olayın meydana gelme ve fark edilmeden gerçekleşme olasılığının kontrol altına alınabildiğini göstermektedir. Bu bulgular, FMEA yönteminin yalnızca tehlikelerin sistematik biçimde tanımlanması ve önceliklendirilmesi açısından değil, aynı zamanda ISO 45001 ve ISO 50001'in ortak PUKÖ döngüsü altında entegrasyonunun İSG performansı, proses verimliliği ve enerji yönetimi üzerindeki birleşik etkilerini görünür kılan güçlü bir araç olduğunu ortaya koymakta; işletmede destek tesislerden (kompresör odası) ana üretim hatlarına ve ağır kaldırma–taşıma operasyonlarına kadar uzanan geniş bir yelpazede, entegre yönetim modelinin sürdürülebilir iyileştirme potansiyelini ampirik olarak doğrulamaktadır.

4.3.1. Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Bulguları

Kaynak ve montaj hattında gerçekleştirilen FMEA çalışması, entegrasyon öncesi durumda hem iş sağlığı ve güvenliği hem de kalite ve enerji performansı açısından kritik hata türlerinin yoğunlaştığı bir alan olduğunu göstermektedir. Tablo 4.1'de görüldüğü üzere, özellikle kaynak dumanına uzun süreli maruziyet (RÖS = 448), ağır

parçaların uygunsuz sapanla taşınması (RÖS = 315), uygunsuz kaynak akımı/yanlış elektrod seçimi (RÖS = 252) ve taşlama diskinin patlaması (RÖS = 216) "çok yüksek" risk düzeyinde; parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi (RÖS = 150) ve keskin kenarların açıkta kalması (RÖS = 140) ise "yüksek" risk düzeyinde sınıflanmıştır. Bu dağılım, kaynak ve montaj hattında bir yandan akut kaza riski (yük düşmesi, disk patlaması, ezilme vb.), diğer yandan kronik maruziyetlere bağlı meslek hastalığı (kaynak dumanı) ve yeniden işleme/enerji kaybı (uygunsuz parametre, hizasız parçalar) sorunlarının birlikte var olduğunu ortaya koymaktadır (Stamatis, 2003; Aker, 2019; Erin, 2021).

Tablo 4.1: Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	KONTROLLER	O	Ş	S	RÖS	ÖNCELİK	ÖNERİLEN İYİLEŞTİRME
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Parça hizasızlığı, yeniden işleme, kaynak sırasında parçanın kayması/düşmesi, ezilme ve kas–iskelet yaralanmaları	Usta kontrolü, görsel kontrol, genel iş talimatı	6	5	5	150	Yüksek	Pozisyonlama fikstürlerinin kullanılması, hazırlık için kontrol listesi, ilk parça onay prosedürü
Manuel ark kaynağı	Uygunsuz kaynak akımı / yanlış elektrod seçimi	Yetersiz nüfuziyet, çatlak, yeniden kaynak, hurda artışı, proses süresinin ve enerji tüketiminin artması	Kaynak prosedürü (WPS) mevcut, deneyimli kaynakçılar	7	6	6	252	Çok yüksek	Standart parametre kartları, WPS eğitimi, ilk parça deneme kaynağı ve ustabaşı onayı
Manuel ark kaynağı	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Solunum yolu irritasyonu, kronik akciğer hastalıkları, meslek hastalığı riski, devamsızlık ve iş gücü kaybı	Lokal aspiratör, genel havalandırma, KKD (maske) önerisi	8	8	7	448	Çok yüksek	Noktasal emiş performansının artırılması, periyodik ortam ölçümleri, uygun maske seçimi ve KKD takibinin güçlendirilmesi
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Yük düşmesi, ezilme, ciddi yaralanma veya ölüm, vinç/ekipman hasarı, üretim duruşu	Vinç operatör belgesi, periyodik kontroller, görsel kontrol	5	9	7	315	Çok yüksek	Kaldırma planı, kapasite etiketleri ve renk kodlu sapan sistemi, işaretçi zorunluluğu, kayıtlı ekipman muayeneleri
Bitmiş ürünlerin taşınması	Keskin kenarların taşınırken açıkta kalması	El ve kol kesikleri, yüzeysel yaralanmalar, sık tekrarlayan ramak kala olayları	Eldiven kullanımı, usta uyarıları	7	4	5	140	Yüksek	Çapak alma işleminin standardizasyonu, keskin kenar kontrol listesi, kesilmeye dayanıklı eldiven temini ve denetimi
Kaynak sonrası çapak alma / taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Göz ve yüz yaralanmaları, ciddi travma, uzun süreli iş göremezlik	Koruyucu gözlük ve yüz siperi, taşlama makinesi periyodik kontrolü	3	9	8	216	Çok yüksek	Uygun disk seçimi, devir limitlerinin kontrolü, disk değişim kayıtları, mümkünse taşlama kabini ve bariyer kullanımı

Ağır kaldırma ve uygun olmayan kaldırma ekipmanlarının kullanımı, benzer çalışmalarda da en kritik risk gruplarından biri olarak tanımlanmakta; işaretçi olmaması, kapasitesi belirsiz sapan kullanımı ve planlanmamış kaldırma hareketleri ölümcül kazalarla ilişkilendirilmektedir (Aker, 2019; Şahin, 2019). Benzer şekilde, kaynak dumanına uzun süreli maruziyetin solunum sistemi hastalıkları ve meslek hastalıkları ile ilişkisi literatürde açık biçimde ortaya konmuştur (Erin, 2021). Bu bağlamda, Tablo 4.1'deki yüksek ve çok yüksek RÖS değerleri, söz konusu hattın entegrasyon öncesi risk profilinin literatürde raporlanan tipik metal imalat ortamlarıyla paralel olduğunu göstermektedir (Özçelik, Aker, & arkadaşları, 2025).

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen teknik ve organizasyonel önlemler uygulandığında, aynı hata türleri için elde edilen

entegrasyon sonrası öngörülen FMEA sonuçları Tablo 4.2'de sunulmaktadır. Bu tabloda, parametre kartları, kaldırma planları, KKD kullanımının izlenmesi, lokal emiş performansının artırılması, standardize fikstürler ve kontrol listeleri gibi önlemler dikkate alınarak olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin düşürüldüğü; şiddet (Ş) değerlerinin ise tehlikenin doğası gereği büyük ölçüde sabit bırakıldığı görülmektedir (Stamatis, 2003). Buna göre, parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesine ilişkin RÖS değerinin 150'den 45'e düşerek "yüksek" risk düzeyinden "düşük" düzeye gerilediği; keskin kenarların açıkta kalmasına ilişkin riskin ise 140'tan 48'e gerileyerek "yüksek"ten "orta" düzeye indiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.2: Kaynak ve Montaj Hattı için FMEA Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	Ş	S	RÖS	ÖNCELİK
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Standardize edilmiş pozisyonlama fikstürleri, hazırlık kontrol listesi, ilk parça onay süreci, operatör eğitimleri	3	5	3	45	Düşük
Manuel ark kaynağı	Uygunsuz kaynak akımı / yanlış elektrod seçimi	Standart parametre kartları, WPS uyum takibi, ilk parça deneme kaynağı, kalite–enerji verilerinin birlikte izlenmesi	4	6	3	72	Orta
Manuel ark kaynağı	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Yüksek verimli lokal emiş sistemi, düzenli ortam ölçümleri, uygun filtreli maske, KKD kullanımının denetimi, maruziyet süresinin sınırlandırılması	5	8	5	200	Yüksek
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Yazılı kaldırma planları, renk kodlu sapan sistemi, işaretçi zorunluluğu, vinç ve aparatlara ilişkin kayıtlı periyodik muayeneler, görsel uyarı/bariyer	3	9	4	108	Yüksek
Bitmiş ürünlerin taşınması	Keskin kenarların taşınırken açıkta kalması	Çapak alma ve köşe yuvarlama standardlarının belirlenmesi, keskin kenar kontrolü, kesilmeye dayanıklı eldivenlerin zorunlu kullanımı	4	4	3	48	Orta
Kaynak sonrası çapak alma / taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Disk uygunluk kontrolü, devir–disk eşleştirme kontrol listesi, disk kullanım ömrü takibi, taşlama kabini/bariyer, PPE denetimi	2	9	4	72	Orta

Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet ve ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması için risk düzeyleri tamamen ortadan kalkmamakla birlikte, RÖS değerlerindeki azalma dikkate değerdir. Kaynak dumanı için RÖS'ün 448'den 200'e düşmesi, risk sınıfının "çok yüksek"ten "yüksek"e gerilemesini; ağır parça kaldırma için ise 315'ten 108'e düşmesi, "çok yüksek"ten "yüksek" düzeye geçişi ifade etmektedir. Bu durum, özellikle kronik maruziyet ve yüksek şiddetli kaza potansiyeli taşıyan tehlikelerde, tek başına idari tedbirlerin yeterli olmadığını, buna karşın bütünleşik teknik–organizasyonel önlemlerle anlamlı bir risk azalışı sağlanabildiğini

göstermektedir (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024).

Genel olarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 birlikte değerlendirildiğinde, kaynak ve montaj hattında çok yüksek risk düzeyine sahip hata türlerinin ortadan kalktığı, yüksek risk düzeyine sahip hata türlerinin sayısının azaldığı ve bir kısmının orta/düşük risk sınıflarına gerilediği görülmektedir. Bu eğilim, FMEA'nın entegrasyon modeline entegre edilmesinin, kaynak–montaj prosesinde hem iş kazası ve meslek hastalığı risklerini hem de yeniden işleme ve enerji kaybı kaynaklı verimsizlikleri azaltma potansiyelini nicel olarak ortaya koyduğunu göstermektedir. Böylece kaynak ve montaj hattı, ISO 45001'in tehlike ve risklerin azaltılmasına, ISO 50001'in ise proses verimliliği ve enerji performansının iyileştirilmesine yönelik gerekliliklerliyle uyumlu biçimde, entegrasyon sonrasında daha kontrollü ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır (Mahmood et al., 2022; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

4.3.2. Boya ve Fırın Hattı için FMEA Bulguları

Boya ve fırın hattında gerçekleştirilen FMEA analizi, bu proseste hem yangın/patlama riski hem de uçucu organik bileşik maruziyeti, ısıl yanık ve enerji verimsizliği açısından kritik hata türlerinin yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Tablo 4.3'te sunulan entegrasyon öncesi sonuçlara göre, özellikle "boya kabininde toz birikimi" ile "solventlerin uygunsuz depolanması" hata türleri, yüksek olasılık ve çok yüksek şiddet kombinasyonu nedeniyle çok yüksek RÖS değerleriyle öne çıkmaktadır. Bu hata türleri; kabin içinde patlayıcı atmosfer oluşumu, ani parlama/yangın, çalışanların yanık ve inhalasyon maruziyeti, üretim hattının uzun süreli duruşu ve önemli maddi kayıplar gibi sonuçlara yol açma potansiyeline sahiptir. Literatürde de boya kabinleri ve fırın prosesleri, yanıcı solventler ve boyalar nedeniyle kimyasal maruziyet ve patlama riskinin en yoğun olduğu alanlar arasında gösterilmektedir (EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

Tablo 4.3: Boya ve Fırın Hattı için FMEA Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	KONTROLLER	Ç	S	RÖS	ÖNCELİK	ÖNERİLEN İYİLEŞTİRME
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Patlayıcı atmosfer oluşumu, ani parlama/yangın, çalışanların yanık ve duman inhalasyonu, üretim hattının durması, kalite kaybı	Genel temizlik uygulamaları, dönemsel kaba temizlik, operatör gözlemi	9	7	441	Çok yüksek	Periyodik kabin temizlik planı, filtre değişim takvimi, kabin iç yüzey kontrol listesi, kayıtlı temizlik takip sistemi
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	UOB maruziyeti, yangın /patlama riski, zehirlenme, çevresel yayılım, ekipman hasarı	Uyarı levhaları, KKD kullanımı, genel havalandırma	9	6	324	Çok yüksek	Kapalı kap ve uygun etiketleme, yangına dayanımlı dolap/alan, miktar sınırlaması, depo içi düzenli denetim
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Yetersiz kürlenme veya aşırı kürlenme, boya hataları, yeniden işleme, gereksiz enerji tüketimi, ekipman ömründe azalma	Operatör tecrübesi, manuel ayar, sınırlı kayıt takibi	7	5	175	Yüksek	Reçete bazlı sıcaklık-süre listeleri, otomasyon üzerinden kayıt, sapma alarmı, operatör eğitimi
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği/arıza	UOB konsantrasyonunda artış, patlayıcı atmosfer oluşumu, çalışanlarda solunum yolu şikâyetleri, yangın/patlama riski	Fan periyodik bakımları, operatör geri bildirimi	8	6	288	Çok yüksek	Hava debisi ve basınç farkı izleme, filtre diferansiyel basınç göstergesi, arıza alarmı, periyodik performans ölçümü
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Parçanın askıdan düşmesi, çalışanların çarpma/ezilme riski, ürün hasarı, yeniden işleme, hat duruşu	Askı sistemi görsel kontrolü, operatör deneyimi	6	5	150	Yüksek	Askılama talimatı, kapasite/denge kriterleri, askı kontrol listesi, eğitim ve denetim
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası/ ekipmanın topraklanmaması	Statik elektrik birikimi, kıvılcım oluşumu, yangın/patlama, çalışanlarda yanık ve inhalasyon maruziyeti	Topraklama kabloları, priz ve hatların genel kontrolü	9	7	252	Çok yüksek	Topraklama sürekliliği testleri, periyodik ölçümler, ex-proof ekipman, topraklama kontrol listesi ve kayıt sistemi

Tablo 4.3'te dikkat çeken bir diğer hata türü, "fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin uygunsuz ayarlanması"dır. Bu hata, bir yandan ürünün yetersiz kürlenmesi veya aşırı ısınması nedeniyle kalite kaybı ve yeniden işleme gereksinimi doğurmakta, diğer yandan gereğinden yüksek sıcaklık ve süre seçimiyle gereksiz enerji tüketimi ve ekipman ömründe azalma yaratmaktadır. FMEA sonuçlarında bu hata türü, orta-yüksek olasılık ve yüksek şiddet nedeniyle yüksek risk düzeyi ile sınıflandırılmaktadır. Benzer şekilde, "kabin havalandırma sisteminde arıza veya yetersizlik" hata türü de hem UOB yoğunluğunun artması hem de patlayıcı atmosfer oluşma ihtimali nedeniyle yüksek RÖS değerleriyle kritik bir konumda yer almaktadır (Stamatis, 2003; ISO, 2018).

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen teknik ve organizasyonel önlemler dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, aynı hata türleri için entegrasyon sonrası öngörülen FMEA sonuçları Tablo 4.4'te sunulmuştur. Bu tabloda; boya kabininde toz birikimine karşı periyodik temizlik ve filtre değişim planlarının standardize edilmesi, kabin içi hava hızı ve basınç farkı ölçümlerinin düzenli izlenmesi, solvent depolamasında ise uygun etiketleme, kapalı kap kullanımı ve patlamaya dayanıklı depolama alanları gibi önlemler tanımlanmış ve buna bağlı olarak ilgili hata türleri için olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin anlamlı ölçüde düştüğü görülmüştür. Böylece, entegrasyon öncesinde çok yüksek risk düzeyinde yer alan "boya kabininde toz birikimi" ve "solventlerin uygunsuz

depolanması" hata türlerinin, entegrasyon sonrası öngörülen durumda yüksek veya orta risk düzeyine gerilediği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.4: Boya ve Fırın Hattı için FMEA Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	Ş	S	RÖS	ÖNCELİK
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Kabin için yazılı temizlik prosedürü, günlük/haftalık temizlik planı, filtre değişim takvimi, kabin iç yüzey kontrol listesi, temizlik kayıtlarının tutulması	3	9	4	108	Yüksek
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	Kapalı kap–etkin etiketleme sistemi, ex-proof kimyasal dolap, maksimum stok miktarı sınırı, düzenli depo denetimleri, yangın algılama ve söndürme sistemi entegrasyonu	3	9	4	108	Yüksek
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Reçete bazlı otomatik sıcaklık–süre ayarları, her parti için kayıtlı izleme, sapmalara yönelik alarm ve durdurma fonksiyonu, enerji performans göstergeleriyle ilişkilendirme	3	7	3	63	Orta
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği/arıza	Hava debisi ve basınç farkının sürekli izlenmesi, diferansiyel basınç göstergeleri, filtre tıkanma alarmı, planlı bakım programı, izleme sonuçlarının kaydedilmesi	3	8	4	96	Orta
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Askılama talimatlarının yazılı hale getirilmesi, yeni çalışan oryantasyonu, düzenli askı kontrolü, düşmeye karşı fiziksel bariyerler ve uyarı levhaları	3	6	3	54	Orta
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası/ekipmanın topraklanmaması	Topraklama sürekliliği test planı, periyodik ölçüm kayıtları, ex-proof ekipman kullanımı, topraklama noktalarının etiketlenmesi ve kontrol listesiyle izlenmesi	2	9	4	72	Orta

Fırın sıcaklık ve süre parametrelerine ilişkin hata türünde ise entegrasyon modeli kapsamında; enerji performans göstergeleri (EnPI) ile ilişkilendirilmiş reçete bazlı sıcaklık-süre kayıtlarının tutulması, otomasyon sistemi üzerinden set değerlerin izlenmesi ve sapmaların raporlanması gibi önlemler tanımlanmıştır. Bu sayede hem ürün kalitesiyle ilgili yeniden işleme oranlarının düşürülmesi hem de gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Tablo 4.4'te bu hata türü için RÖS değerinde gözlenen azalma, boya ve fırın hattının aynı anda ISO 45001'in "tehlikelerin ortadan kaldırılması ve risklerin azaltılması" ile ISO 50001'in "enerji performansının iyileştirilmesi" gerekliliklerine katkı sağlayacak şekilde yönetilebileceğini göstermektedir (ISO, 2018; Mahmood et al., 2022).

Genel olarak Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 birlikte incelendiğinde, boya ve fırın hattında entegrasyon öncesi durumda çok yüksek ve yüksek RÖS değerlerine sahip hata türlerinin yoğun olduğu; entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise bu hata türlerinin önemli bir kısmının daha düşük risk sınıflarına taşındığı görülmektedir. Özellikle yanıcı solventler, boya kabini tozu, fırın işletme parametreleri ve

havalandırma sistemi ile ilişkili hata türlerinde sağlanan bu azalma, entegrasyon modelinin yangın ve patlama risklerini azaltma, kimyasal maruziyeti kontrol altına alma ve enerji verimliliğini artırma potansiyelini nicel olarak ortaya koymaktadır. Böylece boya ve fırın hattı, metal işletmesinde önerilen ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modelinin hem İSG hem de enerji yönetimi boyutunda en somut sonuçlarının gözlenebileceği kritik süreçlerden biri haline gelmektedir (Stamatis, 2003; EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

4.3.3. Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için FMEA Bulguları

Kompresör odası ve basınçlı hava sistemi için gerçekleştirilen FMEA analizi, bu alanın hem iş sağlığı ve güvenliği hem de enerji verimliliği bakımından işletmenin kritik düğüm noktalarından biri olduğunu göstermektedir. Tablo 4.5'te sunulan entegrasyon öncesi sonuçlara göre; özellikle basınçlı hava hatlarında kaçaklar, kompresörün uygunsuz çalışma koşullarında (yüksek sıcaklık, düşük yağ seviyesi vb.) işletilmesi, kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet ve basınçlı hava hortumlarının uygunsuz kullanımı/arıza yapması gibi hata türleri, yüksek ve çok yüksek RÖS değerleriyle ön plana çıkmıştır. Bu hata türleri; bir yandan hortum patlaması, parçaların fırlaması ve ani hava boşalması sonucu travma ve iş kazalarına neden olma potansiyeli taşırken, diğer yandan sürekli kaçak ve uygunsuz işletme koşulları nedeniyle gereksiz enerji tüketimi, ekipman ömründe azalma ve üretim sürekliliğinde kesintiler yaratmaktadır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Yıldız, 2024).

Entegrasyon öncesi durumda, kompresör odası çoğunlukla "yardımcı ekipman alanı" olarak görüldüğünden, maruziyetin sürekliliği ve enerji kayıpları FMEA çıktılarında kritik bir zafiyet alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Gürültü seviyelerinin 85 dB(A) ve üzerinde seyrettiği durumlarda, çalışanların uzun süreli maruziyetinin işitme kaybı ve diğer meslek hastalıkları ile ilişkili olduğu; basınçlı hava kaçaklarının ise literatürde enerji tüketiminin önemli bir yüzdesine karşılık geldiği vurgulanmaktadır (EU-OSHA, 2019; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025). Tablo 4.5'te bazı hata türlerinin saptanabilirlik (S) puanlarının da yüksek olması, kaçaklar ve uygunsuz çalışma

koşullarının çoğu zaman sistematik olarak izlenmediğini, yalnızca arıza veya ciddi performans düşüşü yaşandığında fark edildiğini göstermektedir. Bu durum, ISO 50001 kapsamında beklenen ölçme–izleme ve performans değerlendirme kültürünün bu alanda yeterince yerleşmediğine işaret etmektedir.

Tablo 4.5: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için FMEA Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	KONTROLLER	O	Ş	S	RÖS	ÖNCELİK	ÖNERİLEN İYİLEŞTİRME
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Artan enerji tüketimi, kompresörün sık devreye girmesi, ekipman ömründe azalma, basınç düşmesi nedeniyle ekipman performans kaybı, gürültü artışı	Zaman zaman görsel/işitsel kontrol, arıza olduğunda müdahale	7	5	8	280	Çok yüksek	Planlı kaçak tarama programı, ultrasonik kaçak dedektörü kullanımı, bakım kayıtlarının tutulması, kaçakların giderilmesi için düzeltici faaliyet sistemi
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Yatak ve segman arızaları, ani duruş, yangın/patlama riski, uzun süreli üretim kaybı, yüksek onarım maliyeti	Periyodik bakım kısmen, operatör gözlemleri	5	8	7	280	Çok yüksek	Üretici talimatına uygun bakım planı, yağ seviyesi ve sıcaklık sensörlerinin izlenmesi, alarm ve otomatik durdurma sistemi, bakım kayıtlarının izlenmesi
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	İşitme kaybı riski, baş ağrısı ve yorgunluk, iletişim güçlüğü, dikkat azalması ve hata yapma olasılığında artış	Kulaklık KKD'si önerisi, sınırlı denetim	8	6	8	384	Çok yüksek	Gürültü ölçümleri, gürültü kaynağının kapatılması veya kabinlenmesi, zorunlu kulak koruyucu kullanımı, maruziyet sürelerinin sınırlandırılması
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması / yerinden çıkması	Havanın ani boşalması sonucu göz ve yüz yaralanmaları, fırlayan parçalar, çalışanların dengesini kaybetmesi, ekipman hasarı, üretim duruşu	Hortumların görsel kontrolü, periyodik basınç testi sınırlı	3	9	7	189	Yüksek	Hortum ve bağlantıların periyodik basınç testleri, emniyet kelepçeleri, hortum koruyucuları, basınç sınırlayıcı valfler, kullanım öncesi kontrol listeleri
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı / bakımsızlık	Kısa devre, elektrik arkı, yangın çıkması, kompresör ve yardımcı ekipmanların hasar görmesi, uzun süreli üretim kaybı	Zaman zaman elektrikçi kontrolü, sigorta atması sonrası müdahale	4	9	6	216	Çok yüksek	Düzenli termal kamera kontrolleri, tork kontrolü, periyodik elektrik pano bakımı, kayıtlı bakım planı, yetkisiz müdahalelerin engellenmesi
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Çalışanlarda sıcak stres ve konforsuzluk, kompresör veriminde düşüş, ekipman ömrünün kısalması, yağ bozulması, enerji tüketiminde artış	Doğal havalandırma, kapı/pencere açılması	6	5	6	180	Yüksek	Mekanik havalandırma sistemi kurulması, sıcaklık izleme ve alarm, hava akış yönlendirmesi, kompresör odası tasarımının gözden geçirilmesi

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli çerçevesinde önerilen önlemler dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, aynı hata türleri için entegrasyon sonrası öngörülen FMEA sonuçları Tablo 4.6'da sunulmuştur. Bu tabloda; kompresör ve basınçlı hava sistemi için planlı bakım ve izleme programı oluşturulması, hava kaçaklarının periyodik olarak ultrasonik dedektör veya sabun köpüğü testleriyle taranması, kompresör odası için gürültü ölçümleri ve gerekiyorsa kabinleme/izolasyon uygulamaları, basınç, sıcaklık ve enerji tüketimi gibi parametrelerin enerji performans göstergeleri ile entegre biçimde izlenmesi gibi kontroller tanımlanmıştır. Bu önlemler sonucunda, özellikle olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) puanlarında belirgin düşüşler sağlandığı; yüksek ve çok yüksek RÖS değerine sahip hata türlerinin önemli bir kısmının orta veya daha düşük risk sınıflarına gerilediği görülmektedir.

Tablo 4.6: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için FMEA Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	Ş	S	RÖS	ÖNCELİK
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Planlı kaçak tarama programı, ultrasonik kaçak dedektörü ile periyodik kontrol, kaçakların kayıt altına alınması ve giderilmesi, basınç ve enerji tüketimi göstergelerinin izlenmesi	4	5	4	80	Orta
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Üretici önerilerine uygun bakım planı, yağ seviyesi sensörü ve yüksek sıcaklık alarmı, belirlenen sınır değerlerde otomatik durdurma, bakım kayıtlarının izlenmesi	3	8	4	96	Orta
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	Gürültü etütleri, kompresörün kabinlenmesi veya izolasyonu, zorunlu kulak koruyucu kullanımı, maruziyet sürelerinin planlanması, gürültü seviyelerinin periyodik ölçüm ve raporlanması	6	6	5	180	Yüksek
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması / yerinden çıkması	Hortumlar için emniyet kelepçeleri ve koruyucular, periyodik basınç testleri, maksimum basınç sınırlayıcı valfler, kullanım öncesi kontrol listeleri ve operatör eğitimi Yıllık periyodik elektrik pano bakımı, termal	2	9	4	72	Orta
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı / bakımsızlık	kamera ile sıcak nokta tespiti, bağlantı tork kontrolleri, bakım planı ve kayıtları, yetkilendirilmiş personel dışı müdahalenin engellenmesi	2	9	4	72	Orta
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Mekanik havalandırma sisteminin kurulması, ortam sıcaklığının izlenmesi ve alarm sınırları, hava akışının yeniden düzenlenmesi, kompresör yerleşiminin gözden geçirilmesi	3	5	4	60	Orta

Kompresör odası ve basınçlı hava sistemi için entegrasyon sonrası öngörülen tablo, bu alanın yalnızca "yardımcı tesis" değil, aynı zamanda entegre İSG–enerji yönetimi açısından stratejik bir proses olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. FMEA sonuçları, ISO 45001 kapsamında gürültü, basınçlı sistemler ve patlama/yaralanma risklerinin kontrol altına alınmasının; ISO 50001 kapsamında ise kaçakların azaltılması, verimli çalışma koşullarının sağlanması ve enerji performansının izlenmesi ile doğrudan bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024). Böylece kompresör odası, entegrasyon öncesi dönemde çoğunlukla "arka planda" kalan bir destek alanı iken, entegrasyon sonrasında hem çalışan sağlığı hem de enerji verimliliği açısından yüksek katma değer sağlayan bir iyileştirme odağına dönüşmektedir.

4.3.4. Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma Operasyonları için FMEA Bulguları

Ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonları, incelenen metal işletmesinde hem en yüksek şiddetli kaza potansiyeline sahip süreçler hem de üretim sürekliliği ve ekipman bütünlüğü açısından kritik öneme sahip alanlardan biridir. İşletmede kancalı vinçler, zincirli/sapanlı kaldırma aparatları, forklift ve transpaletler birlikte

kullanılmakta; bu durum, aynı anda hem yüksek ağırlıklı yükler hem de yaya–ekipman etkileşimi içeren karmaşık bir risk ortamı yaratmaktadır. Bu çerçevede yürütülen FMEA analizinde, ağır kaldırma ve malzeme taşıma proseslerine ilişkin entegrasyon öncesi sonuçlar Tablo 4.7'de, entegrasyon sonrası öngörülen sonuçlar ise Tablo 4.8'de özetlenmiştir.

Tablo 4.7'de görüldüğü üzere, entegrasyon öncesi durumda özellikle yük altında personel bulunması, işaretçi olmadan kaldırma işlemi yapılması, kapasitesine uygun olmayan veya hasarlı sapanların kullanılması, forklift güzergâhlarının yaya yolları ile kesişmesi ile palet ve istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması gibi hata türleri öne çıkmaktadır.

Bu hata türleri için olasılık (O), şiddet (Ş) ve saptanabilirlik (S) puanlarının kombinasyonu, FMEA RÖS değerlerinin çoğunlukla "çok yüksek" veya "yüksek" risk düzeylerinde oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle yük altında personel bulunması, işaretçi olmadan kaldırma ve uygunsuz sapan kullanımı gibi durumlar, doğrudan ölümcül veya ağır yaralanmalı kazalar ile ilişkilidir; bu nedenle şiddet puanları en üst seviyeye yakın değerlendirilmiştir. Forklift–yaya etkileşiminin yoğun olduğu alanlarda ise, olasılık ve saptanabilirlik puanlarının da görece yüksek olduğu, dolayısıyla bu tür çarpışma/carpma senaryolarının FMEA çıktılarında kritik bir öncelik alanı oluşturduğu görülmektedir. Bu bulgular, ISO 45001 kapsamında "tehlikelerin ortadan kaldırılması ve İSG risklerinin azaltılması" gerekliliği ile ağır kaldırma ve malzeme taşıma süreçlerinin doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (International Organization for Standardization [ISO], 2018).

Önerilen ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında; ağır kaldırma ve taşıma operasyonları için yazılı kaldırma planlarının oluşturulması, vinç ve sapanlar için kapasite etiketlerinin ve renk kodlu sistemlerin uygulanması, işaretçi (sinyalci) kullanımının zorunlu hale getirilmesi, forklift güzergâhlarının yaya yollarından fiziksel bariyerler, işaretlemeler ve tek yön uygulamaları ile ayrılması, palet ve istifleme süreçlerinde maksimum yükseklik ve istifleme kurallarının belirlenmesi, ayrıca bu uygulamaların eğitim ve denetim mekanizmalarıyla desteklenmesi

öngörülmüştür. Bu önlemler dikkate alınarak yapılan yeniden puanlama sonucunda elde edilen entegrasyon sonrası öngörülen FMEA sonuçları Tablo 4.8'de sunulmaktadır.

Tablo 4.7: Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma Prosesleri için FMEA bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	Ş	S	RÖS	RİSK DÜZEYİ	ÖNERİLEN İYİLEŞTİRME
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük düşmesi sonucu ezilme, ağır yaralanma veya ölüm; ekipman hasarı; uzun süreli üretim duruşu	Genel uyarılar, operatör deneyimi, zaman zaman saha uyarıları	5	10	7	350	Çok yüksek	Yük altında bulunmanın kesin yasaklanması, fiziksel bariyerler, yük altına girişin engellenmesi, net işaretleme ve disiplin uygulamaları
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yükün kontrolsüz salınımı, çarpma ve ezilme, raf ve ekipman hasarı, vinç rayına zarar, üretim duruşu	Operatör eğitimleri, sözlü iletişim	6	9	7	378	Çok yüksek	Yazılı kaldırma planı, işaretçi (sinyalci) zorunluluğu, el işaretleri talimatı, kaldırma alanına yetkisiz girişin engellenmesi
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanımı	Sapan kopması, yükün kontrolsüz düşmesi, çoklu yaralanma/ölüm, vinç ve altyapı hasarı, üretim kaybı	Periyodik kontrol kısmen, gözle muayene	4	10	7	280	Çok yüksek	Kapasite ve renk kodlu sapan sistemi, periyodik kayıtlı muayene, hasarlı sapanların derhal hurdaya ayrılması, sadece yetkili kişilerin sapan seçebilmesi
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	Yaya–forklift çarpışması, ezilme, ciddi yaralanma/ölüm, raf devrilmesi, ürün ve ekipman hasarı, üretim duruşu	Yaya–araç uyarı levhaları, operatör tecrübesi	7	8	6	336	Çok yüksek	Forklift yollarının boyalı şerit ve bariyerlerle ayrılması, tek yön uygulaması, hız sınırı, yaya geçitlerinin belirlenmesi ve işlevsel hale getirilmesi
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/ istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	İstif devrilmesi, çarpma ve ezilme, ürün hasarı, yeniden işleme, iş akışının kesilmesi	Operatör deneyimi, genel uyarılar	6	7	4	168	Yüksek	Maksimum istif yüksekliği ve istifleme kurallarının belirlenmesi, palet kontrolü, istif alanı sınırlarının çizilmesi, düzenli saha denetimleri
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Bel ve kas–iskelet sistemi yaralanmaları, kronik rahatsızlıklar, iş gücü kaybı, verimlilikte azalma	Elle taşıma eğitimleri, bel korsesi önerisi	7	6	5	210	Çok yüksek	Riskli yükler için mekanik yardımcıların (transpalet, küçük kaldırma araçları) kullanımı, kaldırma-teknik eğitimi, iki kişiyle taşıma kurallarının belirlenmesi

Tablo 4.8'de, aynı hata türleri için olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin anlamlı ölçüde düştüğü; buna karşın tehlikenin doğası gereği şiddet (Ş) puanlarında genellikle değişiklik yapılmadığı görülmektedir. Bu durum, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarında şiddetin yapısal olarak yüksek kaldığını, ancak entegre önlemler sayesinde "bu olayların meydana gelme olasılığı" ve "erken tespit edilmeden gerçekleşme ihtimali"nin azaltılabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak; yük altında personel bulunması, işaretçi olmadan kaldırma ve forklift–yaya çarpışması gibi kritik senaryolara ilişkin RÖS değerlerinin, entegrasyon öncesinde "çok yüksek" risk sınıfında iken, entegrasyon sonrası öngörülen durumda çoğunlukla "yüksek" veya "orta" risk düzeyine gerilediği görülmektedir. Bu eğilim, FMEA yönteminin ağır kaldırma ve taşıma süreçlerinde operasyonel disiplin, alan düzenlemesi ve ekipman yönetimi yoluyla sağlanan iyileşmeleri nicel olarak görünür kıldığını; aynı zamanda entegrasyon modeli sayesinde hem çalışan güvenliği hem de üretim sürekliliği ve ekipman ömrü üzerinde olumlu etkiler yaratılabileceğini ortaya koymaktadır (ISO, 2018; Stamatis, 2003).

Tablo 4.8: Ağır Kaldırma ve Malzeme taşıma prosesleri için FMEA bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	Ş	S	RÖS	RİSK DÜZEYİ
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük altında bulunmanın prosedürel olarak yasaklanması, kaldırma alanının bariyer ve zincirlerle çevrilmesi, yer işaretlemeleri, denetimli disiplin uygulamaları	2	10	5	100	Orta
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yazılı kaldırma planı, her kaldırma için yetkilendirilmiş işaretçi ataması, el işaretlerinin standardizasyonu, kamera/ikaz sistemleri	3	9	4	108	Yüksek
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanımı	Renk kodlu ve kapasite etiketli sapan sistemi, kayıtlı periyodik muayene, hasarlı sapanların derhal hurdaya ayrılması, sadece eğitimli personelin sapan seçimine yetkili olması	2	10	4	80	Orta
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	Forklift ve yaya yollarının fiziksel bariyerlerle ayrılması, tek yönlü güzergâhlar, hız sınırı ve uyarı sistemleri, yaya geçitlerinde zorunlu dur-kalk uygulaması	4	8	4	128	Yüksek
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	Maksimum istif yüksekliği ve istif şemasının belirlenmesi, palet ve raf kontrolleri, istif alanlarının çizilmesi, düzenli saha turu ve denetim kayıtları	3	7	3	63	Orta
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Elle taşımanın azaltılması için transpalet ve mekanik yardımcıların devreye alınması, kaldırma teknikleri eğitimi, iki kişiyle taşıma kuralı, ergonomi risk değerlendirmesi	4	6	4	96	Orta

4.4. HRNS Bulguları

HRNS yöntemi, tehlikeleri yalnızca olasılık ve şiddet üzerinden değil, aynı zamanda maruziyet sıklığı ve etkilenebilecek kişi sayısı üzerinden de değerlendirerek özellikle KOBİ ölçeğindeki işletmelerde sık tekrarlanan ve birden fazla çalışanı etkileyen riskleri sayısal olarak görünür kılmayı amaçlamaktadır (Aker, 2019; Pekcan, 2023; Yıldız, 2024). Analiz sonuçları bütünsel olarak değerlendirildiğinde;

Kaynak–montaj hattında, özellikle kaynak dumanına uzun süreli maruziyet ile ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması ve keskin kenarların açıkta kalması, yüksek maruziyet sıklığı (M) ve çok sayıda çalışanın etkilenebilmesi (K) nedeniyle çok yüksek HRN değerleriyle öne çıkmıştır.

Boya ve fırın hattında, boya kabini tozu, solvent buharı maruziyeti ve kabin havalandırma yetersizliği, hem kimyasal maruziyet hem de yangın/patlama riski açısından kritik tehlikeler olarak belirlenmiş; bu tehlikeler için de HRN değerleri genellikle yüksek ve çok yüksek sınıflarda oluşmuştur.

Kompresör odası ve basınçlı hava sisteminde, basınçlı hava kaçakları ve yüksek gürültü düzeyi, bir yandan enerji verimliliği kaybı, diğer yandan kronik meslek hastalığı riski (işitme kaybı, yorgunluk vb.) nedeniyle dikkat çekici risk skorları üretmiştir.

Ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarında ise yük altında personel bulunması, forklift–yaya etkileşimi ve uygunsuz istifleme, şiddet (Ş) parametresinin çok yüksek, maruziyet sıklığı ve kişi sayısının ise orta–yüksek düzeyde olması nedeniyle HRNS açısından en kritik gruplardan birini oluşturmuştur.

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen teknik ve organizasyonel önlemler (kaldırma planları, alan düzenlemeleri, havalandırma ve filtrasyon iyileştirmeleri, enerji performans göstergeleriyle ilişkilendirilmiş bakım ve izleme uygulamaları, KKD kullanımının sistematikleştirilmesi vb.) dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmede; söz konusu tehlikelerin "Olasılık", "Maruziyet" ve bazı durumlarda "Kişi sayısı" parametrelerinde anlamlı azalmalar öngörülmüştür. Buna bağlı olarak, çok yüksek risk sınıfındaki birçok tehlikenin yüksek veya orta risk sınıflarına gerilediği; yüksek risk sınıfındaki tehlikelerin önemli bir kısmının ise orta veya düşük risk düzeylerine indiği görülmektedir. Bu tablo, HRNS yönteminin özellikle çalışan maruziyetini azaltma, çalışan sayısını etkileyen toplu riskleri düşürme ve tekrarlayan tehlikeleri kontrol altına alma açısından entegrasyon modelinin etkilerini nicel olarak ortaya koyduğunu göstermektedir (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Yıldız, 2024).

4.4.1. Kaynak ve Montaj Hattı için HRNS Bulguları

Kaynak ve montaj hattı için gerçekleştirilen HRNS analizinde, entegrasyon öncesi durumda elde edilen sonuçlar Tablo 4.9'da, entegrasyon sonrası öngörülen durum ise Tablo 4.10'da sunulmaktadır. Tablo 4.9 incelendiğinde, özellikle "kaynak dumanına uzun süreli maruziyet" tehlikesinin HRN = 1344 değeriyle çok yüksek risk sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu yüksek skor; hem olasılık (O) hem maruziyet sıklığı (M)

hem de aynı anda etkilenebilecek kişi sayısının (K) görece yüksek olmasına bağlıdır. Benzer biçimde, "ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması" (HRN = 540) ve "keskin kenarların açıkta kalması" (HRN = 420) tehlikeleri de "çok yüksek" risk düzeyinde sınıflandırılmıştır. Bu tehlikeler, metal sektörüne ilişkin literatürde de sıkça vurgulanan iki temel risk grubuyla (kronik solunumsal maruziyetler ve ağır kaldırma/ezilme riskleri) doğrudan örtüşmektedir (Aker, 2019; Erin, 2021; Yıldız, 2024).

Tablo 4.9: Kaynak ve Montaj Hattı için HRNS Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Manuel kaynak işlemi	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Solunum yolu irritasyonu, kronik akciğer hastalıkları, meslek hastalığı riski, iş gücü kaybı	Lokal aspiratör, genel havalandırma, KKD önerisi	8	6	4	7	1344	Çok yüksek
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Yük düşmesi, ezilme, ciddi yaralanma/ölüm, vinç ve ekipman hasarı, üretim duruşu	Vinç operatör belgesi, periyodik kontrol, görsel kontrol	5	4	3	9	540	Çok yüksek
Kaynak sonrası taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Göz ve yüz yaralanmaları, ciddi travma, iş göremezlik	Koruyucu gözlük ve yüz siperi, periyodik makine kontrolü	3	3	2	9	162	Orta
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Parça düşmesi, ezilme, yeniden işleme, üretim süresinin uzaması ve enerji tüketiminde artış	Usta kontrolü, görsel kontrol	5	4	3	4	240	Yüksek
Bitmiş ürünlerin elle/ara taşıması	Keskin kenarların açıkta kalması	El ve kol kesikleri, yüzeysel yaralanmalar, sık tekrarlayan ramak kala olayları	Eldiven kullanımı, usta uyarıları	7	5	3	4	420	Çok yüksek

Kaynak öncesi hazırlık aşamasında parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi tehlikesi, HRN = 240 ile "yüksek" risk düzeyinde; kaynak sonrası taşlama işlemleri sırasında taşlama diskinin patlaması tehlikesi ise HRN = 162 ile "orta" risk düzeyinde değerlendirilmiştir. Taşlama diski patlaması olaylarının olasılık ve maruziyet sıklığı görece düşük olmakla birlikte, şiddetin yüksek olması nedeniyle tamamen ihmal edilebilir olmadığı; ancak günlük maruziyet açısından kaynak dumanı ve ağır kaldırma risklerine kıyasla daha sınırlı bir popülasyonu etkilediği anlaşılmaktadır. Bu dağılım, HRNS yönteminin, tez kapsamında aynı hatta uygulanan FMEA sonuçlarını tamamlayıcı biçimde, hangi tehlikelerin daha sık tekrarlandığını ve daha fazla çalışanı etkilediğini ortaya koyduğunu göstermektedir.

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen iyileştirmeler dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmede (Tablo 4.9);

kaynak dumanına maruziyet için lokal emiş performansının artırılması, uygun filtreli maske kullanımının zorunlu hale getirilmesi, maruziyet sürelerinin sınırlandırılması ve ortam ölçümlerinin düzenli yapılması, ağır parçaların kaldırılması için kaldırma planları, renk kodlu sapan sistemi ve işaretçi kullanımının zorunlu kılınması, keskin kenarların yönetiminde çapak alma standardizasyonu ve kesilmeye dayanıklı eldiven kullanımının denetlenmesi gibi önlemler devreye alınmıştır. Bu entegrasyon sonrası senaryoda; özellikle Olasılık, Maruziyet ve Kişi sayısı parametrelerindeki azalmalar sayesinde çok yüksek HRN değerlerinin önemli bir kısmının yüksek veya orta risk seviyesine gerilediği görülmektedir. Örneğin, kaynak dumanı tehlikesine ilişkin risk skoru 1344'ten 420'ye düşerek "çok yüksek"ten "yüksek" sınıfına; ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınmasına ilişkin risk skoru ise 540'tan 162'ye düşerek "çok yüksek"ten "orta" risk sınıfına gerilemiştir. Bu sonuçlar, entegrasyonun özellikle maruziyet ve etkilenebilecek kişi sayısını azaltmaya yönelik önlemler açısından kayda değer bir iyileşme potansiyeli sunduğunu göstermektedir.

Tablo 4.10: Kaynak ve Montaj Hattı için HRNS Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Manuel kaynak işlemi	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Yüksek verimli lokal emiş, düzenli ortam ölçümleri, uygun filtreli maske, KKD kullanımının izlenmesi, maruziyet süresinin sınırlandırılması	5	4	3	7	420	Yüksek
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Kaldırma planları, renk kodlu ve kapasiteli sapan sistemi, kayıtlı periyodik muayeneler, işaretçi zorunluluğu, kaldırma alanına giriş kısıtlaması	3	3	2	9	162	Orta
Kaynak sonrası taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Disk uygunluk ve devir kontrolü, disk kullanım ömrü takibi, taşlama kabini/bariyer, PPE denetimi	2	3	2	9	108	Orta
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Standardize fikstürler, hazırlık kontrol listeleri, ilk parça onay süreci, operatör eğitimi	3	3	2	4	72	Orta (alt)
Bitmiş ürünlerin elle/ara taşıması	Keskin kenarların açıkta kalması	Çapak alma standardizasyonu, keskin kenar kontrol listesi, kesilmeye dayanıklı eldivenlerin zorunlu kullanımı ve denetimi	4	4	3	4	192	Orta

Sonuç olarak, HRNS bulguları, kaynak ve montaj hattında ISO 45001 ile ISO 50001 entegrasyonunun yalnızca tekil olayların azaltılması değil, aynı zamanda sistematik maruziyetin ve çalışan yoğunluğunun yönetilmesi açısından da kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu hat özelinde elde edilen azalış eğilimleri, entegrasyonun İSG

performansı kadar, yeniden işleme ve enerji kaybı gibi dolaylı maliyetleri de azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermekte ve literatürde entegre yönetim sistemlerinin risk azaltımı ve sürdürülebilirlik performansına katkılarına ilişkin bulgularla uyumlu bir çerçeve sunmaktadır (Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

4.4.2. Boya ve Fırın Hattı için HRNS Bulguları

Boya ve fırın hattı için gerçekleştirilen HRNS analizinde, tehlikeler olasılık (O), maruziyet sıklığı (M), etkilenebilecek kişi sayısı (K) ve şiddet (Ş) parametreleri üzerinden değerlendirilmiş; entegrasyon öncesi duruma ilişkin sonuçlar Tablo 4.11'de, entegrasyon sonrası öngörülen duruma ilişkin sonuçlar ise Tablo 4.12'de özetlenmiştir. Analiz bulguları, boya ve fırın prosesinin hem kimyasal maruziyet (solvent buharları, boya partikülleri), hem de yangın/patlama riski açısından işletmenin en kritik alanlarından biri olduğunu göstermektedir (EU-OSHA, 2019; Pekcan, 2023; Yıldız, 2024).

Entegrasyon öncesi durumda, Tablo 4.11'de görüldüğü üzere özellikle "boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi" ve "solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz koşullarda depolanması" tehlikeleri, yüksek olasılık (O), sık maruziyet (M), aynı anda birden fazla çalışanın etkilenebilmesi (K) ve çok yüksek şiddet (Ş) kombinasyonu nedeniyle çok yüksek HRN değerleri ile öne çıkmaktadır. Boya kabininde biriken tozlar, solvent buharları ile birleştiğinde patlayıcı atmosfer oluşumuna zemin hazırlamakta; bu durum hem çalışanların yanık ve inhalasyon maruziyeti açısından hem de tesis bütünlüğü ve üretim sürekliliği açısından kritik sonuçlar doğurabilmektedir (EU-OSHA, 2019; Özmen, 2025). Aynı şekilde, kabin havalandırma sisteminin yetersizliği veya arızası da UOB konsantrasyonlarının artmasına, patlama/yangın olasılığının yükselmesine ve çalışanların solunum yolu şikâyetlerinin artmasına yol açarak yüksek ve çok yüksek risk sınıflarında konumlanmıştır.

Tablo 4.11: Boya ve Fırın Hattı için HRNS Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Boya tozlarının kabin içinde birikmesi, patlayıcı atmosfer oluşumu, ani parlama/yangın, çalışanlarda yanık ve inhalasyon maruziyeti, üretim hattının uzun süreli durması	Genel temizlik uygulamaları, dönemsel kaba temizlik, operatör gözlemi	7	6	3	9	1134	Çok yüksek
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	UOB maruziyeti,yangın / patlama riski, zehirlenme, çevresel yayılım, ekipman hasarı, üretim duruşu	Uyarı levhaları, KKD kullanımı, genel havalandırma	6	5	3	9	810	Çok yüksek
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Yetersiz veya aşırı kürlenme, boya hataları, yeniden işleme gereksinimi, gereksiz enerji tüketimi, fırın ve ekipman ömründe azalma	Operatör tecrübesi, manuel ayar, sınırlı kayıt takibi	5	5	2	7	350	Yüksek
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği / arızası	UOB konsantrasyonunda artış, çalışanlarda solunum yolu şikâyetleri, patlayıcı atmosfer oluşumu, yangın/patlama riski	Fan periyodik bakımları, operatör geri bildirimi	6	5	3	8	720	Çok yüksek
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Parçanın askıdan düşmesi, çalışana çarpma/ezilme, ürün hasarı, yeniden işleme, hat duruşu	Askı sistemi görsel kontrolü, operatör deneyimi	5	4	3	6	360	Yüksek
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası / ekipmanın topraklanmaması	Statik elektrik birikimi, kıvılcım oluşumu, yangın/patlama, çalışanlarda yanık ve inhalasyon maruziyeti	Topraklama kabloları, priz ve hatların genel kontrolü	4	4	3	9	432	Çok yüksek

Boya ve fırın hattında HRNS açısından dikkat çeken bir diğer alan, fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin uygunsuz ayarlanmasıdır. Her ne kadar bu tehlike doğrudan fiziksel yaralanma riski yaratmasa da; ürün üzerinde boya hatalarına, yeniden işleme oranlarının artmasına ve özellikle gereğinden yüksek sıcaklık/süre kombinasyonlarında gereksiz enerji tüketimine neden olmakta, bu nedenle hem kalite hem de enerji yönetimi boyutunda önemli bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012). Askı sisteminde parçaların uygunsuz yerleştirilmesi ve boya tabancası/ekipman topraklamasının yetersiz olması da, bir yandan düşen parçalar ve ezilme tehlikesi, diğer yandan statik elektrik kaynaklı kıvılcım ve yangın riskleri nedeniyle yüksek HRN değerleri ile sınıflandırılmıştır (Aker, 2019; Pekcan, 2023).

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen iyileştirmeler dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmede (Tablo 4.12), aynı tehlikeler için özellikle O (olasılık), M (maruziyet sıklığı) ve bazı durumlarda K (etkilenebilecek kişi sayısı) parametrelerinde anlamlı azalmalar öngörülmüştür. Bu kapsamda; boya kabini için yazılı temizlik ve bakım prosedürü, günlük/haftalık temizlik planları, filtre değişim takvimi ve kabin içi yüzey kontrolleri tanımlanmış; solvent yönetimi için kapalı kap kullanımı, ex-proof kimyasal dolaplar,

maksimum stok miktarı sınırı ve düzenli depo denetimleri devreye alınmış; fırın sıcaklık ve süre parametreleri, reçete bazlı otomasyon ve enerji performans göstergeleri (EnPI) ile ilişkilendirilerek izlenebilir hâle getirilmiş; kabin havalandırma ve filtrasyon sistemi için hava debisi ve basınç farkı izleme, filtre tıkanma alarmı ve planlı bakım programları tanımlanmıştır.

Tablo 4.12: Boya ve Fırın Hattı için HRNS Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Kabin için yazılı temizlik prosedürü, günlük/haftalık temizlik planı, filtre değişim takvimi, kabin iç yüzey kontrol listesi, temizlik ve bakım kayıtlarının tutulması	3	4	2	9	216	Yüksek
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	Kapalı kap kullanımı, ex-proof kimyasal dolap, maksimum stok miktarı sınırı, düzenli depo denetimleri, yangın algılama ve söndürme sistemi ile bütünleşik izleme	3	3	2	9	162	Orta
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Reçete bazlı otomatik sıcaklık–süre ayarları, her parti için kayıtlı izleme, sapmalara yönelik alarm ve durdurma fonksiyonu, EnPI ile ilişkilendirilmiş performans takibi	3	4	2	7	168	Orta
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği /arızası	Hava debisi ve basınç farkının izlenmesi, filtre tıkanma göstergeleri, arıza alarmı, planlı bakım programı, ölçüm ve bakım kayıtlarının tutulması	3	3	2	8	144	Orta
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Askılama talimatlarının yazılı hale getirilmesi, yeni çalışan oryantasyonu, askı kontrol listeleri, istif ve askı alanlarına ilişkin görsel işaretleme ve denetimler	3	3	2	6	108	Orta
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası / ekipmanın topraklanmaması	Topraklama sürekliliği test planı, periyodik ölçüm ve kayıtlar, ex-proof ekipman kullanımı, topraklama noktalarının etiketlenmesi ve kontrol listesiyle izlenmesi	2	3	2	9	108	Orta

Bu entegrasyon sonrası senaryoda, daha önce çok yüksek risk sınıfında yer alan boya kabini tozu ve uygunsuz solvent depolama tehlikelerinin HRN değerleri bir veya iki risk sınıfı aşağıya gerilemekte; yüksek risk grubundaki tehlikelerin önemli bir bölümünün ise orta risk düzeyine indiği görülmektedir. Özellikle maruziyet sıklığını (M) azaltmaya yönelik olarak temizlik ve bakım periyotlarının netleştirilmesi, etkilenebilecek kişi sayısını (K) sınırlayan alan düzenlemeleri ve yetkilendirmeler ile birleştirildiğinde, HRNS skorlarındaki azalış belirginleşmektedir. Literatürde, boya kabini ve fırın proseslerinde sistematik temizlik, havalandırma performans izlemesi ve solvent yönetimi uygulamalarının hem İSG risklerinde hem de enerji tüketiminde iyileşme sağladığı yönündeki bulgular, bu analiz sonuçlarını destekler niteliktedir (EU-OSHA, 2019; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Özmen, 2025).

Sonuç olarak, HRNS bulguları, boya ve fırın hattında ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunun yalnızca yangın/patlama ve kimyasal maruziyet risklerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji verimliliğine ve yeniden işleme oranlarının düşürülmesine de katkı sağlayabilecek bütünleşik bir iyileştirme alanı sunduğunu göstermektedir. Tehlikelerin O–M–K–Ş parametreleri üzerinden sistematik biçimde değerlendirilmesi, bu hattın hem İSG hem de enerji yönetimi açısından öncelikli prosesler arasında konumlanmasını sağlamış; entegrasyon sonrası öngörülen HRNS skorları, uygulanan önlemlerin özellikle maruziyet ve çalışan sayısı boyutunda kayda değer bir iyileşme potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur (Pekcan, 2023; Yıldız, 2024).

4.4.3. Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları

Kompresör odası ve basınçlı hava sistemi için gerçekleştirilen HRNS analizinde, tehlikeler olasılık (O), maruziyet sıklığı (M), etkilenebilecek kişi sayısı (K) ve şiddet (Ş) parametreleri üzerinden değerlendirilmiş; entegrasyon öncesi duruma ilişkin sonuçlar Tablo 4.13'te, entegrasyon sonrası öngörülen duruma ilişkin sonuçlar ise Tablo 4.14'te özetlenmiştir. Kompresör odası, metal işletmesinde çoğunlukla "yardımcı tesis" olarak algılanmasına rağmen, hem iş sağlığı ve güvenliği hem de enerji yönetimi açısından önemli riskler barındırmaktadır. Entegrasyon öncesi HRNS sonuçları, özellikle basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar, kompresörün uygunsuz işletme koşullarında (yüksek sıcaklık, düşük yağ seviyesi vb.) çalıştırılması, kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet ve basınçlı hava hortumlarının patlaması/yerinden çıkması gibi tehlikelerin yüksek ve çok yüksek risk skorları ürettiğini ortaya koymuştur (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

Entegrasyon öncesi tabloda (Tablo 4.13), basınçlı hava kaçaklarına ilişkin HRN değerlerinin özellikle maruziyet sıklığı (M) ve etkilenebilecek kişi sayısı (K) parametrelerinin görece yüksek olması nedeniyle "yüksek" ve "çok yüksek" risk sınıflarında yer aldığı; kompresör odasındaki gürültü maruziyetinin ise uzun süreli çalışma ve denetim faaliyetleri nedeniyle yüksek M ve K değerleri ile

değerlendirilerek “çok yüksek” risk grubuna girdiği görülmektedir. Basınçlı hava hortumlarının patlaması/yerinden çıkması ve elektrik panolarındaki gevşek bağlantılar gibi tehlikeler, daha düşük maruziyet sıklığına sahip olmakla birlikte, şiddet (Ş) parametresinin çok yüksek olması nedeniyle “yüksek” risk sınıfında değerlendirilmektedir. Bu tablo, HRNS yönteminin kompresör odasını yalnızca teknik bir ekipman alanı olarak değil, aynı zamanda toplu maruziyet ve enerji kaybı kaynağı olarak ele almayı mümkün kıldığını göstermektedir (Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

Tablo 4.13: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Sürekli enerji kaybı, kompresörün sık devreye girmesi, ekipman ömründe azalma, basınç düşmesi nedeniyle ekipman performans kaybı, gürültü artışı	Zaman zaman görsel/işitsel kontrol, arıza olduğunda müdahale	7	6	3	5	630	Çok yüksek
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Yatak ve segman arızaları, ani duruş, yangın/patlama riski, uzun süreli üretim kaybı, yüksek onarım maliyeti	Periyodik bakım kısmen uygulanıyor, operatör gözlemleri	5	5	3	8	600	Çok yüksek
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	İşitme kaybı riski, baş ağrısı, yorgunluk, iletişim güçlüğü, dikkat azalması, hata yapma olasılığında artış	Kulaklık KKD’si öneriliyor, sınırlı denetim	8	5	3	6	720	Çok yüksek
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması/ yerinden çıkması	Havanın ani boşalması, göz ve yüz yaralanmaları, hortumun savrulması, dengenin bozulması, ekipman hasarı, kısa süreli üretim duruşu	Hortumların görsel kontrolü, sınırlı basınç testi	4	3	2	9	216	Yüksek
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı / bakımsızlık	Kısa devre, elektrik arkı, yangın çıkması, kompresör ve yardımcı ekipmanların hasar görmesi, uzun süreli üretim kaybı	Zaman zaman elektrikçi kontrolü, sigorta atması sonrası müdahale	4	3	2	9	216	Yüksek
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Çalışanlarda sıcak stres ve konforsuzluk, kompresör veriminde düşüş, ekipman ömrünün kısalması, yağın bozulması, enerji tüketiminde artış	Doğal havalandırma, kapı/pencere açılması	6	5	3	5	450	Çok yüksek

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen iyileştirmeler dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmede (Tablo 4.14); kompresör ve basınçlı hava sistemi için planlı bakım ve izleme programı, basınçlı hava kaçakları için periyodik kaçak tarama (ultrasonik dedektör, sabun köpüğü testleri vb.), kompresör odası için gürültü ölçümleri, kabinleme/izolasyon uygulamaları ve KKD kullanımının denetimi, elektrik panoları için periyodik termal kamera kontrolleri ve ortam koşulları için mekanik havalandırma ve sıcaklık izleme sistemleri öngörülmüştür. Bu önlemler sonucunda, özellikle O (olasılık), M (maruziyet) ve bazı durumlarda K (etkilenebilecek kişi sayısı) parametrelerinde anlamlı düşüşler hedeflenmiş; buna bağlı olarak entegrasyon öncesinde “çok yüksek”

risk sınıfında yer alan bazı tehlikelerin “yüksek” ya da “orta” risk düzeyine gerilemesi beklenmektedir.

Tablo 4.14: Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için HRNS Bulguları

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Planlı kaçak tarama programı, ultrasonik kaçak dedektörü kullanımı, kaçakların kayıt altına alınması ve giderilmesi, basınç ve enerji tüketimi göstergelerinin izlenmesi	4	4	2	5	160	Orta
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Üretici talimatına uygun bakım planı, yağ seviyesi ve sıcaklık sensörleri, sınır değerde alarm ve otomatik durdurma, bakım kayıtlarının izlenmesi	3	4	2	8	192	Orta
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	Gürültü ölçümleri, kompresörün kabinlenmesi veya izolasyonu, zorunlu kulak koruyucu kullanımı, maruziyet sürelerinin planlanması ve izlenmesi	6	4	2	6	288	Yüksek
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması / yerinden çıkması	Hortum ve bağlantılar için periyodik basınç testleri, emniyet kelepçeleri ve hortum koruyucuları, basınç sınırlayıcı valfler, kullanım öncesi kontrol listeleri	2	3	2	9	108	Orta
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı / bakımsızlık	Yıllık periyodik pano bakımı, termal kamera ile sıcak nokta tespiti, bağlantı tork kontrolleri, bakım planı ve kayıtları, yetkisiz müdahalenin engellenmesi	2	3	2	9	108	Orta
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Mekanik havalandırma sistemi kurulması, ortam sıcaklığının izlenmesi ve alarm limitleri, hava akışının düzenlenmesi, kompresör yerleşiminin gözden geçirilmesi	3	3	2	5	90	Orta

Genel olarak bakıldığında, HRNS bulguları kompresör odası ve basınçlı hava sisteminin, ISO 45001 kapsamındaki gürültü, basınçlı kaplar ve patlama/yaralanma riskleri ile ISO 50001 kapsamındaki enerji verimliliği, ekipman performansı ve kaçak yönetimi arasında kritik bir kesişim noktası olduğunu göstermektedir. Entegrasyon sonrası öngörülen HRNS skorlarındaki azalma, bu alanda yapılacak iyileştirmelerin yalnızca İSG risklerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tüketimini düşürerek sürdürülebilirlik performansına da katkı sağlayacağını ortaya koymaktadır (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024).

4.4.4. Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma Operasyonları için HRNS Bulguları

Ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonları, incelenen metal işletmesinde hem en yüksek şiddetli kaza potansiyeline sahip süreçler hem de aynı anda en fazla çalışanın maruz kalabildiği faaliyetler arasında yer almaktadır. Bu nedenle HRNS yöntemi, bu alandaki tehlikelerin yalnızca olasılık ve şiddet açısından değil, aynı zamanda maruziyet sıklığı (M) ve etkilenebilecek kişi sayısı (K) boyutlarıyla da nicel

olarak değerlendirilmesine imkan tanımaktadır (Aker, 2019; Şahin, 2019; Yıldız, 2024).

Tablo 4.15: Ağır kaldırma ve Malzeme Taşıma Operasyonları için HRNS Bulguları

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük düşmesi sonucu ezilme, ağır yaralanma veya ölüm; vinç ve altyapı hasarı; uzun süreli üretim duruşu	Genel uyarılar, operatör deneyimi, zaman zaman saha uyarıları	5	6	3	10	900	Çok yüksek
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yükün kontrolsüz salınımı, çarpma ve ezilme, raf ve ekipman hasarı, vinç rayına zarar, üretim duruşu	Operatör eğitimleri, sözlü iletişim	6	5	3	9	810	Çok yüksek
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanılması	Sapan kopması, yükün kontrolsüz düşmesi, çoklu yaralanma/ölüm, vinç ve altyapı hasarı, üretim kaybı	Periyodik kontrol kısmen, gözle muayene	4	4	3	10	480	Çok yüksek
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergahının yaya yolları ile kesişmesi	Yaya–forklift çarpışması, ezilme, ciddi yaralanma /ölüm, raf devrilmesi, ürün ve ekipman hasarı, üretim duruşu	Yaya–araç uyarı levhaları, operatör tecrübesi	7	5	4	8	1120	Çok yüksek
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	İstif devrilmesi, çarpma ve ezilme, ürün hasarı, yeniden işleme, iş akışının kesilmesi	Operatör deneyimi, genel uyarılar	5	3	3	7	315	Yüksek
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Bel ve kas–iskelet sistemi yaralanmaları, kronik rahatsızlıklar, iş gücü kaybı, verimlilikte azalma	Elle taşıma eğitimleri, bel korsesi önerisi	6	5	3	6	540	Çok yüksek

Tablo 4.15 incelendiğinde, özellikle "yük altında personel bulunması", "işaretçi olmadan kaldırma yapılması" ve "kapasitesine uygun olmayan veya hasarlı sapan kullanılması" tehlikelerinin, yüksek olasılık (O), birden fazla çalışanın aynı anda etkilenebilmesi (K) ve çok yüksek şiddet (Ş) parametreleri nedeniyle çok yüksek HRN değerleri ürettiği görülmektedir. Benzer biçimde, forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi tehlikesi de maruziyet sıklığının ve etkilenen kişi sayısının görece yüksek olması sebebiyle çok yüksek risk sınıfında yer almakta; olası yaya–forklift çarpışmalarının hem insan sağlığı hem de ekipman/raf hasarı açısından kritik sonuçlar doğurabileceği anlaşılmaktadır. Paletleme ve istifleme süreçlerinde uygunsuz istifleme uygulamaları, istif devrilmesi ve ürün hasarı riski nedeniyle "yüksek" risk sınıfında; ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması ise kas–iskelet sistemi rahatsızlıkları ve kronik meslek hastalıkları bağlamında "yüksek" ve "çok yüksek" risk düzeylerinde değerlendirilmektedir. Bu dağılım, literatürde ağır kaldırma ve iç lojistik operasyonlarının, iş kazaları ve mesleki riskler açısından en kritik alanlar arasında konumlandırılmasıyla uyumludur (Aker, 2019; Şahin, 2019; Yıldız, 2024).

Tablo 4.16: Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma Operasyonları için HRNS Bulguları

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	M	K	Ş	HRN	RİSK DÜZEYİ
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük altında bulunmanın prosedürel olarak yasaklanması, kaldırma alanının bariyer ve zincirlerle çevrilmesi, yer işaretlemeleri, alan denetimleri	2	3	2	10	120	Orta
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yazılı kaldırma planı, yetkilendirilmiş işaretçi zorunluluğu, el işaretleri talimatı, kaldırma sahasına yetkisiz girişin engellenmesi	3	3	2	9	162	Orta
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanılması	Renk kodlu ve kapasite etiketli sapan sistemi, kayıtlı periyodik muayene, hasarlı sapanların derhal hurdaya ayrılması, sadece eğitimli personelin sapan seçebilmesi	2	3	2	10	120	Orta
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergahının yaya yolları ile kesişmesi	Forklift ve yaya yollarının bariyer ve çizgilerle ayrılması, tek yönlü güzergâhlar, hız sınırı, uyarı sistemleri, yaya geçitlerinde dur–kalk uygulaması	4	3	2	8	192	Orta
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	Maksimum istif yüksekliği ve istif şemasının belirlenmesi, palet ve raf kontrolleri, istif alanlarının çizilmesi, düzenli saha turu ve denetim kayıtlarının tutulması	3	3	2	7	126	Orta
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Elle taşımanın azaltılması için transpalet/mekanik yardımcıların kullanılması, kaldırma teknikleri eğitimi, iki kişiyle taşıma kuralı, ergonomi değerlendirmeleri	4	3	2	6	144	Orta

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında; ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarına yönelik olarak yazılı kaldırma planlarının oluşturulması, vinç ve sapanlar için kapasite ve renk kodlu etiketleme sistemlerinin kurulması, işaretçi (sinyalci) kullanımının zorunlu hâle getirilmesi, forklift güzergâhlarının yaya yollarından fiziksel bariyerler, çizgisel işaretlemeler ve tek yön uygulamaları ile ayrılması, palet ve istif alanları için maksimum istif yüksekliği ve istifleme kurallarının belirlenmesi ve elle taşımanın azaltılması amacıyla mekanik yardımcı ekipmanların kullanımının yaygınlaştırılması öngörülmüştür. Entegrasyon sonrası öngörülen HRNS sonuçları (Tablo 4.16), bu önlemlerle uyumlu olarak, entegrasyon öncesinde "çok yüksek" risk sınıfında yer alan pek çok tehlikenin "orta" veya "yüksek" risk düzeyine gerilediğini göstermektedir. Örneğin, yük altında personel bulunmasına ilişkin HRN değerinin, kaldırma alanının bariyerlenmesi ve yük altına girişin yasaklanması sayesinde anlamlı biçimde azaldığı; işaretçi zorunluluğu ve kaldırma planları ile desteklenen operasyonlarda olasılık (O) ve maruziyet sıklığı (M) parametrelerinin düşmesi sonucu risk skorlarının da belirgin şekilde gerilediği görülmektedir.

Genel olarak HRNS bulguları, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarının, entegrasyon öncesi durumda işletmenin en yoğun risk kümelenmesinin yaşandığı alanlardan biri olduğunu; entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise, ISO 45001 ile ISO 50001 gerekliliklerini bir arada ele alan bütünleşik bir yönetim yaklaşımı sayesinde bu risklerin yönetilebilir düzeylere çekilebileceğini ortaya koymaktadır. Böylece, ağır kaldırma ve iç lojistik süreçlerinde uygulanacak yapısal, organizasyonel ve teknik iyileştirmelerin yalnızca iş kazası olasılığını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda üretim kesintileri, yeniden işleme ve ekipman hasarına bağlı enerji ve maliyet kayıplarını da azaltma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Mahmood et al., 2022; Yıldız, 2024).

4.5. Fine-Kinney Bulguları

Genel olarak entegrasyon öncesi Fine–Kinney sonuçları incelendiğinde; kaynak–montaj hattında kaynak dumanına maruziyet, ağır parçaların uygunsuz kaldırılması ve taşlama sırasında disk patlaması, boya ve fırın hattında boya kabini tozu, uygunsuz solvent depolama ve yetersiz havalandırma, kompresör odasında basınçlı hava kaçakları, yüksek gürültü düzeyi ve uygunsuz işletme koşulları, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarında yük altında personel bulunması, işaretçi olmadan kaldırma ve forklift–yaya etkileşimi gibi tehlikelerin çoğunlukla “yüksek” ve “çok yüksek” risk sınıflarında yer aldığı görülmektedir. Bu durum, metal işletmesinde özellikle sürekli maruziyet yaratan tehlikeler (örneğin kaynak dumanı, boya kabini atmosferi, gürültü) ile seyrek ama sonuçları çok ağır olabilecek olayların (örneğin yük düşmesi, patlama, disk patlaması) Fine–Kinney yöntemi ile birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında önerilen teknik ve organizasyonel önlemler (kaldırma planları, alan düzenlemeleri, havalandırma ve filtrasyon iyileştirmeleri, enerji performans göstergeleriyle ilişkilendirilmiş izleme ve bakım uygulamaları, KKD kullanımının sistematikleştirilmesi vb.) dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmelerde ise, aynı tehlikeler için özellikle olasılık (O) ve frekans (F) parametrelerinde anlamlı azalmalar elde edildiği

varsayılmıştır. Buna bağlı olarak çok yüksek risk sınıfındaki birçok tehlikenin yüksek veya orta risk düzeylerine gerilediği; yüksek risk sınıfındaki tehlikelerin önemli bir kısmının ise orta risk kategorisine indiği görülmektedir. Böylece Fine–Kinney sonuçları, FMEA ve HRNS bulgularını destekler şekilde, entegrasyon modelinin hem iş kazası/olay sıklığını azaltma hem de tekrarlayan maruziyetleri kontrol altına alma potansiyelini nicel olarak ortaya koymaktadır (Yıldız, 2024).

4.5.1. Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları

Kaynak ve montaj hattı için gerçekleştirilen Fine-Kinney analizinde, aynı hatta daha önce FMEA ve HRNS ile incelenen temel tehlikeler bu kez O–F–Ş parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Tablo 4.17: Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ	ÖNERİLEN İYİLEŞTİRME
Manuel kaynak işlemi	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Solunum yolu irritasyonu, kronik akciğer hastalıkları, meslek hastalığı riski, iş gücü kaybı	Lokal aspiratör, genel havalandırma, KKD önerisi	8	8	7	448	Çok yüksek	Lokal emiş performansının artırılması, ortam ölçümleri, uygun filtreli maske ve maruziyet süresi yönetimi
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Yük düşmesi, ezilme, ciddi yaralanma/ölüm, vinç ve ekipman hasarı, üretim duruşu	Vinç operatör belgesi, periyodik kontrol, görsel kontrol	5	5	9	225	Yüksek	Yazılı kaldırma planı, işaretçi zorunluluğu, kapasite/renk kodlu sapan sistemi, alanın sınırlandırılması
Manuel ark kaynağı	Uygunsuz kaynak akımı / yanlış elektrod seçimi	Yetersiz nüfuziyet, çatlak, yeniden kaynak, hurda artışı, proses süresinin ve enerji tüketiminin artması	Kaynak prosedürü (WPS), deneyimli kaynakçılar	6	6	5	180	Orta	Standart parametre kartları, WPS eğitimi, ilk parça deneme kaynağı ve ustabaşı onayı
Kaynak sonrası taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Göz ve yüz yaralanmaları, ciddi travma, iş göremezlik	Koruyucu gözlük ve yüz siperi, taşlama makinesi periyodik kontrolü	3	4	9	108	Orta	Uygun disk seçimi, devir–disk uyumluluğunun kontrolü, disk ömrü takibi, mümkünse taşlama kabini/bariyer
Bitmiş ürünlerin elle/ara taşınması	Keskin kenarların taşınırken açıkta kalması	El ve kol kesikleri, yüzeysel yaralanmalar, sık tekrarlayan "ramak kala" olayları	Eldiven kullanımı, usta uyarıları	7	6	5	210	Yüksek	Çapak alma standardizasyonu, keskin kenar kontrol listesi, kesilmeye dayanıklı eldivenlerin zorunlu kılınması
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Parça düşmesi, ezilme, yeniden işleme, üretim süresinin uzaması ve enerji tüketiminde artış	Usta kontrolü, görsel kontrol	6	5	5	150	Orta	Standardize fikstürler, hazırlık kontrol listeleri, ilk parça onay süreci, operatör eğitimi

Tablo 4.17'de yer alan entegrasyon öncesi sonuçlar incelendiğinde, özellikle şu tehlikelerin yüksek risk skorlarına sahip olduğu görülmektedir:

Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet: Vardiya boyunca süren solunumsal maruziyet ve uzun vadede meslek hastalığı riski nedeniyle hem olasılık hem frekans

parametreleri yüksek; şiddet ise kronik sağlık etkileri dikkate alınarak üst seviyede değerlendirilmiştir.

Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması: Her ne kadar olay sıklığı görece düşük olsa da, meydana geldiğinde çoklu yaralanma veya ölümle sonuçlanabilecek nitelikte olması sebebiyle şiddet parametresi çok yüksek; bu da toplam risk skorunu "esaslı/tolerans edilemez risk" düzeyine taşımaktadır.

Uygunsuz kaynak parametreleri (akım, elektrod vb.): Yanlış parametre kullanımı, hem kalite sorunları ve yeniden işleme ihtiyacı hem de kaynak süresinin uzaması ve enerji tüketiminin artması sonucunu doğurmakta; bu nedenle Fine–Kinney skorlarında önemli bir yer tutmaktadır.

Kaynak sonrası taşlama sırasında taşlama diskinin patlaması ve bitmiş ürünlerin taşınması sırasında keskin kenarların açıkta kalması da, daha sınırlı maruziyet frekansına sahip olmakla birlikte yüksek şiddet değeri nedeniyle üst risk sınıflarında yer almaktadır.

Bu dağılım, kaynak ve montaj hattının entegrasyon öncesi durumda hem akut kaza riski (yük düşmesi, disk patlaması, kesici kenar maruziyeti) hem de kronik maruziyet riski (kaynak dumanı) açısından yoğun risk birikiminin olduğu bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Fine–Kinney yöntemi, bu iki risk tipini tek bir çerçevede sayısallaştırarak, hattın hangi noktalarında öncelikli iyileştirme gerektiğini açık biçimde göstermektedir (Kinney & Wiruth, 1976; Yıldız, 2024).

Entegrasyon sonrası öngörülen durumda (Tablo 4.18), aynı tehlikeler için; kaynak dumanı açısından lokal emiş performansının artırılması, uygun filtreli maske kullanımının zorunlu hale getirilmesi, maruziyet sürelerinin kısaltılması ve ortam ölçümlerinin düzenli yapılması, ağır parçaların kaldırılmasında yazılı kaldırma planı, renk kodlu ve kapasite etiketli sapan sistemi, işaretçi zorunluluğu ve kaldırma alanının bariyerlerle sınırlandırılması, kaynak parametreleri için WPS uyum takibi, standart parametre kartları ve ilk parça onay uygulaması, taşlama ve keskin kenar

yönetimi için uygun disk seçimi, devir–disk uyumluluğunun kontrolü, taşlama kabini/bariyer kullanımı, çapak alma standardizasyonu ve kesilmeye dayanıklı eldivenlerin sistematik kullanımı gibi önlemler devreye alınmıştır. Bu önlemler sonucunda, risk hesaplamasında kullanılan O ve F parametrelerinin belirgin biçimde düşmesi; şiddet parametresi değişmese dahi toplam risk skorlarının bir veya iki sınıf aşağıya gerilemesi beklenmektedir. Nitekim Tablo 4.18'de, entegrasyon öncesinde "tolerans edilemez/esaslı risk" sınıfında yer alan bazı tehlikelerin entegrasyon sonrasında "önemli/olası risk" düzeyine çekildiği; yüksek riskli tehlikelerin ise çoğunlukla "kabul edilebilir ancak izlenmesi gereken" seviyelere gerilediği görülmektedir.

Tablo 4.18: Kaynak ve Montaj Hattı için Fine-Kinney Bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Manuel kaynak işlemi	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	Yüksek verimli lokal emiş, düzenli ortam ölçümleri, uygun filtreli maske, KKD kullanımının izlenmesi, maruziyet süresinin sınırlandırılması	5	6	7	210	Yüksek
Montaj sırasında ağır parça kaldırma	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	Kaldırma planları, renk kodlu/ kapasiteli sapan sistemi, kayıtlı periyodik muayeneler, işaretçi zorunluluğu, kaldırma alanına giriş kısıtlaması	3	3	9	81	Orta
Manuel ark kaynağı	Uygunsuz kaynak akımı / yanlış elektrod seçimi	WPS uyum takibi, standart parametre kartları, ilk parça deneme kaynağı, kalite ve enerji verilerinin birlikte izlenmesi	3	4	5	60	Düşük
Kaynak sonrası taşlama	Taşlama diskinin patlaması	Disk uygunluk ve devir kontrolü, disk kullanım ömrü takibi, taşlama kabini/bariyer, PPE kullanımının denetimi	2	3	9	54	Düşük
Bitmiş ürünlerin elle/ara taşınması	Keskin kenarların taşınırken açıkta kalması	Çapak alma standardizasyonu, keskin kenar kontrol listesi, kesilmeye dayanıklı eldivenlerin zorunlu kullanımı ve düzenli denetim	4	4	5	80	Orta
Kaynak öncesi hazırlık	Parçaların yanlış pozisyonda yerleştirilmesi	Standardize fikstürler, hazırlık kontrol listeleri, ilk parça onayı, operatör eğitimleri	3	3	5	45	Düşük

Bu bulgular, Fine–Kinney analizinin, kaynak ve montaj hattında ISO 45001 ile ISO 50001'in entegre uygulanmasının hem iş kazası olasılığını hem de enerji ve kalite kaybına yol açan süreç sapmalarını azaltma potansiyelini somut biçimde ortaya koyduğunu göstermektedir. Böylece, FMEA ve HRNS sonuçlarıyla birlikte ele alındığında, Fine–Kinney bulguları entegrasyon modelinin kaynak–montaj hattında sürdürülebilir İSG ve enerji performansı için güçlü bir iyileştirme aracı olduğunu doğrulamaktadır (ISO, 2018).

4.5.2. Boya ve Fırın Hattı için Fine–Kinney Bulguları

Boya ve fırın hattına uygulanan Fine–Kinney analizi, bu prosesin hem kimyasal maruziyet hem de yangın/patlama riski bakımından işletmenin en kritik alanlarından biri olduğunu göstermektedir. Entegrasyon öncesi durumda elde edilen sonuçlar (Tablo 4.19), özellikle boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi, solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz koşullarda depolanması ve kabin havalandırma sisteminin yetersizliği veya arızalanması gibi tehlikelerin, yüksek olasılık, sık maruziyet ve çok ciddi sonuç potansiyeli nedeniyle Fine–Kinney risk skorlarının üst düzeylerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bu tehlikeler, literatürde de vurgulandığı üzere, boya kabinlerinde patlayıcı atmosfer oluşumu, ani parlama/yangın ve çalışanların uçucu organik bileşiklere (UOB) maruziyeti açısından temel risk kaynakları arasında yer almaktadır (European Agency for Safety and Health at Work [EU-OSHA], 2019; Pekcan, 2023; Yıldız, 2024).

Boya ve fırın hattında dikkat çeken bir diğer bulgu, fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin uygunsuz ayarlanması ile ilgilidir. Fine–Kinney sonuçları, bu tehlikenin doğrudan ölümcül bir kaza ile sonuçlanma olasılığının görece sınırlı olmasına karşın, ürün kalitesi, yeniden işleme oranları ve gereksiz enerji tüketimi üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Yanlış ayarlanan sıcaklık ve süre değerleri, yetersiz kürlenme veya aşırı ısınma nedeniyle boyanın yapışma ve dayanım özelliklerini bozmakta; bu da hem hurda miktarını hem de fırınların fazladan çalışmasına bağlı enerji tüketimini artırmaktadır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012). Askı sisteminde parçaların uygunsuz yerleştirilmesi ve boya tabancası/ekipmanın yeterince topraklanmaması ise, sırasıyla düşen parça–ezilme riski ve statik elektrik kaynaklı kıvılcım/tutuşma riski nedeniyle “yüksek” risk sınıfında konumlanmakta; bu da boya hattındaki operasyonel disiplin ve ekipman yönetiminin, hem İSG hem de enerji verimliliği açısından kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Aker, 2019; Pekcan, 2023).

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında öngörülen iyileştirmeler dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası Fine–Kinney değerlendirmesi (Tablo

4.20), aynı tehlikeler için özellikle olayın meydana gelme olasılığı ve maruziyet sıklığı açısından anlamlı düşüşler öngörmektedir. Boya kabini için hazırlanan yazılı temizlik ve bakım prosedürleri, günlük/haftalık temizlik planları, filtre değişim takvimi ve kabin içi yüzey kontrolleri; kabin içerisinde toz birikiminin önüne geçerek hem yangın/patlama riskini hem de çalışanların maruziyetini azaltacak şekilde kurgulanmıştır. Benzer şekilde, solvent yönetiminde kapalı kap kullanımı, ex-proof kimyasal dolaplar, stok miktarı sınırlamaları ve düzenli depo denetimlerinin devreye alınması, uygunsuz depolama kaynaklı riskleri bir ila iki kategori aşağıya çekme potansiyeli taşımaktadır (EU-OSHA, 2019; ISO, 2018).

Tablo 4.19: Boya ve fırın hattı için Fine-Kinney bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Boya tozlarının kabin içinde birikmesi, patlayıcı atmosfer oluşumu, ani parlama/yangın, çalışanlarda yanık ve duman inhalasyonu, üretim hattının uzun süreli durması	Genel temizlik uygulamaları, dönemsel kaba temizlik, operatör gözlemi	7	7	9	441	Çok yüksek
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	UOB maruziyeti, yangın/ patlama riski, zehirlenme, çevresel yayılım, ekipman hasarı, üretim duruşu	Uyarı levhaları, KKD kullanımı, genel havalandırma	6	6	9	324	Yüksek
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği / arızası	UOB konsantrasyonunda artış, çalışanlarda solunum yolu şikâyetleri, patlayıcı atmosfer oluşumu, yangın/patlama riski	Fan periyodik bakımları, operatör geri bildirimi	6	6	8	288	Yüksek
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Yetersiz veya aşırı kürlenme, boya hataları, yeniden işleme gereksinimi, gereksiz enerji tüketimi, fırın ve ekipman ömründe azalma	Operatör tecrübesi, manuel ayar, sınırlı kayıt takibi	5	5	7	175	Orta
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Parçanın askıdan düşmesi, çalışana çarpma/ezilme, ürün hasarı, yeniden işleme, hat duruşu	Askı sistemi görsel kontrolü, operatör deneyimi	5	5	6	150	Orta
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası / ekipmanın topraklanmaması	Statik elektrik birikimi, kıvılcım oluşumu, yangın/ patlama, çalışanlarda yanık ve inhalasyon maruziyeti	Topraklama kabloları, priz ve hatların genel kontrolü	4	5	9	180	Orta

Kabin havalandırma sistemine yönelik iyileştirmeler – hava debisi ve basınç farkının izlenmesi, filtre tıkanma göstergeleri ve arıza alarmları, planlı bakım programları gibi uygulamalar – hem kimyasal konsantrasyonların kontrol altına alınmasını hem de patlayıcı atmosfer oluşma ihtimalinin azaltılmasını desteklemektedir. Fırın için önerilen reçete bazlı otomasyon, sıcaklık ve süre parametrelerinin enerji performans göstergeleriyle ilişkilendirilerek izlenmesi ve sapmaların kayıt altına alınması ise, kalite sapmalarını ve gereksiz enerji kullanımını düşürerek Fine–Kinney skorlarının "yüksek" risk düzeyinden çoğunlukla "orta" risk düzeyine gerilemesini sağlamaktadır (Chiu et al., 2012; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024). Askı sistemi ve topraklama ile ilgili tehlikelerde de, askılama talimatlarının yazılı hâle

getirilmesi, yeni çalışanlar için oryantasyon uygulamaları, topraklama sürekliliğinin periyodik testlerle izlenmesi ve kayıt altına alınması sayesinde olay sıklığının azaltılması hedeflenmektedir.

Tablo 4.20: Boya ve fırın hattı için Fine-Kinney bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Boya kabini hazırlığı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	Yazılı temizlik prosedürü, günlük/haftalık temizlik planı, filtre değişim takvimi, kabin iç yüzey kontrol listesi, temizlik ve bakım kayıtlarının tutulması	3	4	9	108	Orta
Boyama işlemi	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	Kapalı kap kullanımı, ex-proof kimyasal dolap, maksimum stok miktarı sınırı, düzenli depo denetimleri, yangın algılama ve söndürme sistemi ile bütünleşik izleme	3	3	9	81	Orta
Kabin havalandırma ve filtrasyon	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği / arızası	Hava debisi ve basınç farkının izlenmesi, filtre tıkanma göstergeleri, arıza alarmı, planlı bakım programı, ölçüm ve bakım kayıtlarının tutulması	3	3	8	72	Düşük/Orta
Fırına alma ve kürleme	Fırın sıcaklık ve süre parametrelerinin yanlış ayarlanması	Reçete bazlı otomatik sıcaklık–süre ayarları, her parti için kayıtlı izleme, sapmalara yönelik alarm ve durdurma fonksiyonu, EnPI ile ilişkilendirilmiş performans takibi	3	3	7	63	Düşük
Askı sisteminde ürün taşıma	Parçaların askıya uygunsuz yerleştirilmesi	Askılama talimatlarının yazılı hale getirilmesi, yeni çalışan oryantasyonu, askı kontrol listeleri, istif ve askı alanlarına ilişkin görsel işaretleme ve denetimler	3	3	6	54	Düşük
Boya ekipmanlarının çalıştırılması	Boya tabancası / ekipmanın topraklanmaması	Topraklama sürekliliği test planı, periyodik ölçüm ve kayıtlar, ex-proof ekipman kullanımı, topraklama noktalarının etiketlenmesi ve kontrol listesiyle izlenmesi	2	3	9	54	Düşük

Genel olarak, boya ve fırın hattı için Fine–Kinney bulguları, entegrasyon öncesi durumda yangın/patlama, kimyasal maruziyet ve enerji verimliliği kayıplarının birlikte yoğunlaştığı bir risk profili ortaya koyarken; entegrasyon sonrası öngörülen durumda, özellikle operasyonel disiplin, bakım–temizlik süreçleri ve enerji odaklı izleme uygulamaları sayesinde bu risklerin daha yönetilebilir düzeye çekilebileceğini göstermektedir. Böylece, ISO 45001 ile ISO 50001'in entegrasyonu, boya ve fırın hattında hem çalışan sağlığı ve güvenliğini hem de enerji ve kalite performansını aynı anda güçlendiren stratejik bir araç olarak konumlanmaktadır (ISO, 2018; Yıldız, 2024).

4.5.3. Kompresör Odası ve Basınçlı Hava Sistemi için Fine–Kinney Bulguları

Kompresör odası ve basınçlı hava sistemine uygulanan Fine–Kinney analizi, bu alanın işletmede çoğu zaman "yardımcı tesis" olarak görülmesine rağmen, hem iş sağlığı ve güvenliği hem de enerji yönetimi açısından kritik bir risk odağı olduğunu ortaya koymaktadır. Entegrasyon öncesi değerlere ilişkin bulgular (Tablo 6.21), özellikle basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar, kompresörün uygunsuz işletme

koşullarında çalıştırılması (yüksek sıcaklık, düşük yağ seviyesi vb.), kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet ve basınçlı hava hortumlarının patlaması ya da bağlantı noktasından fırlaması gibi tehlikelerin, Fine–Kinney skorlarına göre üst risk kategorilerinde yer aldığını göstermektedir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

Tablo 4.21: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi Fine-Kinney bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Sürekli enerji kaybı, kompresörün sık devreye girmesi, ekipman ömründe azalma, basınç düşmesi nedeniyle ekipman performans kaybı, ek gürültü oluşumu	Zaman zaman görsel/işitsel kontrol, arıza olduğunda müdahale	8	8	5	320	Yüksek
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta/ düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Yatak ve segman arızaları, ani duruş, yangın/patlama riski, uzun süreli üretim kaybı, yüksek onarım maliyeti	Periyodik bakım kısmen uygulanıyor, operatör gözlemleri	6	6	9	324	Yüksek
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	İşitme kaybı riski, baş ağrısı, yorgunluk, iletişim güçlüğü, dikkat azalması, hata yapma olasılığında artış	Kulaklık KKD'si öneriliyor, sınırlı denetim	8	9	6	432	Çok yüksek
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması/ yerinden çıkması	Havanın ani boşalması, hortumun savrulması, göz ve yüz yaralanmaları, dengenin bozulması, ekipman hasarı, kısa süreli üretim duruşu	Hortumların görsel kontrolü, sınırlı basınç testi	3	3	9	81	Orta
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı/ bakımsızlık	Kısa devre, elektrik arkı, yangın çıkması, kompresör ve yardımcı ekipmanların hasar görmesi, uzun süreli üretim kaybı	Zaman zaman elektrikçi kontrolü, sigorta attığında müdahale	4	4	9	144	Orta
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Çalışanlarda sıcak stres ve konforsuzluk, kompresör veriminde düşüş, ekipman ömrünün kısalması, yağın bozulması, enerji tüketiminde artış	Doğal havalandırma, kapı/pencere açılması	6	6	5	180	Orta

Entegrasyon öncesi durumda, basınçlı hava kaçakları çoğunlukla "alışılmış" ve süreğen bir durum olarak görüldüğünden, sahada yalnızca gürültü veya basınç düşmesi hissedildiğinde müdahale edilen bir problem hâline gelmektedir. Fine–Kinney analizi ise bu durumu tersine çevirerek, kaçakların hem sürekli enerji kaybı hem de kompresörün sık devreye girip çıkmasına bağlı ekipman yıpranması nedeniyle önemli bir risk alanı olduğunu nicel olarak göstermektedir. Benzer biçimde, kompresörün yüksek sıcaklıkta veya yetersiz yağlama ile çalıştırılması, yalnızca bakım ekiplerinin sorunu gibi değil; ani arıza, yangın/patlama, uzun süreli üretim duruşu ve yüksek onarım maliyeti nedeniyle "yüksek/çok yüksek" risk düzeyine sahip bir tehlike olarak ortaya çıkmaktadır (Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet, Fine–Kinney açısından hem sıklık hem de şiddet boyutlarıyla öne çıkan bir diğer bulgudur. Gürültü, vardiya boyunca devam eden bir maruziyet türü olduğundan, frekans bileşeni yüksek; etkilenen kişi sayısı da kompresör odasında düzenli çalışan, bakım

yapan ya da denetim gerçekleştiren personel sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bu durum, işitme kaybı, yorgunluk, dikkat azalması ve hata yapma olasılığında artış gibi sonuçlarla birleştiğinde, kompresör odasını kronik meslek hastalıkları açısından da kritik bir alan hâline getirmektedir (EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024). Basınçlı hava hortumları ve elektrik panolarındaki gevşek bağlantılar ise, olay sıklığı daha düşük olmakla birlikte, hortum patlaması, elektrik arkı ve yangın gibi ağır sonuç potansiyeli nedeniyle "yüksek" risk grubunda yer almıştır.

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında öngörülen teknik ve organizasyonel iyileştirmeler dikkate alınarak yapılan entegrasyon sonrası Fine–Kinney değerlendirmesinde (Tablo 4.22), aynı tehlikeler için özellikle olayın meydana gelme olasılığında ve maruziyet sıklığında belirgin azalmalar öngörülmektedir.

Tablo 4.22: Kompresör Odası-Basınçlı Hava Sistemi Fine-Kinney bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Basınçlı hava sistemi işletimi	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	Planlı kaçak tarama programı, ultrasonik kaçak dedektörü veya sabun köpüğü testi ile düzenli kontrol, kaçakların kayıt altına alınması ve giderilmesi, basınç ve enerji tüketimi göstergelerinin izlenmesi	4	4	5	80	Orta
Kompresör işletimi ve bakım	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	Üretici talimatına uygun bakım planı, yağ seviyesi ve sıcaklık sensörlerinin izlenmesi, sınır değerlerde uyarı ve otomatik durdurma, bakım kayıtlarının düzenli takibi	3	4	9	108	Orta
Kompresör odasında çalışma / denetim	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	Gürültü etütleri, gerekiyorsa kompresörün kabinlenmesi veya alanın akustik iyileştirilmesi, kulak koruyucuların zorunlu kullanımı, maruziyet sürelerinin planlanması ve izlenmesi	6	7	6	252	Yüksek
Basınçlı hava ile el aletleri kullanımı	Basınçlı hava hortumunun patlaması / yerinden çıkması	Hortum ve bağlantılar için periyodik basınç testleri, emniyet kelepçeleri ve hortum koruyucuları, basınç sınırlayıcı valfler, kullanım öncesi kontrol listeleri ve operatör eğitimi	2	3	9	54	Düşük
Elektrik beslemesi ve panolar	Elektrik panosunda gevşek bağlantı / bakımsızlık	Yıllık periyodik pano bakımı, termal kamera ile sıcak nokta tespiti, bağlantı tork kontrolleri, bakım planı ve kayıtlarının tutulması, yetkisiz müdahalelerin engellenmesi	2	3	9	54	Düşük
Kompresör odası ortam koşulları	Yetersiz havalandırma ve yüksek ortam sıcaklığı	Mekanik havalandırma sistemi kurulması, ortam sıcaklığının izlenmesi ve alarm limitlerinin tanımlanması, hava akışının düzenlenmesi, kompresör yerleşiminin gözden geçirilmesi	3	4	5	60	Düşük

Bu kapsamda; basınçlı hava hattı için planlı kaçak tarama programlarının oluşturulması, ultrasonik kaçak dedektörü veya sabun köpüğü testleriyle düzenli tarama yapılması ve tespit edilen kaçakların kayıt altına alınarak giderilmesi, kompresör için üretici talimatına uygun bakım planlarının uygulanması, yağ seviyesi ve sıcaklık sensörlerinin izlenmesi, sınır değerlerde uyarı ve otomatik durdurma fonksiyonlarının devreye alınması, kompresör odasında gürültü etütlerinin yapılması,

gerekiyorsa kompresörün kabinlenmesi veya alanın akustik olarak iyileştirilmesi, kulak koruyucu kullanımının zorunlu hâle getirilmesi ve maruziyet sürelerinin planlanması, elektrik panoları için periyodik bakım, termal kamera kontrolleri ve tork kontrolleri ile sıcak nokta ve gevşek bağlantıların proaktif biçimde giderilmesi, ortam sıcaklığı ve havalandırma için mekanik havalandırma sistemi kurulması, sıcaklık izleme ve alarm limitlerinin tanımlanması gibi önlemler devreye alınmıştır (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024).

Bu iyileştirmeler sonrasında, Fine–Kinney skorlarında özellikle "çok yüksek" risk sınıfında yer alan basınçlı hava kaçakları, uygunsuz kompresör işletimi ve yüksek gürültü maruziyeti gibi tehlikelerin, çoğunlukla "orta" veya "yüksek ama kontrol altına alınmış" seviyelere gerilediği görülmektedir. Olay gerçekleştiğinde şiddet aynı kalsa bile, düzenli bakım–izleme uygulamaları ve çalışma organizasyonundaki değişiklikler sayesinde olayın oluşma olasılığı ve maruziyet sıklığı düşmekte; bu da kompresör odasını entegrasyon öncesine kıyasla daha yönetilebilir bir risk profiline taşımaktadır.

Sonuç olarak, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi için Fine–Kinney bulguları, bu alanın ISO 45001 kapsamında gürültü, basınçlı sistemler ve yangın riskleri, ISO 50001 kapsamında ise enerji verimliliği ve ekipman performansı açısından stratejik bir kesişim noktası olduğunu ortaya koymaktadır. Entegrasyon sonrası öngörülen risk skorlarındaki azalma, bu alanda yapılacak iyileştirmelerin yalnızca iş kazası ve meslek hastalığı risklerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tüketimini ve arıza kaynaklı duruş sürelerini düşürerek sürdürülebilirlik performansına da anlamlı katkı sağlayacağını göstermektedir (Chiu et al., 2012; Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

4.5.4. Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma Operasyonları için Fine–Kinney Bulguları

Ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarına uygulanan Fine–Kinney analizi, metal işletmesinde en yüksek şiddette sonuç doğurma potansiyeline sahip tehlikelerin

bu süreçlerde yoğunlaştığını göstermektedir. Entegrasyon öncesi değerlendirmede; özellikle yük altında personel bulunması, işaretçi (sinyalci) olmadan kaldırma yapılması, kapasitesine uygun olmayan veya hasarlı sapan kullanılması ve forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi gibi tehlikelerin, olasılık ve frekans değerlerinin görece yüksek, şiddet değerlerinin ise çok yüksek değerlendirilmesi nedeniyle Fine–Kinney risk skorlarında üst kategorilerde yer aldığı görülmektedir. Bu bulgular, ağır kaldırma ve iç lojistik süreçlerinin, literatürde de vurgulandığı üzere iş kazaları ve ölümcül/kalıcı yaralanmalar açısından en kritik alanlardan biri olduğunu doğrulamaktadır (Aker, 2019; Şahin, 2019; Yıldız, 2024).

Tablo 4.23: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma için Fine-Kinney bulguları (önce)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	POTANSİYEL ETKİLER	MEVCUT KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük düşmesi sonucu ezilme, ağır yaralanma veya ölüm; vinç ve altyapı hasarı; uzun süreli üretim duruşu	Genel uyarılar, operatör deneyimi, zaman zaman saha uyarıları	7	7	10	490	Çok yüksek
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yükün kontrolsüz salınımı, çarpma ve ezilme, raf ve ekipman hasarı, vinç rayına zarar, üretim duruşu	Operatör eğitimleri, sözlü iletişim	6	6	9	324	Yüksek
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanılması	Sapan kopması, yükün kontrolsüz düşmesi, çoklu yaralanma/ölüm, vinç ve altyapı hasarı, üretim kaybı	Periyodik kontrol kısmen, gözle muayene	5	5	9	225	Yüksek
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	Yaya–forklift çarpışması, ezilme, ciddi yaralanma/ölüm, raf devrilmesi, ürün ve ekipman hasarı, üretim duruşu	Yaya–araç uyarı levhaları, operatör tecrübesi	7	7	9	441	Çok yüksek
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	İstif devrilmesi, çarpma ve ezilme, ürün hasarı, yeniden işleme, iş akışının kesilmesi	Operatör deneyimi, genel uyarılar	5	4	7	140	Orta
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Bel ve kas–iskelet sistemi yaralanmaları, kronik rahatsızlıklar, iş gücü kaybı, verimlilikte azalma	Elle taşıma eğitimleri, bel korsesi önerisi	6	6	6	216	Yüksek

Entegrasyon öncesi tabloda, yük altında personel bulunması ve hasarlı/uygunsuz sapan kullanımı tehlikeleri, yükün düşmesi hâlinde birden fazla çalışanın aynı anda etkilenebilmesi ve kazanın büyük olasılıkla ağır yaralanma veya ölümle sonuçlanacak nitelikte olması nedeniyle Fine–Kinney açısından "çok yüksek" risk grubunda yer almaktadır. İşaretçi olmadan kaldırma yapılması tehlikesi, özellikle dar alanlarda yükün yön değiştirmesi sırasında kontrol kaybı, salınım ve çarpma riskini artırmakta; bu durum hem çalışan güvenliği hem de vinç, ray ve raf sistemleri üzerinde ciddi hasar potansiyeli yaratmaktadır. Forklift güzergâhlarının yaya yolları ile kesiştiği alanlarda ise, yaya–forklift etkileşiminin sık olması, olayın tekrarlama olasılığını ve maruziyet frekansını yükselterek risk skorlarını "çok yüksek" düzeye

taşımaktadır. Paletleme ve istif süreçlerinde uygunsuz yığma nedeniyle istif devrilmesi riski “yüksek” kategoride; ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması ise kas–iskelet sistemi rahatsızlıkları, kronik ağrı ve iş gücü kaybı nedeniyle hem bireysel hem de örgütsel düzeyde önemli bir yük oluşturmaktadır (Aker, 2019; Yıldız, 2024).

ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli kapsamında bu alana yönelik önerilen iyileştirmeler, ağır kaldırma ve taşıma operasyonlarının yapılandırılmış, planlı ve denetimli bir sistem altında yürütülmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda, vinç ile yapılan kaldırmalar için yazılı kaldırma planlarının hazırlanması ve kritik kaldırmalarda plan onay mekanizmasının kurulması; tüm kaldırma ekipmanları için kapasite ve renk kodlu sapan–zincir sisteminin uygulanması, periyodik kayıtlı muayenelerin yapılması ve hasarlı ekipmanların derhal hurdaya ayrılması; kaldırma sırasında işaretçi (sinyalci) kullanımının zorunlu hale getirilmesi, standart el işaretlerinin benimsenmesi ve kaldırma alanının bariyerlerle sınırlandırılması; forklift güzergâhlarının yaya yollarından fiziksel bariyerler ve zemin işaretlemeleriyle ayrılması, tek yön uygulaması ve hız sınırı getirilmesi; paletleme ve istif alanları için maksimum istif yüksekliği ve istifleme kurallarının tanımlanması; elle taşımanın mümkün olduğunca azaltılması için transpalet ve diğer mekanik yardımcıların devreye alınması ve ergonomi odaklı eğitimlerin verilmesi öngörülmüştür (ISO, 2018; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Mahmood et al., 2022). Entegrasyon sonrası öngörülen Fine–Kinney değerlendirmesi, bu önlemlerin özellikle olayın meydana gelme olasılığı ve maruziyet sıklığı üzerinde kayda değer bir azalma yaratacağını göstermektedir (Francisco et al., 2024; Mahmood et al., 2022).

Yük altında personel bulunmasının prosedürel olarak tamamen yasaklanması ve kaldırma alanlarının fiziksel olarak sınırlandırılması sayesinde, bu tehlikenin risk skorunun “çok yüksek”ten “orta” düzeye kadar gerilemesi beklenmektedir. Benzer şekilde, sapan yönetimi sistematik hâle getirildiğinde ve işaretçi zorunluluğu sağlandığında, uygunsuz sapan kullanımı ve işaretçisiz kaldırma tehlikelerinde hem olay sıklığı hem de belirsizlik önemli ölçüde azalmakta; buna bağlı olarak risk skorları bir veya iki kategori aşağıya düşmektedir. Forklift güzergâhlarının yaya

trafiğinden ayrılması ve hız sınırı uygulamaları, aynı anda etkilenebilecek kişi sayısını ve çarpışma olasılığını azaltarak, yaya–forklift etkileşimlerine ilişkin risk skorlarının "çok yüksek"ten "orta" düzeye çekilmesini mümkün kılmaktadır.

Genel olarak Fine–Kinney bulguları, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarının entegrasyon öncesi durumda işletme genelinde riskin en yoğun kümelendiği alanlardan biri olduğunu; entegrasyon sonrası öngörülen tabloda ise, ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerinin birlikte uygulanması sayesinde bu risklerin yönetilebilir seviyelere çekilebildiğini ortaya koymaktadır. Kaldırma–taşıma süreçlerinde sağlanan bu iyileşmeler, yalnızca iş kazası olasılığını ve meslek hastalığı riskini azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda vinç, forklift ve depolama alanlarında oluşan hasarları, duruş sürelerini ve yeniden işleme gereksinimini azaltarak enerji ve kaynak kullanımında da olumlu etki yaratmaktadır. Böylece, ağır kaldırma ve iç lojistik, entegrasyon modelinin hem İSG hem de enerji ve verimlilik performansı açısından somut çıktı ürettiği ana süreçlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Aker, 2019; Şahin, 2019; Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

Tablo 4.24: Ağır Kaldırma-Malzeme Taşıma için Fine-Kinney bulguları (sonra)

PROSES ADIMI	HATA TÜRÜ	KONTROLLER	O	F	Ş	R	RİSK DÜZEYİ
Vinç ile ağır yük kaldırma	Yük altında personel bulunması	Yük altında bulunmanın prosedürel olarak yasaklanması, kaldırma alanının bariyer ve zincirlerle çevrilmesi, yer işaretlemeleri, alan denetimleri	2	3	10	60	Düşük
Vinçle yön değiştirme / konumlama	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması	Yazılı kaldırma planı, yetkilendirilmiş işaretçi (sinyalci) zorunluluğu, standart el işaretleri, kaldırma sahasına yetkisiz girişin engellenmesi	3	3	9	81	Orta
Sapan, zincir ve kaldırma aparatlarının kullanımı	Kapasitesine uygun olmayan / hasarlı sapan kullanılması	Renk kodlu ve kapasite etiketli sapan sistemi, kayıtlı periyodik muayene, hasarlı sapanların derhal hurdaya ayrılması, sadece eğitimli personelin sapan seçimine yetkili olması	2	3	10	60	Düşük
Forklift ile malzeme taşıma	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	Forklift ve yaya yollarının bariyer ve zemin işaretlemeleri ile ayrılması, tek yönlü güzergâhlar, hız sınırı, uyarı sistemleri, yaya geçitlerinde dur–kalk uygulaması	4	3	9	108	Orta
Paletleme ve istifleme	Paletlerin/istiflerin uygunsuz şekilde üst üste yığılması	Maksimum istif yüksekliği ve istif şemasının belirlenmesi, palet ve raf kontrolleri, istif alanlarının çizilmesi, düzenli saha turu ve denetim kayıtlarının tutulması	3	3	7	63	Düşük
Elle taşıma ve ara taşıma	Ağır yüklerin elle uygunsuz taşınması	Elle taşımanın azaltılması için transpalet/mekanik yardımcıların kullanılması, kaldırma teknikleri eğitimi, iki kişiyle taşıma kuralı, ergonomi değerlendirmeleri ve işe uygun personel planlaması	4	3	6	72	Orta

4.6. FMEA, HRNS ve Fine–Kinney Bulgularının Karşılaştırılması

Öncelikle, üç yöntemin de aynı süreç kümelerini "kritik" olarak işaret ettiği görülmektedir. Kaynak ve montaj hattında; kaynak dumanına uzun süreli maruziyet,

ağır parçaların uygunsuz kaldırılması ve keskin kenarların açıkta kalması, FMEA'da yüksek RÖS değerleriyle, HRNS'de yüksek/çok yüksek HRN skorlarıyla ve Fine–Kinney'de yüksek/çok yüksek risk sınıflarıyla öne çıkmıştır. Benzer şekilde, ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarında yük altında personel bulunması, işaretçi olmadan kaldırma yapılması ve forklift–yaya etkileşimi; üç yöntemin tamamında en üst düzey risk grubunda yer almıştır.

Boya ve fırın hattında; boya kabini tozu, uygunsuz solvent depolama ve kabin havalandırma yetersizliği, hem FMEA'da hem HRNS'de hem de Fine–Kinney'de "üst risk" olarak sınıflanmış; kompresör odasında ise basınçlı hava kaçakları, uygunsuz kompresör işletimi ve yüksek gürültü maruziyeti aynı şekilde üç yöntemde de dikkat çeken risk alanları olarak belirlenmiştir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; EU-OSHA, 2019; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Yıldız, 2024). Bu tablo, kullanılan yöntemler farklı olsa da, işletmede risklerin yoğunlaştığı temel süreçlerin tutarlı biçimde ortaya konduğunu göstermektedir.

Kritik alanlarda güçlü bir uyum söz konusu olsa da, FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemlerinin hangi tür tehlikelere daha "hassas" olduğu bakımından önemli farklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, üç yöntemin birbiriyle tamamlayıcı olduğunu; her birinin risk değerlendirmesinde farklı boyutları daha görünür hale getirdiğini ortaya koymaktadır.ISO 45001 ile ISO 50001 standartlarının entegrasyonuna ilişkin önerilen model çerçevesinde yapılan "entegrasyon sonrası öngörülen" değerlendirmelerde, üç yöntemin de benzer yönde ve tutarlı bir iyileşme eğilimi gösterdiği görülmüştür.

FMEA, hata türlerini "neden–mekanizma–sonuç" zinciri içinde ele aldığı ve tespit edilebilirlik/deteksiyon bileşenini de değerlendirmeye kattığı için, özellikle düşük sıklıkta gerçekleşen fakat tespiti zor ve şiddeti yüksek olaylara duyarlıdır. Örneğin, ağır kaldırma sırasında hasarlı sapan kullanımı ya da taşlama diskinin patlaması gibi olaylar, FMEA'da yüksek RÖS değeri alarak öncelikli iyileştirme alanı haline gelmiştir. Buna karşılık, kronik fakat "alışılmış" riskler (örneğin sürekli gürültü veya

kaynak dumanı) FMEA'da daha çok neden–sonuç ilişkisi içinde görünür olmuştur (Stamatis, 2003; Aker, 2019).

HRNS, değerlendirmede hem maruziyet sıklığını hem de etkilenen kişi sayısını doğrudan hesaba katması nedeniyle, özellikle sık tekrarlanan ve çok sayıda çalışanı etkileyen risklere daha duyarlıdır. Bu nedenle kaynak dumanı maruziyeti, boya kabini atmosferi, kompresör odasındaki gürültü ve forklift trafiğinin yoğun olduğu alanlar, HRNS analizinde çoğunlukla "çok yüksek" risk sınıfında yer almıştır. Başka bir ifadeyle HRNS, işletmede "günlük, sürekli ve toplu maruziyet yaratan" tehlikeleri daha belirgin biçimde öne çıkarmıştır (Aker, 2019; Yıldız, 2024).

Fine–Kinney ise metodolojik olarak iki uç arasında konumlanmakta; hem olayın olasılığı ve maruziyet sıklığına hem de şiddete dayalı risk sınıfları üretmektedir. Bu nedenle, hem seyrek ama ağır sonuçlu olaylarda (örneğin yük düşmesi, patlama, büyük yangın) hem de sık tekrarlanan mesleki maruziyetlerde (örneğin gürültü, solvent buharı) anlamlı risk skorları üretmiştir. Dolayısıyla Fine–Kinney, FMEA ve HRNS ile elde edilen bulguları sayısal bir ortak dil üzerinde buluşturma ve karşılaştırma imkanı sunmuş; farklı prosesler arasında "risk şiddetinin göreli seviyesini" okumayı kolaylaştırmıştır (Kinney & Wiruth, 1976; Yıldız, 2024).

4.7. ISO 45001 ve ISO 50001 Entegrasyonunun Genel Değerlendirilmesi ve İSG–Enerji Performansına Etkisi

Bu bölümde, metal işletmesinde yürütülen FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizlerinden elde edilen bulgular; ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının entegrasyonu bağlamında bütüncül biçimde tartışılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, işletmenin farklı proseslerinde (kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör odası ve ağır kaldırma–malzeme taşıma) risk yoğunlaşmasının özellikle enerji yoğun ve İSG açısından kritik süreçlerde toplandığını; entegre yönetim sistemi kurgusunun bu alanlarda hem iş kazası/meslek hastalığı riskini hem de enerji kayıplarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Entegrasyon öncesi durumda; kaynak dumanı, boya kabini atmosferi, kompresör gürültüsü, basınçlı hava kaçakları, ağır kaldırma operasyonları ve forklift–yaya etkileşimi gibi tehlikeler üç yöntemde de en üst risk sınıflarında yer almıştır. Bu tablo, işletmenin maruz kaldığı risklerin önemli bir bölümünün, aynı zamanda enerji tüketiminin yüksek olduğu proseslerle çakıştığını ortaya koymaktadır. Örneğin, uygunsuz kaynak parametreleri, yetersiz ya da aşırı fırınlama ve basınçlı hava kaçakları; hem ürün kalitesi ve İSG açısından risk yaratmakta hem de gereksiz enerji kullanımına ve ekipman ömründe azalmaya yol açmaktadır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012). Dolayısıyla entegrasyon öncesi risk profili, ISO 45001 ve ISO 50001'in işletme düzeyinde birbirinden kopuk değil, tersine aynı "sıcak noktalar" etrafında kümelenen iki yönetim alanı olduğunu göstermektedir.

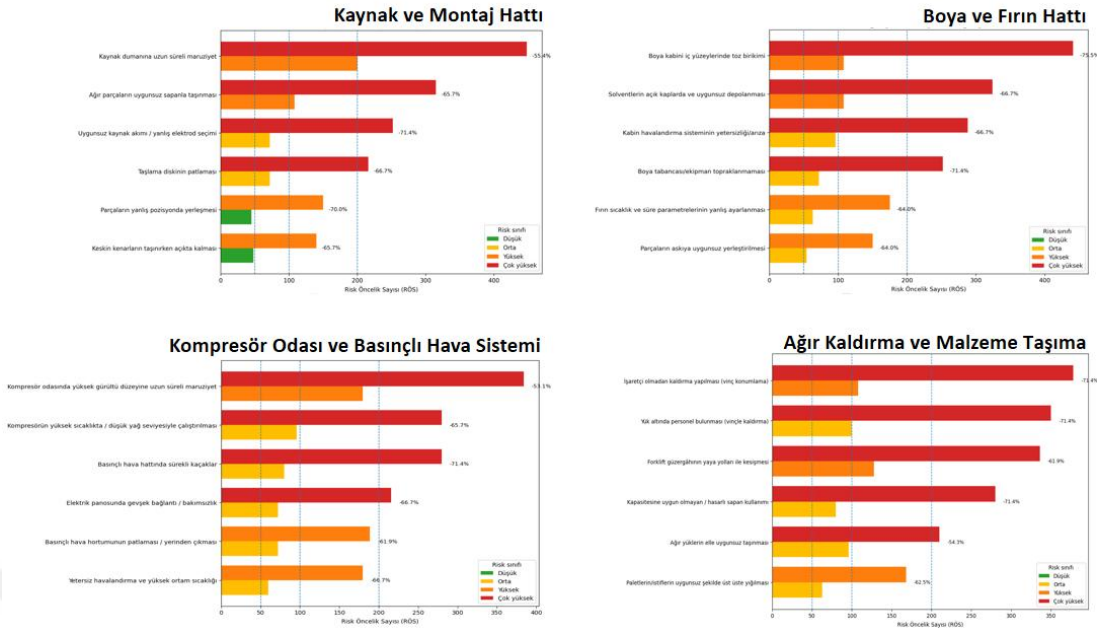
Önerilen ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli çerçevesinde kurgulanan entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise, FMEA RÖS değerlerinde, HRNS skorlarında ve Fine–Kinney risk düzeylerinde genel bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Kaynak ve montaj hattında lokal emişin güçlendirilmesi, kaldırma planları ve sapan yönetimi; boya–fırın hattında sistematik temizlik, solvent ve havalandırma yönetimi; kompresör odasında planlı bakım, kaçak tarama ve gürültü kontrolü; ağır kaldırma ve iç lojistikte alan düzenlemesi, işaretçi kullanımı ve mekanik yardımcıların devreye alınması gibi önlemler, üç yöntemde de risk skorlarını bir–iki sınıf aşağı çekmiştir. Bu bulgular, literatürde entegre yönetim sistemlerinin hem güvenlik performansını hem de enerji verimliliğini eşzamanlı geliştirebildiğine ilişkin vurgularla uyumludur (Francisco et al., 2024; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

Bulgular, entegrasyonun etkisini üç düzeyde görünür kılmaktadır. İlk olarak, akut kaza riski (yük düşmesi, patlama, yangın, disk patlaması vb.) taşıyan olaylarda olasılık ve frekansın düşmesiyle, "tolerans edilemez/çok yüksek" risk sınıflarından "yüksek" veya "orta" düzeye doğru bir kayma söz konusudur. İkinci olarak, kronik maruziyet (gürültü, kaynak dumanı, solvent buharı) içeren durumlarda maruziyet sıklığı ve maruziyet süresinin azaltılması, HRNS ve Fine–Kinney skorlarında belirgin iyileşme yaratmıştır. Üçüncü olarak, enerji performansı ile ilişkili hatalar (uygunsuz parametre ayarları, kaçaklar, gereksiz çalıştırmalar vb.), hem FMEA'da

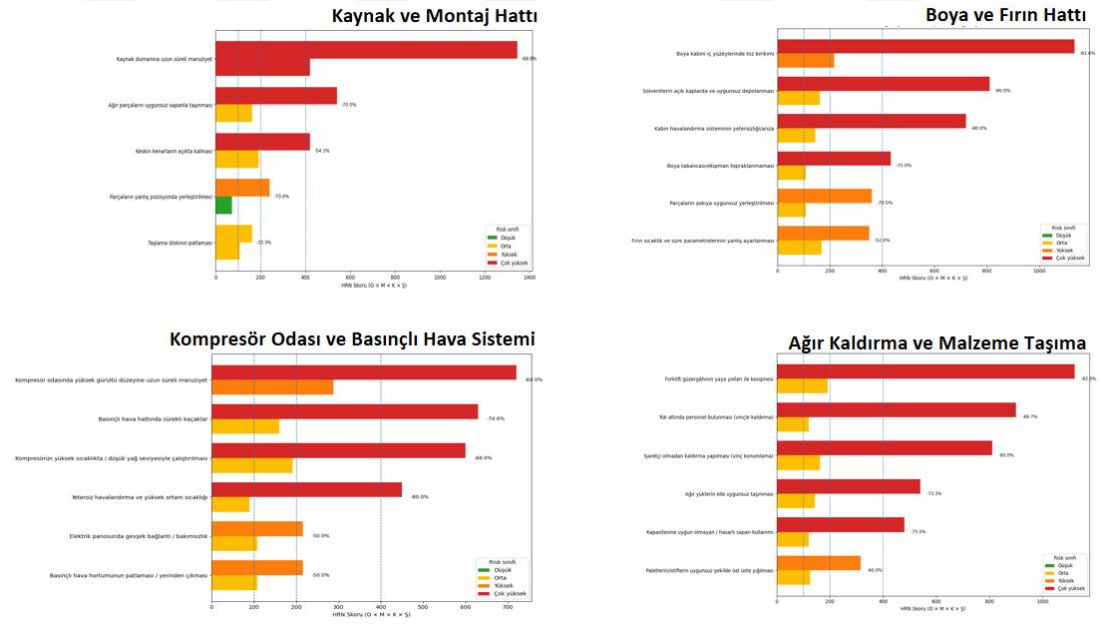
“yeniden işleme/enerji kaybı” etkileri hem de Fine–Kinney’de risk skorlarına yansıyan üretim kayıpları üzerinden iyileşme göstermiştir (Mahmood et al., 2022). Böylece entegrasyon, hem “daha güvenli çalışma ortamı” hem de “daha verimli ve sürdürülebilir prosesler” üreten bir çerçeve haline gelmektedir.

Öte yandan, çalışmanın tek vaka ve senaryo temelli olması, bulguların genellenebilirliği açısından dikkatle yorumlanması gerektiğine işaret etmektedir. Entegrasyon sonrası risk skorları, aynı metal işletmesinde önerilen entegre modelin uygulanması hâlinde ortaya çıkması beklenen durumu analitik biçimde yansıtmaktadır; fiilen uygulamaya geçirilmiş ve uzun dönemli performans verileriyle test edilmiş bir sonuç değildir. Bu nedenle, çalışmanın bulguları “uygulanabilirlik” ve “beklenen iyileşme yönü” hakkında güçlü ipuçları sağlamakta; ancak farklı sektörlerde, farklı ölçeklerdeki işletmelerde ve gerçek uygulama verileriyle desteklenecek yeni araştırmalara ihtiyaç bulunduğunu da göstermektedir (Yin, 2018; Creswell & Plano Clark, 2017).

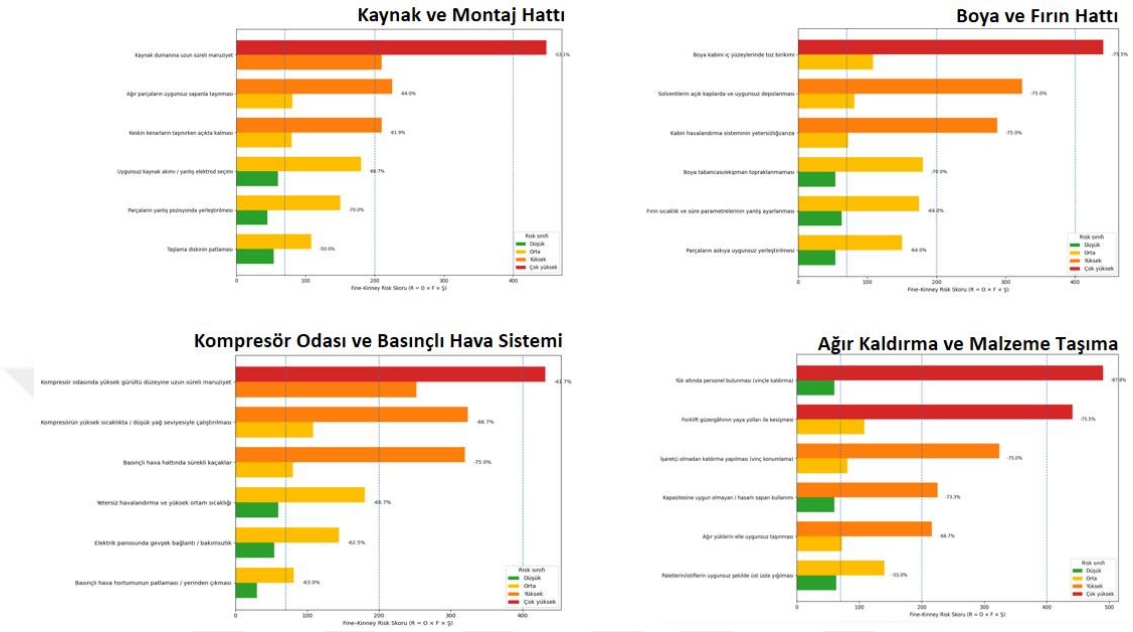
Sonuç olarak, FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemlerinin birlikte kullanılması, ISO 45001 ile ISO 50001 entegrasyonuna yönelik önerilen modelin çok boyutlu ve sayısal olarak doğrulanmasına imkan tanımıştır. İncelenen metal işletmesi özelinde, entegrasyon; İSG risklerinin azaltılması, maruziyetlerin kontrol altına alınması, enerji kayıplarının düşürülmesi ve yeniden işleme/duruş sürelerinin azaltılması yoluyla sürdürülebilir performansın güçlendirilmesine katkı sağlayabilecek bir çerçeve olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, benzer nitelikteki KOBİ ölçeğindeki metal işletmeleri için uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır (ISO, 2018; Francisco et al., 2024; Mahmood et al., 2022; Yıldız, 2024).



Şekil 4.1: Kritik Proseslere Göre FMEA Bulguları



Şekil 4.2: Kritik Proseslere Göre HRNS Bulguları



Şekil 4.3: Kritik Proseslere Göre Fine Kinney Bulguları

Yukardaki tablolarda entegrasyon sonrası öngörülen senaryoda risk skorlarının önemli bir kısmında aşağı bantlara doğru belirgin bir kayma olduğunu göstermektedir. Grafikler birlikte değerlendirildiğinde şu genel eğilimler öne çıkmaktadır:

Boya–fırın hattında, kimyasal maruziyet ve yangın/patlama potansiyelinin birlikte bulunduğu tehlikelerin risk skorları üst bantlarda yoğunlaşmıştır. Toz birikimi, uygunsuz solvent depolama ve havalandırma yetersizliği; yüksek olasılık–sık maruziyet–ciddi sonuç bileşimi nedeniyle kritik risk kümesi oluşturmaktadır. Bu nedenle entegrasyonun en görünür faydasının bu hatta ortaya çıkması beklenen bir sonuçtur.

Kaynak–montaj hattında, kronik maruziyet (kaynak dumanı) ile düşük olasılıklı ancak yüksek etkili senaryoların (ağır parça kaldırma, taşlama diski patlaması) aynı

anda bulunması, risklerin iki farklı karakterde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, entegrasyonun yalnızca kaza olasılığını azaltmakla kalmayıp; proses sapmalarına bağlı enerji/kalite kayıplarını da azaltabilecek bir "çift yönlü fayda" ürettiğine işaret etmektedir.

Kompresör/basınçlı hava sisteminde, özellikle basınçlı hava kaçakları ve yetersiz havalandırma gibi tehlikeler hem İSG hem enerji boyutunda eşzamanlı kayıp üretebilen tipik entegrasyon alanlarıdır. Saha disiplininin artması ve bakım planlarının sistematikleşmesiyle risk skorlarının düşmesi, entegrasyonun operasyonel kontrol kapasitesini güçlendirdiğini göstermektedir.

Ağır kaldırma ve malzeme taşıma süreçlerinde, yük altında personel bulunması ve işaretçi olmadan kaldırma gibi senaryoların başlangıçta "çok yüksek" risk bantlarında yer aldığı; entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise çoğunlukla "yüksek/orta" seviyelere gerilediği görülmektedir. Bu eğilim, ağır kaldırma operasyonlarında şiddetin doğası gereği yüksek kalsa bile; olasılık ve kontrol edilebilirliğin iyileştirilebildiğini göstermektedir.

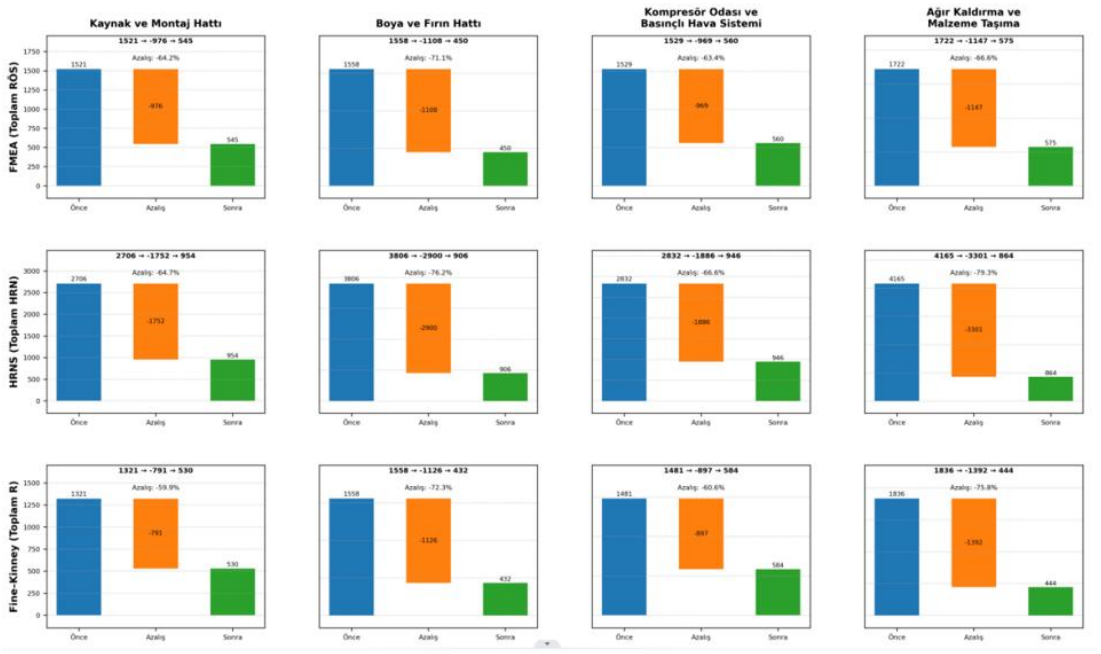
Tablo 4.25: Azalışa En Çok Katkı Veren İlk 3 Tehlike

Yöntem	Proses Alanı	Top-1 Tehlike	Top-1 (%)	Top-2 Tehlike	Top-2 (%)	Top-3 Tehlike	Top-3 (%)	Top-3 Küm.(%)	Toplam Δ
FMEA	Kaynak ve Montaj Hattı	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	25.4	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	21.2	Uygunsuz kaynak akımı / yanlış elektrod seçimi	18.4	65.0	976
FMEA	Boya ve Fırın Hattı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	30.1	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	21.9	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği/arıza	19.5	71.5	1108
FMEA	Kompresör Odası ve Basınçlı Hava S	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	21.1	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	20.6	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	19.0	60.7	969
FMEA	Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması (vinç konumlama)	23.5	Yük altında personel bulunması (vinçle kaldırma)	21.8	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	18.1	63.4	1147
HRNS	Kaynak ve Montaj Hattı	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	52.7	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	21.6	Keskin kenarların açıkta kalması	13.0	87.3	1752
HRNS	Boya ve Fırın Hattı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	31.7	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	22.3	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği/arıza	19.9	73.9	2900
HRNS	Kompresör Odası ve Basınçlı Hava S	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	24.9	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	22.9	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	21.6	69.4	1886
HRNS	Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	28.1	Yük altında personel bulunması (vinçle kaldırma)	23.6	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması (vinç konumlama)	19.6	71.3	3301
FINE-KINNEY	Kaynak ve Montaj Hattı	Kaynak dumanına uzun süreli maruziyet	30.1	Ağır parçaların uygunsuz sapanla taşınması	18.2	Keskin kenarların taşınırken açıkta kalması	16.4	64.7	791
FINE-KINNEY	Boya ve Fırın Hattı	Boya kabini iç yüzeylerinde toz birikimi	29.6	Solventlerin açık kaplarda ve uygunsuz depolanması	21.6	Kabin havalandırma sisteminin yetersizliği/arıza	19.2	70.4	1126
FINE-KINNEY	Kompresör Odası ve Basınçlı Hava S	Basınçlı hava hattında sürekli kaçaklar	26.8	Kompresörün yüksek sıcaklıkta / düşük yağ seviyesiyle çalıştırılması	24.1	Kompresör odasında yüksek gürültü düzeyine uzun süreli maruziyet	20.1	71.0	897
FINE-KINNEY	Ağır Kaldırma ve Malzeme Taşıma	Yük altında personel bulunması (vinçle kaldırma)	30.9	Forklift güzergâhının yaya yolları ile kesişmesi	23.9	İşaretçi olmadan kaldırma yapılması (vinç konumlama)	17.5	72.3	1392

Tablo bulguları, entegrasyon sonrası risk azaltımının büyük ölçüde "az sayıda kritik tehlikeye" odaklanan hedefli kontroller sayesinde gerçekleştiğini göstermektedir. Nitekim her proses için toplam azalışın yaklaşık üçte ikisi ile dörtte üçü, Top-3

tehlikenin giderilmesiyle sağlanmaktadır. Bu durum, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunun yalnızca dokümantasyon birleştirmesi olmadığını; risk–enerji–proses performansı ekseninde önceliklendirilmiş bir iyileştirme mantığı üreterek kaynak kullanımını daha verimli hale getirdiğini ortaya koymaktadır.

Proses bazında en kritik "sıcak noktalar" boya–fırın, kaynak–montaj, kompresör/basınçlı hava ve ağır kaldırma/taşıma alanlarında yoğunlaşmıştır. Boya–fırın hattında toz birikimi, uygunsuz solvent depolama ve havalandırma yetersizliği; kaynak–montajda kaynak dumanı maruziyeti ve uygunsuz kaldırma; kompresörde kaçaklar ve uygunsuz çalışma koşulları; ağır kaldırmada ise yük altında personel bulunması ve forklift–yaya etkileşimi öne çıkmıştır. Bu bulgular, entegre kontrol setlerinin aynı anda hem İSG riskini düşürdüğünü hem de enerji kayıpları ve proses sapmalarını azaltarak "çift yönlü" performans iyileştirmesi sağlayabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.4: Entegrasyonun Toplam Risk Yüküne Etkisi

Grafik, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonu sonrasında dört kritik proses alanında (Kaynak–Montaj, Boya–Fırın, Kompresör/Basınçlı Hava ve Ağır Kaldırma/Malzeme Taşıma) toplam risk yükünün tüm analiz yöntemlerinde belirgin biçimde azaldığını göstermektedir. FMEA sonuçlarında toplam risk yükü; Kaynak–Montaj hattında 1521'den 545'e (-%64,2), Boya–Fırın hattında 1558'den 450'ye (-%71,1), Kompresör/Basınçlı Hava sisteminde 1529'dan 560'a (-%63,4) ve Ağır Kaldırma/Malzeme Taşıma prosesinde 1722'den 575'e (-%66,6) düşmüştür. Bu bulgu, entegrasyon kapsamında öngörülen teknik ve organizasyonel kontrol setlerinin, risk skorlarını yalnızca tekil tehlikelerde değil, proses ölçeğinde toplam risk yükü üzerinde de anlamlı ve ölçülebilir bir iyileşme yarattığını ortaya koymaktadır.

Benzer eğilim HRNS ve Fine–Kinney bulgularında da doğrulanmaktadır. HRNS'de toplam risk yükü Kaynak–Montajda 2706→954 (−%64,7), Boya–Fırında 3806→906 (−%76,2), Kompresörde 2832→946 (−%66,6) ve Ağır Kaldırmada 4165→864 (−%79,3) seviyelerine gerilemiştir. Fine–Kinney'de ise sırasıyla 1321→530 (−%59,9), 1558→432 (−%72,3), 1481→584 (−%60,6) ve 1836→444 (−%75,8) düşüşleri gerçekleşmiştir. Yöntemler arası farklılıklar (özellikle HRNS'nin "etkilenen kişi/maruziyet" boyutunu daha sert yansıtması) toplam skor düzeylerini değiştirse de, azalışın tüm yöntemlerde %60–%79 bandında tutarlı biçimde gerçekleşmesi, entegrasyonun etkisinin metodolojik açıdan güçlü ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, Boya–Fırın ve Ağır Kaldırma proseslerinde daha yüksek iyileşme yüzdeleri elde edilmesi, entegrasyonun "kritik sıcak noktalara" odaklanan kontrol yaklaşımıyla riskleri üst bantlardan daha yönetilebilir seviyelere çekebildiğini kanıtlamaktadır.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1.Tartışma

Bu çalışmada, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ile ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin entegrasyon potansiyeli, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi örnekleminde; proses–risk–performans göstergeleri ekseninde incelenmiştir. Bulgular, entegrasyon yaklaşımının sahadaki tehlike profilini doğrudan etkileyen operasyonel kontroller, bakım yönetimi ve çalışan davranışları üzerinde ölçülebilir bir iyileştirme kapasitesi oluşturduğunu göstermektedir. Nitekim entegrasyon sonrası öngörülen değerlendirmelerde, entegrasyon öncesinde daha üst risk bantlarında yer alan birçok tehlikenin alt sınıflara çekildiği; özellikle "tolerans edilemez/esaslı risk" sınıflarındaki tehlikelerin "önemli/olası risk" düzeyine indirgenebildiği görülmüştür.

Bu sonuçlar, ISO 45001'in tehlikelerin ortadan kaldırılması ve risklerin azaltılmasına dayanan yaklaşımının; metal sektöründe ekipman yönetimi, alan organizasyonu ve insan faktörü bileşenleriyle birlikte ele alındığında, somut ve hızla görünür iyileşmeler üretebildiğini desteklemektedir.Burada önemli olan nokta, entegrasyonun risk azaltımını tek başına "teknik önlem" ile sınırlamaması; prosedürel disiplin, eğitim, farkındalık ve çalışan katılımını da güçlendirerek çok bileşenli bir etki üretmesidir.

Tartışma açısından öne çıkan bir diğer bulgu, entegrasyon yaklaşımının İSG risklerini yalnızca mevzuat uyumunun zorunlu bir çıktısı olarak ele almaması; aksine bu riskleri proses verimliliği, enerji kullanımı ve kalite sapmalarıyla bütünleşik biçimde değerlendirmesidir. Bu çerçevede entegrasyon, üst yönetim düzeyinde karar alma süreçlerini reaktif müdahalelerden stratejik iyileştirme odağına taşıyabilmekte; böylece İSG performansı, enerji ve üretim performans göstergeleriyle aynı yönetim dili içerisinde izlenebilir ve ölçülebilir hale gelmektedir. Bu durum, özellikle KOBİ

ölçeğinde kaynak ve organizasyonel kapasite kısıtları nedeniyle ayrı yürütülen yönetim sistemlerinin, ortak PUKÖ döngüsü altında bütünleştirilmesinin uygulama değerini ve sürdürülebilirliğini belirgin biçimde arttırmaktadır.

Proses temelli değerlendirme bulguları; kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör/basınçlı hava ve ağır kaldırma/taşıma operasyonlarının, işletmenin hem İSG hem de enerji performansı açısından "kritik sıcak noktalar" olduğunu göstermiştir. Bu alanlarda entegrasyon sonrası kurgulanan senaryoda, risklerin önemli bir bölümünün 1–2 kademe aşağı bantlara taşınabildiği görülmektedir. Özellikle kimyasal maruziyet ile yangın/patlama potansiyelinin eşzamanlı bulunduğu boya ve fırın hattında; toz birikimi, uygunsuz solvent depolama ve havalandırma yetersizliği gibi tehlikeler, yüksek olasılık–sık maruziyet–ciddi sonuç bileşimi nedeniyle risk skorlarının üst düzey bantlarda yoğunlaşmasına yol açmaktadır. Bu tür risklerin yönetimi yalnızca kişisel koruyucu donanım uygulamalarına indirgenmemeli; havalandırma/filtrasyon kapasitesinin iyileştirilmesi, uygun depolama düzeni, statik elektrik ve topraklama kontrolleri ile proses parametrelerinin standardizasyonu gibi teknik ve organizasyonel kontrol setleriyle bütünleşik biçimde ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, hem maruziyetin azaltılmasına hem de proses güvenilirliği ve enerji verimliliği hedeflerinin birlikte desteklenmesine olanak sağlamaktadır.

Benzer biçimde kaynak–montaj hattında; kaynak dumanına uzun süreli maruziyet, ağır parçaların uygunsuz kaldırılması/taşınması ve taşlama disk patlaması gibi tehlikelerin, aynı anda hem sürekli maruziyet kaynaklı kronik riskleri hem de düşük olasılıklı–yüksek etkili kaza senaryolarını barındırdığı görülmektedir. Bu süreçte entegrasyonun sağladığı temel katkı, yalnızca iş kazası olasılığını düşürmekle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda enerji tüketimini ve kalite sapmalarını artıran proses düzensizliklerini azaltma potansiyelini de ortaya koymaktadır. Bu bulgu, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunun "çift yönlü fayda" ürettiğine işaret etmektedir: aynı kontrol seti, bir yandan güvenli çalışma koşullarını güçlendirirken diğer yandan üretim verimliliğini artıran ve kayıpları azaltan çıktılar yaratabilmektedir. Dolayısıyla entegrasyon, güvenlik ve enerji performansını birbirinden bağımsız

hedefler olarak değil; aynı operasyonel sistemin birbirini tamamlayan bileşenleri olarak ele alan bütüncül bir iyileştirme yaklaşımı sunmaktadır.

Tartışma bölümünün öne çıkan bir diğer boyutu ise "artık risk" yaklaşımıdır. Çalışmada geliştirilen entegrasyon senaryosu, birçok tehlikeyi daha yönetilebilir seviyelere indirgemekte; ancak metal işletmelerinde özellikle kronik maruziyetler (kaynak dumanı, gürültü, kimyasal buhar) ve yüksek şiddetli olay senaryoları (yük düşmesi, patlama) belirli koşullarda tamamen ortadan kaldırılamayabilmektedir. Bu durum, entegrasyonun temel vaadinin "sıfır risk" üretmekten ziyade; riskleri izlenebilir, ölçülebilir ve sürekli iyileştirilebilir bir yönetim döngüsüne bağlamak olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonu, risk azaltımını tek seferlik bir aksiyon paketinden çıkararak; performans göstergeleri üzerinden takip edilen, düzeltici–önleyici faaliyetlerle beslenen ve kurumsal öğrenme ile güçlenen sistematik bir yönetim mekanizmasına dönüştürmektedir.

5.2.Sonuç ve Öneriler

Bulgular, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının politika, hedef belirleme, süreç yaklaşımı, risk temelli düşünme ve PUKÖ döngüsü bakımından yüksek düzeyde yapısal uyum gösterdiğini; dolayısıyla metal işletmelerinde entegre bir yönetim sistemi kurulmasının uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Bu uyum, entegrasyonun hem dokümantasyon düzeyinde hem de risk–enerji–proses performansı ekseninde ortak ve izlenebilir bir yönetim dili ürettiğini göstermektedir. Böylece İSG riskleri, salt mevzuat uyumu kapsamında değerlendirilen bir zorunluluk olmaktan çıkarak; operasyonel verimlilik, enerji kullanımı ve kalite sapmaları ile ilişkili bütüncül bir yönetim problemi olarak ele alınabilmektedir. Bu yaklaşım, üst yönetim karar süreçlerinin reaktif müdahale mantığından uzaklaşıp stratejik iyileştirme odağına yönelmesini desteklemektedir. Entegrasyonun en kritik kazanımı ise, enerji performans göstergeleri (EnPI) ile İSG metriklerinin aynı izleme–değerlendirme çerçevesinde yönetilmesi ve düzeltici faaliyetlerin hem enerji kayıplarını hem de güvenlik risklerini azaltacak biçimde planlanabilmesidir. Özellikle KOBİ ölçeğinde, kaynak kısıtları nedeniyle ayrı yürütülen sistemlerin ortak

bir PUKÖ çatısı altında bütünleştirilmesi, entegrasyonun uygulama değerini ve yönetsel sürdürülebilirliğini belirgin biçimde arttırmaktadır.

5.2.1. Entegrasyonun İş Sağlığı ve Güvenliği Performansına Etkisine İlişkin Sonuçlar

Araştırma bulguları, ISO 45001 ve ISO 50001 standartlarının ortak bir çatı altında ele alınmasının, özellikle incelenen dört kritik proseste (kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi, ağır kaldırma ve malzeme taşıma) iş sağlığı ve güvenliği performansını anlamlı biçimde iyileştirme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Entegrasyon öncesi durumda, FMEA, HRNS ve Fine–Kinney analizleri; yük düşmesi, patlama/yangın, disk patlaması, forklift–yaya çarpışması, kompresör gürültüsü, kaynak dumanı ve solvent buharı maruziyeti gibi tehlikelerin çoğunlukla yüksek ve çok yüksek risk sınıflarında kümelendiğini ortaya koymuştur.

Önerilen entegrasyon modeli kapsamında; risk değerlendirme süreçlerinin sistematik hale getirilmesi, iş süreçlerine özgü prosedür ve talimatların netleştirilmesi, alan düzenlemeleri ve bariyerleme uygulamaları, kaldırma planları, temizlik–bakım planları, KKD kullanımının denetimle pekiştirilmesi ve çalışan katılımının arttırılması gibi önlemler devreye alındığında, aynı tehlikeler için olasılık, maruziyet sıklığı ve etkilenen kişi sayısı parametrelerinde belirgin düşüşler öngörülmüştür. Buna bağlı olarak, “tolerans edilemez/çok yüksek” risk sınıfındaki birçok tehlike “yüksek” veya “orta” düzeye gerilemiş; “yüksek” risk sınıfındaki tehlikelerin önemli bir kısmı da “kontrol altında izlenmesi gereken risk” düzeyine inmiştir.

Bu sonuç, ISO 45001’in tehlikelerin ortadan kaldırılması ve risklerin azaltılmasına ilişkin yaklaşımının (özellikle madde 6 – planlama, madde 8 – operasyon) metal sektöründe iş organizasyonu, ekipman yönetimi, alan tasarımı ve insan faktörü ile birlikte ele alındığında somut iyileşmeler yarattığını göstermektedir (ISO, 2018). Entegrasyon sayesinde İSG riskleri, “mevzuat uyumu” çerçevesinin ötesinde, proses verimliliği ve enerji kullanımıyla ilişkili olarak da değerlendirilmiş; bu da üst

yönetimin İSG konusunu daha stratejik bir gündem maddesi olarak görmesine zemin hazırlamıştır (Mahmood et al., 2022; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024).

Özetle, entegrasyon sonrası öngörülen durumda, hem akut kaza riski (yük düşmesi, patlama, çarpma, ezilme vb.) hem de kronik maruziyet (gürültü, kaynak dumanı, kimyasal buharlar vb.) düzeylerinde çok boyutlu bir azalma söz konusudur. Bu azalma, yalnızca teknik önlemlerle değil; prosedürel disiplin, eğitim, farkındalık ve çalışan katılımının güçlenmesiyle birlikte ortaya çıkan bir iyileşme olarak değerlendirilmelidir (ISO, 2018; EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

5.2.2. Entegrasyonun Enerji Performansı ve Sürdürülebilirlik Göstergelerine Etkisine İlişkin Sonuçlar

ISO 50001, enerji yönetimini planla–uygula–kontrol et–önlem al (PUKÖ) döngüsü çerçevesinde, enerji performansı göstergeleri (EnPI) ve enerji temel çizgisi üzerinden ele almaktadır (ISO, 2018). Bu çalışma, söz konusu yaklaşımın, ISO 45001 ile entegre biçimde uygulandığında güvenli çalışma koşullarını sağlamanın yanı sıra, enerji verimliliğini ve sürdürülebilirlik performansını da iyileştirebileceğini göstermektedir.

Vaka çalışmasında; özellikle boya ve fırın hattı, kompresör odası ve kaynak–montaj hattı gibi enerji yoğun proseslerde, entegrasyon öncesi durumda yanlış proses parametreleri, basınçlı hava kaçakları, gereksiz çalıştırmalar, uygunsuz bakım ve yeniden işleme gibi nedenlerle önemli enerji kayıpları yaşandığı tespit edilmiştir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Francisco et al., 2024). Örneğin, fırın sıcaklık ve süre ayarlarının operatör inisiyatifine bırakılması, hem ürün kalitesini olumsuz etkileyen tekrar işleme oranlarını arttırmakta hem de gereğinden uzun veya yüksek sıcaklıkta çalıştırmalar nedeniyle enerji tüketimini yükseltmektedir. Benzer şekilde, kompresör odasında kaçakların alışıldık bir durum olarak kabul edilmesi ve kompresörün uygunsuz koşullarda işletilmesi, hem enerji verimliliğini düşürmekte hem de ekipman ömürlerini kısaltmaktadır.

Entegrasyon sonrası öngörülen senaryoda; proses parametrelerinin (kaynak akımı, fırın sıcaklık–süre kombinasyonları vb.) standardizasyonu, enerji performans göstergeleriyle bağlantılı izlenmesi, basınçlı hava kaçakları için planlı tarama programları, bakım faaliyetlerinin enerji verimliliği perspektifiyle yeniden ele alınması ve yeniden işleme oranlarının azaltılması sayesinde, enerji tüketiminde anlamlı düşüşler beklenmektedir (ISO, 2018; Mahmood et al., 2022). Böylece, İSG odaklı önlemler (örneğin iyi havalandırma, uygun ekipman seçimi, proses standardizasyonu) ile enerji yönetimi hedefleri arasında karşılıklı güçlendirici bir ilişki ortaya çıkmaktadır.

Bu çerçevede entegrasyon, işletme açısından iki düzeyli bir sürdürülebilirlik çıktısı üretmektedir:

i. Çevresel sürdürülebilirlik boyutunda, enerji tüketiminin ve dolaylı sera gazı emisyonlarının azaltılması,

ii. Sosyal sürdürülebilirlik boyutunda, güvenli ve sağlıklı çalışma koşulları, meslek hastalıkları ve kaza risklerinde azalma.

Bu bulgu, entegre yönetim sistemlerinin hem "idari bir gereklilik" hem de sürdürülebilir rekabet avantajı ve kurumsal dirençlilik aracı olarak değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir (Bernardo, Simon, & Karapetrovic, 2017; Francisco et al., 2024).

5.2.3. Yönetim Sistemleri Entegrasyonu Açısından Önerilen Modelin Değerlendirilmesi

Çalışmada önerilen entegrasyon modeli; ISO 45001 ve ISO 50001'in ortak yüksek seviyeli yapısını (kurumsal bağlam, liderlik, planlama, destek, operasyon, performans değerlendirme ve iyileştirme) esas almakta, ancak entegrasyonu yalnızca ortak politika ve prosedürlerin tanımlanmasıyla sınırlamayıp, süreç, risk ve

performans düzeylerinde somutlaştırmaktadır (ISO, 2018; Karapetrovic & Willborn, 1998).

Modelin güçlü yönleri şu başlıklarda toplanabilir:

i. Ortak politika ve hedefler: İSG ve enerji performansı, işletmenin stratejik hedefleriyle ilişkilendirilmiş; bu sayede üst yönetimin taahhüdü tek bir entegre politika altında toplanmıştır.

ii. Ortak süreç ve risk haritası: Kaynak-montaj, boya–fırın, kompresör odası ve ağır kaldırma-taşıma gibi süreçler için hem İSG hem enerji risklerini içeren bütünleşik proses haritaları oluşturulmuştur.

iii. Ortak göstergeler ve izleme mekanizmaları: Bazı alanlarda (örneğin duruş süreleri, yeniden işleme oranları, basınçlı hava kaçakları) hem İSG hem enerji performansını yansıtan ortak performans göstergeleri tanımlanmıştır.

iv. Sürekli iyileştirme ve geri besleme: FMEA, HRNS ve Fine–Kinney çıktıları, yönetimin gözden geçirmesi ve iç denetim sonuçlarıyla ilişkilendirilerek PUKÖ döngüsüne entegre edilmiştir.

Buna karşılık modelin uygulanabilirliği, özellikle KOBİ ölçeğindeki işletmelerde; kaynak kısıtları, uzman insan gücü eksikliği, veri toplama altyapısının yetersizliği ve üst yönetim önceliklerinin sık değişmesi gibi faktörlerden etkilenebilecektir (Mahmood et al., 2022; Lahri et al., 2025). Ayrıca bu çalışmada entegrasyon "öngörülen senaryo" düzeyinde ele alınmış; dolayısıyla modelin tam ölçekli uygulamasında ortaya çıkabilecek kurumsal direnç, değişim yönetimi zorlukları ve kültürel bariyerler, gelecekteki saha araştırmalarının konusu olmaya devam etmektedir. Buna rağmen, çalışma önerilen modelin yapısal tutarlılığını ve uygulama potansiyelini ortaya koymakta; literatürdeki entegrasyon tartışmalarını somut bir vaka üzerinden desteklemektedir (Bernardo et al., 2017; Francisco et al., 2024).

5.2.4. FMEA, HRNS ve Fine–Kinney Sonuçlarının Entegrasyon Perspektifinden Yorumlanması

Üç farklı risk analizi yönteminden elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesi, önerilen entegrasyon modelinin geçerliliğini ve güvenilirliğini güçlendiren önemli bir unsurdur. FMEA, HRNS ve Fine–Kinney, entegrasyon öncesi durumda aynı süreçlerde (kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör odası, ağır kaldırma–taşıma) risklerin yoğunlaştığını göstermiş; entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise aynı alanlarda risk skorlarının belirgin biçimde azaldığını ortaya koymuştur.

FMEA, hata türlerini neden-sonuç ilişkisi ve tespit edilebilirlik boyutuyla ele alarak, entegrasyon sayesinde özellikle kontrollerin etkinliğinde ve tespit edilebilirlik parametresinde bir iyileşme olduğunu göstermiştir.

HRNS, maruziyet sıklığı ve etkilenebilecek kişi sayısını doğrudan dikkate alması nedeniyle; entegrasyon sonrası maruziyet sürelerinin kısalması, çalışan sayısının sınırlanması ve alan düzenlemeleri sayesinde toplu maruziyet risklerinde anlamlı azalmalar olduğunu ortaya koymuştur.

Fine–Kinney ise, farklı proses ve tehlikeler arasında karşılaştırılabilir risk skorları üreterek, entegrasyonun hem akut kaza hem kronik maruziyet risklerini "çok yüksek"ten "yüksek/orta/düşük" kategorilere çekme potansiyelini sayısal olarak görünür kılmıştır (Kinney & Wiruth, 1976; Yıldız, 2024).

Bu açıdan bakıldığında, üç yöntem de entegrasyon öncesi durumda benzer kritik süreçleri işaret etmekte; entegrasyon sonrası senaryoda ise aynı süreçlerde belirgin risk azaltımı göstermektedir. Bu durum, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunun yalnızca kavramsal bir öneri olmaktan çıkıp, farklı risk analizi teknikleriyle de doğrulanan somut bir iyileştirme aracı olduğunu göstermektedir (Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024).

5.2.5. Genel Sonuç

Bu çalışmada, sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği bağlamında enerji yönetiminin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması amaçlanmış; bu doğrultuda ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ile ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standartlarının entegrasyon potansiyeli, İstanbul'da faaliyet gösteren küçük ölçekli bir metal işletmesi özelinde incelenmiştir. Çalışma, yönetim sistemlerinin yalnızca belgelendirme veya dokümantasyon düzeyinde değil, süreç, risk ve performans göstergeleri düzeyinde bütünleşik olarak yönetilebileceğini göstermiştir. Kuramsal çerçevede sistem teorisi, sürdürülebilirlik yaklaşımı ve sürekli iyileştirme felsefesi; yöntemsel düzeyde ise karma yöntemli tek vaka deseni ile FMEA, HRNS ve Fine–Kinney gibi üç farklı risk analizi yönteminin birlikte kullanılması, entegrasyonun çok boyutlu ve analitik biçimde değerlendirilmesini mümkün kılmıştır (Creswell & Plano Clark, 2017; Yin, 2018; ISO, 2018).

Elde edilen bulgular, özellikle kaynak–montaj hattı, boya ve fırın hattı, kompresör odası ve basınçlı hava sistemi ile ağır kaldırma ve malzeme taşıma operasyonlarının, hem iş sağlığı ve güvenliği hem de enerji tüketimi bakımından işletmenin en kritik süreçlerini oluşturduğunu ortaya koymuştur. Entegrasyon öncesi durumda FMEA, HRNS ve Fine–Kinney sonuçları; yük düşmesi, patlama/yangın, forklift–yaya çarpışması, kompresör gürültüsü, basınçlı hava kaçakları, kaynak dumanı ve solvent buharı gibi tehlikelerin çoğunlukla yüksek ve çok yüksek risk sınıflarında yoğunlaştığını göstermiştir. Bu tablo, literatürde de vurgulanan şekilde, risk ve enerji yoğun süreçlerin büyük ölçüde çakıştığını; dolayısıyla İSG ve enerji yönetiminin işletme pratiğinde aslında aynı "sıcak noktalar" etrafında buluştuğunu doğrulamaktadır (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Yıldız, 2024).

Önerilen ISO 45001–ISO 50001 entegrasyon modeli çerçevesinde kurgulanan entegrasyon sonrası öngörülen durumda ise, üç farklı risk analizi yönteminden elde edilen sonuçlar tutarlı biçimde, hem akut kaza riski taşıyan olaylarda hem de kronik maruziyet içeren durumlarda risk düzeylerinin bir veya iki kademe azaldığını

göstermiştir. Kaldırma planları, sapan yönetimi, alan düzenlemeleri, boya kabini ve kompresör odasında havalandırma-bakım uygulamaları, basınçlı hava kaçaklarının sistematik takibi, proses parametrelerinin standardizasyonu ve enerji performans göstergeleriyle ilişkilendirilmesi gibi önlemler; FMEA RÖS değerlerinde, HRNS skorlarında ve Fine–Kinney risk sınıflarında belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Bu sonuçlar, entegre yönetim sistemlerinin yalnızca iş kazalarını ve meslek hastalıklarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda yeniden işleme, duruş süreleri, ekipman arızaları ve gereksiz enerji tüketimini de azaltarak sürdürülebilirlik performansına katkı sunduğunu göstermekte; ilgili literatürdeki bulgularla uyumlu bir çerçeve sunmaktadır (Bernardo, Simon, & Karapetrovic, 2017; Mahmood et al., 2022; Francisco et al., 2024).

Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri, ISO 45001 ve ISO 50001'in entegrasyonunun, metal sektöründeki KOBİ ölçekli işletmelerde gerçekçi ve uygulanabilir bir hedef olduğunun ortaya konmasıdır. Çalışmada geliştirilen entegrasyon modeli ve risk analizi yaklaşımı, benzer nitelikteki işletmeler için hem yapısal bir yol haritası hem de uygulanabilir araç seti sunmaktadır. Bununla birlikte, araştırmanın tek vaka ve senaryo temelli olması, bulguların genellenebilirliğini sınırlayan bir unsur olup; farklı sektörlerde, farklı ölçeklerde ve gerçek uygulama verileriyle desteklenecek yeni çalışmalara ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir (Yin, 2018; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025). Buna rağmen, bu tez; İSG ve enerji yönetimini süreç temelli, çok yöntemli ve bütünleşik bir bakış açısıyla ele alarak, hem akademik literatüre hem de uygulamaya yönelik tartışmalara somut ve sürdürülebilir bir katkı sunmaktadır.

5.2.6. Uygulamaya Yönelik Öneriler (İşletmeler İçin)

5.2.6.1. Metal Sektöründeki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler İçin Öneriler

Bu çalışmanın bulguları, özellikle küçük ve orta ölçekli metal işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetiminin çoğu zaman birbirinden bağımsız, "reaktif" müdahalelerle yürütüldüğünü; oysa aynı prosesler üzerinde bütünleşik ve

sistematik bir yaklaşımın hem riskleri hem de maliyetleri azaltabileceğini göstermektedir (ISO, 2018; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024). Bu nedenle KOBİ niteliğindeki metal işletmeleri için ilk öneri, "küçük ama odaklı" bir başlangıç yapılmasıdır: işletmenin tümünü aynı anda kapsayan kapsamlı bir entegrasyon yerine, bu çalışmada olduğu gibi birkaç kritik prosesin (örneğin kaynak–montaj hattı, boya–fırın hattı, kompresör odası, ağır kaldırma ve iç lojistik) seçilmesi ve çalışmaların öncelikle bu alanlara odaklanması daha uygulanabilir bir strateji sunacaktır.

İkinci olarak, KOBİ'ler için dokümantasyon yükünün yönetilebilir tutulması önemlidir. ISO 45001 ve ISO 50001'in gerektirdiği tüm prosedür ve kayıtların "kopyala–yapıştır" yaklaşımıyla değil, işletmenin gerçek ihtiyaçlarına göre sadeleştirilmiş biçimde tasarlanması önerilmektedir (Bernardo, Simon, & Karapetrovic, 2017). Bu çerçevede, özellikle risk değerlendirme formları, bakım planları, enerji izleme tabloları ve olay/ramak kala kayıtları için basit, anlaşılır ve tekrar kullanılabilir şablonlar oluşturulması; böylece hem İSG hem enerji performansının aynı formlar üzerinden izlenebilmesi sağlanabilir. Üçüncü olarak, küçük işletmelerin dış uzman ve danışmanlardan yararlanması önemli olmakla birlikte, sistemin sürdürülebilirliği için işletme içinde en az bir kişiye "entegrasyon sorumlusu" rolünün verilmesi ve bu kişiye gerekli eğitim desteğinin sağlanması kritik görülmektedir (Mahmood et al., 2022; Yıldız, 2024).

5.2.6.2. Entegre ISO 45001–ISO 50001 Yönetim Sistemi Kurmayı Planlayan İşletmeler İçin Yol Haritası

ISO 45001 ve ISO 50001'i entegre biçimde kurmayı planlayan işletmeler için, çalışma kapsamında elde edilen bulgulara dayanarak aşağıdaki yol haritası önerilebilir (ISO, 2018; Francisco et al., 2024):

i. Kurumsal bağlam ve paydaş analizi: İşletmenin faaliyet gösterdiği sektör, mevzuat yükümlülükleri, müşteri beklentileri, enerji maliyeti baskıları ve iş kazası/meslek

hastalığı kayıtları birlikte ele alınarak, İSG ve enerji açısından "stratejik öncelikler" netleştirilmelidir.

ii. Entegre politika ve hedefler: Ayrı ayrı İSG ve enerji politikaları yerine, her iki alanı da kapsayan tek bir entegre politika yayımlanmalı; hedefler (kaza sıklığı, kayıp gün, enerji tüketimi, yeniden işleme oranı vb.) mümkün olduğunca birbirine bağlı performans göstergeleri üzerinden tanımlanmalıdır.

iii. Ortak süreç ve risk haritası: Bu çalışmada yapıldığı gibi, işletme prosesleri çıkarılarak, her bir adım için hem İSG hem enerji riskleri aynı tabloda gösterilmeli; kritik prosesler için FMEA, HRNS ve Fine–Kinney gibi yöntemlerden en az birinin kullanıldığı detaylı analizler yapılmalıdır.

iv. Dokümantasyonun entegrasyonu: Prosedürler, talimatlar, formlar ve kayıtlar; ISO 45001 ve ISO 50001 gerekliliklerini ayrı ayrı değil, ortak süreç mantığı içinde karşılayacak biçimde tasarlanmalı; çakışan kayıtlar birleştirilerek bürokratik yük azaltılmalıdır (Bernardo et al., 2017).

v. İzleme, ölçme ve performans göstergeleri: İSG ve enerji performansı için seçilen göstergeler, mümkün olduğunca ortak veri kaynaklarına dayanmalı (örneğin duruş süreleri, yeniden işleme oranları, kompresör çalışma saatleri vb.) ve periyodik olarak raporlanmalıdır.

vi. İç denetim ve yönetimin gözden geçirmesi: Entegre sistem için tek bir iç denetim programı ve tek bir yönetimin gözden geçirmesi süreci kurgulanmalı; her iki standarda ilişkin bulgular aynı toplantıda değerlendirilmelidir (Mahmood et al., 2022).

Bu yol haritası, ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunu hem kavramsal hem operasyonel düzeyde somutlaştırmakta; özellikle KOBİ'ler için "adım adım" uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

5.2.7. Risk Analizi Uygulamalarının (FMEA, HRNS, Fine–Kinney) Entegre Yönetim Sistemi İçine Yerleştirilmesine Yönelik Öneriler

Çalışmada kullanılan FMEA, HRNS ve Fine–Kinney yöntemleri, analitik birer araç olmasının yanında, entegre yönetim sisteminin sürekli iyileştirme mekanizması olarak da değerlendirilmelidir. Öncelikle, işletmelere tek bir "risk değerlendirme prosedürü" altında, farklı yöntemleri farklı amaçlarla kullanmaları önerilmektedir: FMEA'nın süreç ve ekipman odaklı, HRNS'nin maruziyet odaklı, Fine–Kinney'in ise süreçler arası karşılaştırmayı kolaylaştıran yönleri dikkate alınarak; kritik prosesler için kombine kullanım tercih edilebilir (Aker, 2019; Yıldız, 2024).

İkinci olarak, risk analizlerinin "bir kez yapılıp klasörde kalan" dokümanlar olmaması için, sonuçların somut aksiyon planlarıyla ilişkilendirilmesi gerekmektedir. FMEA RÖS değerleri, HRNS skorları ve Fine–Kinney risk sınıfları, yıllık bakım planları, yatırım kararları, eğitim programları ve iyileştirme projeleri için önceliklendirme aracı olarak kullanılmalıdır. Örneğin, bu çalışmada "çok yüksek" olarak tanımlanan ağır kaldırma ve kompresör odası risklerinin, yıllık iyileştirme planlarında öncelikli proje başlıkları haline getirilmesi; entegrasyonun sahadaki karşılığını güçlendirecektir (Francisco et al., 2024).

Üçüncü olarak, risk analizlerinin periyodik olarak güncellenmesi önemlidir. Proses değişiklikleri, yeni ekipman yatırımları, üretim hacmindeki artış/azalış veya meydana gelen iş kazası/ramak kala olayları sonrasında risk analizlerinin gözden geçirilmesi, ISO 45001 ve ISO 50001'in öngördüğü "değişiklik yönetimi" yaklaşımıyla uyumludur (ISO, 2018). Son olarak, risk analizi çalışmalarına sadece İSG uzmanı veya enerji yöneticisinin değil; operatörler, bakım personeli ve orta kademe yöneticilerin de katılımı sağlanmalı; böylece risk değerlendirmeleri katılımcı ve öğrenen bir kültürün parçası haline getirilmelidir (EU-OSHA, 2019; Yıldız, 2024).

5.2.8. Eğitim, Farkındalık ve Kurumsal Kültürün Güçlendirilmesine Yönelik Öneriler

Araştırmanın bulguları, teknik ve prosedürel düzenlemelerin tek başına yeterli olmadığını; entegrasyonun başarısının büyük ölçüde kurumsal kültür, çalışan katılımı ve liderlik ile ilişkili olduğunu göstermektedir (ISO, 2018; Yin, 2018). Bu nedenle işletmelere ilk olarak, İSG ve enerji yönetimini uzmanlarla birlikte tüm çalışanların ortak görevi olarak konumlayan bir yaklaşım benimsemeleri önerilmektedir. Bu amaçla, oryantasyon eğitimlerinin yanı sıra, kritik proseslere özgü hedeflenmiş eğitim programları (örneğin kaynak dumanı ve havalandırma, boya kabini güvenliği, ağır kaldırma kuralları, kompresör odasında çalışma vb.) planlanmalı; bu eğitimler periyodik olarak tekrarlanmalıdır.

İkinci olarak, çalışanların sahadaki gözlemlerini ve önerilerini sisteme taşıyacak basit geri bildirim mekanizmaları (ramak kala bildirim formları, öneri sistemi, kısa odak grup toplantıları vb.) kurulmalıdır. Bu mekanizmalar, hem risklerin erken tespiti hem de çalışanların sürece katılımı açısından önemlidir (EU-OSHA, 2019). Üçüncü olarak, yöneticilerin ve hat amirlerinin rol model olması; İSG kurallarına ve enerji tasarrufu uygulamalarına bizzat uyması, doküman ve prosedürlerden daha güçlü bir mesaj taşımaktadır. Bu nedenle özellikle orta kademe yöneticiler için, entegre İSG–enerji yönetimine yönelik liderlik odaklı kısa programlar tasarlanması önerilmektedir (Mahmood et al., 2022).

Son olarak, entegrasyon sürecinde elde edilen başarıların –örneğin kaza sıklığında azalma, enerji tüketiminde düşüş, yeniden işleme oranlarında gerileme– çalışanlarla paylaşılması ve mümkün olduğunda sembolik ödüllendirme veya takdir mekanizmalarıyla desteklenmesi, pozitif geri besleme döngüsü oluşturacaktır (Francisco et al., 2024). Böylece ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonu, çalışanlar için ek yük getiren bir "belgelendirme projesi" olmaktan çıkıp, işlerini daha güvenli ve daha anlamlı hale getiren bir dönüşüm süreci olarak algılanabilecektir.

5.2.9. Politika Yapıcılara ve Standart Geliştiricilere Yönelik Öneriler

5.2.9.1. Ulusal Düzeyde İSG ve Enerji Yönetimi Politikalarının Entegrasyonuna Yönelik Öneriler

Bu araştırmanın bulguları, iş sağlığı ve güvenliği ile enerji yönetiminin işletme düzeyinde aynı prosesler üzerinde kesiştiğini; özellikle metal sektöründe kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör sistemleri ve ağır kaldırma–taşıma süreçlerinin hem yüksek riskli İSG alanları hem de enerji yoğun operasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, ulusal düzeyde geliştirilecek politika ve stratejilerin de İSG ve enerji yönetimini birbirinden kopuk alanlar olarak değil, bütünleşik bir sürdürülebilirlik çerçevesi içinde ele alması gerektiğine işaret etmektedir (ISO, 2018; Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Mahmood et al., 2022).

Bu bağlamda politika yapıcılara yönelik ilk öneri, ulusal İSG strateji belgeleri, enerji verimliliği eylem planları ve iklim/sürdürülebilirlik dokümanlarında İSG–enerji yönetimi entegrasyonuna açık atıf yapılmasıdır. İlgili bakanlık ve kurumların (iş sağlığı ve güvenliği, enerji, çevre, sanayi vb.) hazırladığı politika metinlerinde, ISO 45001 ve ISO 50001'in birlikte uygulanmasını teşvik eden çerçevelerin oluşturulması; özellikle KOBİ'lerin entegre sistem kurmasını kolaylaştıracak yol haritalarının resmî dokümanlarda yer alması önemlidir (Bernardo, Simon, & Karapetrovic, 2017; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

İkinci olarak, İSG denetimleri ile enerji verimliliği ve çevre denetimlerinin daha koordineli ve veri paylaşımına dayalı biçimde yürütülmesi önerilmektedir. Aynı tesisin farklı zamanlarda farklı kurumlar tarafından ayrı ayrı denetlenmesi yerine, kritik sektörlerde pilot uygulamalarla eşgüdümlü denetim modelleri geliştirilebilir. Böylece, hem işletmeler üzerindeki bürokratik yük azaltılacak hem de risklerin bütüncül değerlendirilmesine imkan tanınacaktır (EU-OSHA, 2019; Mahmood et al., 2022).

Üçüncü olarak, ulusal istatistik sistemlerinde iş kazaları, meslek hastalıkları ve enerji tüketimi/yoğunluğu verilerinin birlikte analiz edilebilmesini sağlayacak bir veri yapısının geliştirilmesi; belirli sektör ve proseslerde "yüksek kaza–yüksek enerji kullanımı" kümelenmelerinin görünür kılınmasına katkı sağlayacaktır. Bu tür kanıt temelli analizler, politika yapıcıların öncelik belirleme süreçlerini güçlendirerek, sınırlı kaynakların en riskli ve en enerji yoğun alanlara yönlendirilmesine yardımcı olabilir (Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

5.2.9.2. Teşvik Mekanizmaları, Destek Programları ve Düzenleyici Çerçeveye İlişkin Öneriler

İşletmelerin, özellikle de KOBİ'lerin entegre ISO 45001–ISO 50001 yönetim sistemi kurma ve sürdürme kapasitesi büyük ölçüde mali ve kurumsal kaynaklara bağlıdır. Bu nedenle politika yapıcılara yönelik önemli bir öneri, ulusal destek ve teşvik mekanizmalarının, İSG ve enerji verimliliğini birlikte hedefleyen projeleri önceliklendirecek şekilde yapılandırılmasıdır. Örneğin, yatırım teşvikleri, düşük faizli kredi programları veya hibe desteklerinde, yalnızca enerji verimliliği yatırımlarını değil, aynı zamanda bu yatırımların İSG boyutunu da içeren projelere ek puan verilmesi düşünülebilir (Mahmood et al., 2022; Lahri et al., 2025).

Benzer biçimde, KOBİ'lere sağlanan danışmanlık ve eğitim desteklerinin, ISO 45001 ve ISO 50001'in ayrı ayrı tanıtılmasından ziyade, entegre yönetim yaklaşımını merkeze alan programlar haline getirilmesi önerilmektedir. Böylece işletmeler, iki ayrı sistem kurup sonradan "birleştirme" yerine, en baştan itibaren ortak süreç, ortak risk haritası ve ortak göstergeler üzerinden ilerlemeyi öğrenebilecektir (Bernardo et al., 2017; Francisco et al., 2024).

Düzenleyici çerçeve açısından bakıldığında, kamu ihaleleri ve tedarik zinciri kriterleri, entegre yönetim sistemlerinin yaygınlaştırılması için güçlü bir kaldıraç olabilir. Özellikle enerji yoğun ve riskli sektörlerde, belirli büyüklüğün üzerindeki işletmeler için ISO 45001 ve ISO 50001'e birlikte sahip olma veya en azından entegre bir yol haritasına sahip olma şartı, ihale değerlendirme kriterleri içinde yer

alabilir. Böylece standartlar, yalnızca “belgelendirme” değil, aynı zamanda rekabet avantajı ve pazar erişimi aracı haline gelecektir (ISO, 2018; Lahri et al., 2025).

Son olarak, İSG yatırımlarını destekleyen fon ve programların (makine koruyucuları, havalandırma sistemleri, ergonomik düzenlemeler vb.), enerji verimliliğiyle de doğrudan ilişkili olduğu durumlarda (örneğin kompresör verimliliği, izolasyon, proses otomasyonu) entegre projelere öncelik vermesi, işletmelerin “tek taşla iki kuş” mantığıyla hareket edebilmesini kolaylaştıracaktır. Bu da hem kaynak kullanımının etkinliğini artıracak hem de entegre bakış açısının sahada güçlenmesini sağlayacaktır (Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

5.2.9.3. ISO 45001 ve ISO 50001’in Sektörel Uygulanabilirliğinin Artırılmasına Yönelik Öneriler

Standart geliştiriciler ve ulusal standardizasyon kuruluşları açısından bakıldığında, bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri, ISO 45001 ve ISO 50001’in sektöre özgü rehber ve uygulama dokümanları ile desteklenmesi gerekliliğidir. Metin itibarıyla her iki standart da sektörden bağımsız ve genel niteliktedir; ancak metal sanayi gibi risk ve enerji yoğunluklarının yüksek olduğu sektörlerde, işletmelerin standartları somut süreçlerine nasıl uyarlayacakları konusunda daha fazla yönlendirilmeye ihtiyaç duydukları görülmektedir (ISO, 2018; Bernardo et al., 2017).

Bu nedenle standart geliştiricilere yönelik ilk öneri, metal sektörü başta olmak üzere, yüksek riskli/enerji yoğun sektörler için sektörel uygulama kılavuzları hazırlanmasıdır. Bu kılavuzlarda, örneğin bu çalışmada olduğu gibi, kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör sistemleri ve ağır kaldırma–taşıma süreçleri için örnek proses haritaları, risk tabloları, EnPI önerileri ve entegre prosedür örnekleri sunulabilir. Böylece işletmeler, soyut standart metni ile fiilî üretim süreçleri arasındaki boşluğu daha kolay doldurabilecektir (Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

İkinci olarak, ISO 45001 ve ISO 50001 dokümanlarının eklerinde veya teknik raporlarında, entegrasyon odaklı ek rehberlik sunulması önerilmektedir. Örneğin, risk

temelli düşünme (ISO 45001, Md. 6) ile enerji planlaması (ISO 50001, Md. 6) arasındaki kesişim alanlarını gösteren örnek şemalar; İSG performans göstergeleri ile enerji performans göstergelerini bir arada kullanan örnek gösterge setleri; entegre iç denetim planı ve entegre yönetimin gözden geçirmesi formatları bu kapsamda değerlendirilebilir (ISO, 2018; Mahmood et al., 2022).

Üçüncü olarak, belgelendirme kuruluşlarının ve denetçilerin, entegre yönetim sistemleri konusunda ortak eğitim ve kalifikasyon programlarına tabi tutulması önem taşımaktadır. Denetçilerin hem İSG hem enerji yönetimi perspektifine sahip olması, sahadaki denetim pratiklerinin de entegrasyonu desteklemesini sağlayacaktır. Aksi halde, aynı işletmede farklı zamanlarda yapılan "parçalı" denetimler, işletmeleri entegre sistem yerine yeniden "silo" mantığına itme riski taşımaktadır (Bernardo et al., 2017; Lahri et al., 2025).

Son olarak, sektörel meslek örgütleri, odalar ve birliklerin, üyelerine yönelik örnek entegre uygulama projeleri, iyi uygulama rehberleri ve kıyaslama çalışmaları yürütmesi, ISO 45001 ve ISO 50001'in yaygın ve etkin kullanımını destekleyecektir. Bu tür platformlar, işletmelerin yalnızca sertifika almak için değil, gerçekten sürdürülebilir İSG ve enerji performansı elde etmek için standartlara yönelmesini teşvik edebilir (Francisco et al., 2024; Yıldız, 2024).

5.2.10. Araştırmanın Akademik Katkıları

Bu çalışma, öncelikle yönetim sistemleri entegrasyonu literatürüne, özel olarak da ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonu bağlamında üç düzeyde katkı sunmaktadır: kuramsal çerçeve, entegrasyon modeli ve yöntemsel yaklaşım.

Kuramsal düzeyde, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile enerji yönetimi alanlarının birbirinden kopuk iki teknik faaliyet olarak değil, aynı süreçler, aynı riskler ve aynı performans göstergeleri üzerinden kesişen bütünleşik alanlar olduğu ortaya konmuştur. Literatürde ağırlıklı olarak kalite–çevre–İSG entegrasyonuna odaklanan çalışmalar (Bernardo, Simon, & Karapetrovic, 2017; Karapetrovic & Willborn, 1998),

bu çalışmada İSG–enerji ekseninde yeniden yorumlanmış; ISO 45001 ve ISO 50001'in yüksek seviyeli yapısı çerçevesinde sistem teorisi, sürdürülebilirlik yaklaşımı ve sürekli iyileştirme felsefesi ile ilişkilendirilmiştir (ISO, 2018; Mahmood et al., 2022). Böylece, İSG ve enerji yönetimini eşzamanlı dikkate alan, sürdürülebilirlik odaklı bir entegre yönetim perspektifi geliştirilmiştir.

İkinci olarak, çalışma İSG-enerji entegrasyonuna yönelik uygulamaya dönük bir entegrasyon modeli önermektedir. Model, ISO 45001 ve ISO 50001'in yalnızca politika ve dokümantasyon düzeyinde "üst üste bindirilmesi"nden öteye geçerek; süreç, risk ve performans boyutlarında somut entegrasyon bileşenleri tanımlamaktadır. Kaynak–montaj, boya–fırın, kompresör odası ve ağır kaldırma–taşıma süreçleri için oluşturulan ortak proses haritaları, hem İSG risklerini hem de enerji performansını aynı yapı içinde ele almakta; bu yönüyle literatürde daha çok kavramsal düzeyde tartışılan entegrasyon konusuna vaka temelli bir örnek kazandırmaktadır (Francisco, Ramos, Bernardo, & Simon, 2024; Lahri, Virmani, & Jagtap, 2025).

Yöntemsel açıdan bakıldığında, çalışma karma yöntemli tek vaka araştırma deseni ile (Yin, 2018; Creswell & Plano Clark, 2017) üç farklı nicel risk değerlendirme yöntemini –FMEA, HRNS ve Fine–Kinney– aynı saha üzerinde birlikte kullanarak çok katmanlı bir analiz sunmuştur. Bu üç yöntemin aynı proses kümeleri üzerinde uygulanması, hem yöntemler arası karşılaştırmaya hem de entegrasyon etkisinin farklı tekniklerle üçlü doğrulamasına olanak tanımıştır. Dolayısıyla çalışma, risk analizi literatüründe çoğunlukla tek bir yönteme dayalı uygulamaların ötesine geçerek, entegrasyon bağlamında çoklu risk analizi kullanımına ilişkin örnek bir çerçeve ortaya koymaktadır (Aker, 2019; Yıldız, 2024).

5.2.11. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

İlk olarak, farklı sektörlerde ve ölçeklerde karşılaştırmalı vaka çalışmaları yürütülmesi önerilmektedir. Kimya, çimento, gıda, lojistik veya turizm gibi farklı risk ve enerji profiline sahip sektörlerde ISO 45001–ISO 50001 entegrasyonunun

benzer şekilde ele alınması; bulguların sektörler arası karşılaştırılmasına ve entegrasyonun hangi bağlamlarda daha güçlü sonuçlar ürettiğinin görülmesine katkı sağlayacaktır (Francisco et al., 2024; Lahri et al., 2025). Aynı şekilde, KOBİ'ler ile büyük ölçekli işletmelerin entegrasyon deneyimlerinin karşılaştırılması, örgütsel kapasite ve kaynak farklılıklarının etkisini anlamak açısından önemlidir.

İkinci olarak, bu çalışmada senaryo temelli olarak ele alınan entegrasyonun, gelecekte boylamsal çalışmalarla fiilen uygulanması ve zaman içinde izlenmesi önerilmektedir. Aynı işletmede entegrasyon öncesi ve sonrası dönemlere ait gerçek kaza, ramak kala, devamsızlık, enerji tüketimi, yeniden işleme ve duruş verilerinin toplanması ve istatistiksel olarak karşılaştırılması; bu çalışmada sunulan analitik öngörülerin ampirik olarak test edilmesine olanak tanıyacaktır (Mahmood et al., 2022; Yin, 2018).

Üçüncü olarak, dijitalleşme ve Endüstri 4.0 bileşenlerinin entegre yönetim sistemiyle ilişkilendirilmesi, gelecek çalışmalar için önemli bir araştırma hattı sunmaktadır. Kompresör, fırın, boya kabini, aydınlatma ve HVAC sistemlerinde IoT sensörleri, gerçek zamanlı enerji izleme, veri analitiği ve kestirimci bakım uygulamalarının; İSG performans göstergeleri (maruziyet süreleri, gürültü düzeyleri, ortam koşulları vb.) ile birlikte değerlendirilmesi, entegrasyonun veri temelli ve akıllı sistemler ile nasıl güçlendirilebileceğini ortaya koyabilir (Chiu, Lo, & Tsai, 2012; Francisco et al., 2024).

Dördüncü olarak, entegrasyonun örgütsel ve davranışsal boyutlarının daha derinlemesine incelenmesi önerilmektedir. Üst yönetim desteği, liderlik stilleri, örgüt kültürü, çalışan katılımı ve değişim yönetimi gibi faktörlerin; entegre İSG–enerji yönetim sistemlerinin benimsenmesi ve sürdürülmesi üzerindeki etkileri, nitel veya karma yöntemli çalışmalarla araştırılabilir (Creswell & Plano Clark, 2017; Lahri et al., 2025). Bu kapsamda, anket temelli yapısal eşitlik modellemesi (SEM) gibi yöntemlerle, entegrasyon başarısını etkileyen belirleyici unsurların analizi de önemli bir katkı sağlayacaktır.

Son olarak, risk analizi alanında ileri analitik yöntemlerin (bulanık mantık tabanlı FMEA, çok kriterli karar verme teknikleri, Bayesçi yaklaşımlar, simülasyon modelleri vb.) entegrasyon bağlamında denenmesi önerilmektedir. Farklı yöntemlerin aynı prosesler üzerinde uygulanması; hem belirsizliklerin daha gerçekçi yönetilmesine hem de FMEA–HRNS–Fine–Kinney gibi klasik yöntemlerden elde edilen sonuçların metodolojik olarak güçlendirilmesine yardımcı olabilir (Aker, 2019; Yıldız, 2024).

Genel olarak, bu çalışma, ISO 45001 ve ISO 50001 entegrasyonuna ilişkin uygulamalı, çok yöntemli ve süreç odaklı bir çerçeve sunmakta; bundan sonra yürütülecek araştırmalar için hem içerik hem de yöntem açısından güçlü bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Aguilera, R. V., & Cuervo-Cazurra, A. (2021). Multistakeholder Governance and the Firm. *Academy of Management Review*, 46(2), 263–281.

Aker, A. (2019). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yöntemlerinden Fine-Kinney ve Tehlike Derecelendirme Sayı Sistemi (HRNS) Analizi Uygulaması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 754–765.

Aker, A. (2020). Comparison of 5x5 Matrix and Fine-Kinney Risk Assessment Methods in a Metal Manufacturing Industry. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), 1–7.

Alotaibi, K. O., Al-Shehri, H. A., & Al-Amri, S. (2025). The role of ISO 50001 implementation in aligning energy management with corporate sustainability strategies in Saudi Arabian public institutions. *Sustainable Production and Consumption*, 41, 1–10.

Altın, İ., Bayraklı, B., & Akın, H. (2018). FMEA Metodu ile İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analizi ve Önceliklendirmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 528–539.

Amaral, F., de Lima, M., & Salgado, E. (2020). The impact of ISO 45001 on occupational health and safety performance: A systematic review. *Safety Science*, 127, 104711.

Ateş, V. (2016). *FMEA Metodu ile İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analizi ve Değerlendirilmesi: Bir Metal İşletmesi Örneği.* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bernardo, M., Casadesús, M., Karapetrovic, S., & Heras, I. (2009). An analysis of the benefits of integrated management systems. *The TQM Journal*, 21(5), 509–520.

Bernardo, M., Simon, A., Chiarini, A., & Puga, R. (2015). Benefits and barriers for integrated management systems. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1037–1046.

Bernardo, M., Simon, A., Chiarini, A., & Puga, R. (2017). Benefits and barriers for integrated management systems: A comparison of three ISO standards. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1037–1046.

Bernstein, A., & Hahn, H. (2020). Management systems, governance and the institutionalisation of corporate responsibility. *Journal of Business Ethics*, 166(3), 475–492.

Bilir, N., & Gürcanlı, G. E. (2015). *İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi: Yöntemler ve Uygulamalar.* T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Bottani, E., Costa, B., & Grosse, I. R. (2019). The new ISO 45001 standard: A framework for integrated OHS management systems. *Safety Science*, 120, 124–133.

BSI (British Standards Institution) (2015). *The High-Level Structure: Understanding the new common framework for ISO management systems standards.* BSI.

Carroll, A. B. (1999). Corporate Social Responsibility: Evolution of a Definitional Construct. *Business & Society,* 38(3), 268–295.

Chiu, Y.-C., Lo, S.-L., & Tsai, P.-H. (2012). Applying the PDCA cycle to energy management and carbon reduction in industry. *Energy Policy*, 49, 239–246.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2023). *2023 Yılı İş Sağlığı ve Güvenliği Faaliyet Raporu.* T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Çiçek, D., & Demirtaş, H. E. (2021). Enerji Yönetimi ve İş Sağlığı Güvenliği Yönetim Sistemlerinin Entegrasyonu: Literatür Taraması. *Journal of Engineering Sciences and Design,* 10(2), 221–234.

Clean Energy Ministerial (2021). *ISO 50001: The Energy Management Standard - Case Studies.* Washington, DC: U.S. Department of Energy.

Clarke, S. (2020). *Safety leadership: A meta-analytic review of the literature. Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 93(3), 481–508.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and Conducting Mixed Methods Research (3rd ed.).* Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Cumhurbaşkanlığı *İklm ve Enerji Ofisi (2023). Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2023–2035)*. T.C. Cumhurbaşkanlığı.

ÇŞİKB & ÇSGB (2023). *Entegre Yönetim Sistemleri Pilot Projesi Açılış Raporu*. [Kurumsal Rapor]. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı & T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

da Silva Gonçalves, H., & dos Santos, E. M. (2019). The ISO 50001 standard: A systematic literature review on implementation and benefits. *Journal of Cleaner Production,* 232, 1093–1107.

Darabont, D. C., Ionescu, L., & Florea, M. E. (2021). *The importance of document analysis in the implementation of integrated management systems (ISO 45001 and ISO 50001).* Procedia Manufacturing, 57, 185–190.

Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis.* Cambridge, MA: MIT Press.

DNV (2023). *Integrated Management Systems: Aligning Risk, Quality, Environment, and Energy.* White Paper. DNV Business Assurance.

DOE (U.S. Department of Energy) (2022). *Better Plants Program: Energy + Safety = Efficiency Case Studies.* Washington, DC: DOE.

Duta, A., Sarbu, I., & Duta, M. (2020). *Integrating Energy Management System (ISO 50001) and Occupational Health and Safety Management System (ISO 45001) for Sustainable Manufacturing.* Procedia Manufacturing, 46, 157–164.

Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 11(2), 130–141.

Elkington, J. (1998). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business.* Gabriola Island, BC: New Society Publishers.

Enerjisa (2024). *Enerjisa Entegre Yönetim Sistemi Politikası ve Uygulamaları.* [Kurumsal Rapor].

Erin, O. (2021). *Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analizi ve Değerlendirilmesi: Fine-Kinney Yöntemi Uygulaması.* [Yüksek Lisans Tezi]. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work) (2013). *Green Jobs and Occupational Safety and Health: A Review of the Evidence.* Publications Office of the European Union.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work) (2019). *The Business Case for Safety and Health: Cost-Benefit Analysis of OSH Interventions.* Publications Office of the European Union.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work) (2020). *Sustainable Safety and Health at Work: Key Concepts and Practice.* Publications Office of the European Union.

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work) (2023). *OSH and the green transition: A review of the evidence.* Publications Office of the European Union.

European Commission (2019). The European Green Deal. Brussels: COM/2019/640 final.

European Commission (2021). Delivering the European Green Deal: Fit for 55 package. Brussels: COM/2021/550 final.

F. Yıldız, G. (2024). *Risk Değerlendirme Yöntemlerinin (HRNS, Fine-Kinney) İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetiminde Karşılaştırılması: Bir Üretim İşletmesi Uygulaması.* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J. M., & Vázquez-Ordás, C. J. (2007). Safety climate in OHSAS 18001 certified enterprises: Antecedents and consequences. *Safety Science*, 45(8), 817–830.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J. M., & Vázquez-Ordás, C. J. (2020). The effects of ISO 45001 implementation on occupational health and safety performance. *Safety Science*, 131, 104924

Fidan, A. (2024). Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması: HRNS, FMEA ve Fine-Kinney Analizleri. *International Journal of Advanced Engineering and Science*, 3(1), 45–56.

Fine, W. T. (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards. Journal of *Safety Research*, 3(4), 157–166.

Francisco, V. C., Ramos, T. B., Bernardo, M., & Simon, A. (2024). The synergy between ISO 45001 and ISO 50001: A framework for integrated OHS and energy performance improvement. *Safety Science*, 170, 106399.

Gerek, Z., & Aydın, T. (2025). The role of ISO 50001 planning phase in energy performance improvement and integration with other management systems. *Energy Efficiency,* 18(1), 1–15.

Gonzales, J. F., Castro, A., & Pérez, M. (2023). Implementation of ISO 45001 in the construction industry: A case study on accident reduction. Engineering, *Construction and Architectural Management,* 30(2), 527–545.

Grawitch, M. J., Gottschalk, M., & Munz, D. C. (2006). The safety and health of the triple bottom line: Linking employee well-being to the social and economic bottom lines. *Journal of Business and Psychology*, 21(1), 1–11.

GRI (Global Reporting Initiative) (2021). *GRI Standards.* GRI.

Gün, B. (2022). *Metal Sanayinde İş Kazası Risklerinin Fine-Kinney Yöntemi ile Değerlendirilmesi ve Analizi.* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hale, A. R., & Borys, D. (2013). Risk management in safety—The past, present and future. *Safety Science*, 53, 11–25.

Hecker, S., Gambatese, J., & Weinstein, M. (2005). Designing for construction safety: Comparing a traditional design to a prevention through design approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(7), 808–815.

Hippertt, R. L., Hippertt, M. L., de Matos, E. S., da Silva, L. V. L., & Hippertt, H. L. (2019). Comparison of different risk assessment methodologies in a high-risk Brazilian industry. *Safety Science*, 118, 185–194.

IEA (International Energy Agency) (2014). *Energy Management Programmes for Industry: An International Perspective.* IEA Publications.

IEA (International Energy Agency) (2022). *World Energy Outlook 2022.* IEA Publications.

ILO (International Labour Organization) (2001). *Guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001).*

ILO (International Labour Organization) (2018). *Safety and health in the context of the future of work: The role of technology.*

ILO (International Labour Organization) (2022). *ILO Statistics on Occupational Safety and Health.* ILO Publications.

ILO (International Labour Organization) (2023). *Safe and healthy working environment as a fundamental principle and right at work.* [Policy Document].

ISO (International Organization for Standardization) (2010). ISO 26000:2010. *Guidance on social responsibility.*

ISO (International Organization for Standardization) (2011). ISO 50001:2011. Energy management systems.*Requirements with guidance for use.*

ISO (International Organization for Standardization) (2015). ISO 14001:2015. Environmental management systems. *Requirements with guidance for use.*

ISO (International Organization for Standardization) (2015). ISO/IEC Directives, Part 1, Consolidated ISO Supplement. *Procedures specific to ISO.*

ISO (International Organization for Standardization) (2015). ISO 9001:2015. *Quality management systems – Requirements. ISO.*

ISO (International Organization for Standardization) (2018). ISO 45001:2018. *Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. ISO.*

ISO (International Organization for Standardization) (2019). *ISO/IEC Directives, Part 1, Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO.*

Ispas, A., Ispas, D. C., Botea, D., & Botea, G. (2025). Integrating ISO 45001 and ISO 50001 in energy sector companies: Benefits and challenges. *Energy Policy*, 185, 113940.

Jallon, S., L'Hostis, V., & Jarrin, A. (2011). Sustainability and OHS: State of the Art and Prospects. *Safety Science*, 49(5), 750–760.

Jansson, M., Johnsson, F., & Svedberg, G. (2019). The link between energy efficiency and occupational safety: A review of industrial case studies. *Energy Efficiency*, 12(4), 1083–1098.

Joo, S. H., & Baek, J. G. (2024). A systematic review of the relationship between ISO 45001 certification and occupational injury rates. *Safety Science*, 172, 106423.

Jørgensen, T. H., Remmen, A., & Mellado, M. D. (2006). Integrated management systems—how to make an effective implementation. *Journal of Cleaner Production*, 14(12–13), 1089–1095.

Karapetrovic, S., & Willborn, W. O. (1998). Integrated management systems: New philosophy or just another fad? *The TQM Magazine*, 10(1), 4-13.

Kessy, C. (2021). The role of safety culture on occupational health and safety performance in developing countries: A systematic review. *Safety and Health at Work*, 12(4), 498–507.

Kineber, M. E., Othman, I., Oke, A. E., El-Sayegh, S. M., & Buniya, M. K. (2023). Implementation of ISO 45001 in the construction industry of developing countries. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(4), 1604–1629.

Kinney, G. F., & Wiruth, A. D. (1976). *Practical risk analysis for safety management. China Lake*, Naval Weapons Center.

KOSGEB (Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı) (2023). *KOBİ'lerin Yönetim Sistemleri Uygulamalarına Yönelik Araştırma Raporu.* KOSGEB.

Lahri, A., Virmani, P., & Jagtap, S. (2022). A case study approach to integrated management system adoption in small and medium enterprises. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(7), 2841–2867.

Lahri, A., Virmani, P., & Jagtap, S. (2025). Sustainability in the metal manufacturing industry: The role of integrated OHS and energy management systems. *Journal of Cleaner Production,* 450, 141675.

Li, J. (2025). Integrating energy management system (ISO 50001) with sustainability reporting in higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141675.

Liu, J., Wang, S., & Wang, Q. (2013). The integration of risk assessment and management in safety engineering. *Safety Science*, 58, 33–42.

LRQA (Lloyd's Register Quality Assurance) (2024). *The ISO High Level Structure (HLS) Explained.*

Mahmood, S., Nawaz, S., Khan, M. I., & Ahmad, S. (2022). Integrating ISO 50001 and ISO 45001 in a manufacturing firm: A risk-based approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(11), 11843–11856.

McKane, A., Therkelsen, P., Scodel, S., Rao, P., & Aghajani, M. (2017). *ISO 50001 Case Studies and the Value of Implementation.* Berkeley, CA. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Mohammadfam, I., Zarei, E., & Taghdisi, H. (2016). The effect of OHSAS 18001 implementation on occupational accidents and injuries: A systematic review and meta-analysis. *Safety and Health at Work*, 7(2), 116–125.

Morgado, F., Salgado, E., & Rebelo, M. F. (2019). The link between OHSAS 18001/ISO 45001 and accident reduction: A qualitative and quantitative approach. *Safety Science*, 118, 18–29.

Mullen, J., Kelloway, E. K., & Francis, L. (2017). The role of safety leadership in shaping safety culture: Evidence from the Canadian mining industry. *Journal of Safety Research,* 63, 211–222.

Nunhes, T. V., Bernardo, M., & Oliveira, O. B. (2017). Management Systems' Integration: A Literature Review. *International Journal of Integrated Supply Management*, 11(2), 127–146.

Nunhes, T. V., Oliveira, O. B., & Bernardo, M. (2019). The evolution of integrated management systems: An analysis based on the High-Level Structure (HLS). *Journal of Cleaner Production,* 237, 117768.

Ochoa, J., Camiña, F., & Urquía, F. (2020). The impact of ISO 50001 on energy performance in the Spanish industrial sector. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119253.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2022). *OECD Business and Finance Outlook 2022: ESG in the Context of the COVID-19 Crisis and the Path to Recovery.* OECD Publishing.

Oral, M., & Bayhun, T. (2024). A combined risk assessment approach using Fine-Kinney and FMEA in a food production plant. *Journal of Engineering and Science*, 9(2), 150–165.

Över Özçelik, M., Özçelik, M., & Aker, A. (2025). Fuzzy Fine-Kinney Risk Assessment Model for Safety in Manufacturing Industry. *Journal of Occupational Safety and Health,* 15(1), 25–38.

Özçelik, M., & Aker, A. (2020). *Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ile İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analizi Uygulaması.* Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 125–136.

Özmen, S. (2025). *Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Bir Üretim Tesisinde FMEA, HRNS ve Fine-Kinney Uygulaması*. [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pandin, M., Gigli, M., Rinaldi, M., & Bresciani, F. (2024). Assessing the impact of ISO 50001 on energy performance: A systematic review and meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114144.

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice (4th ed.)*. Thousand Oaks, Sage Publications.

Pekcan, M. (2023). *Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bir Elektrik Dağıtım Şirketinde Fine-Kinney ve HRNS Uygulaması.* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pelser, B., Vosloo, H., & Mathews, E. H. (2018). The impact of implementing an energy management system (ISO 50001) in a South African integrated steel plant. *Journal of Energy in Southern Africa*, 29(2), 1–11.

Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Green and competitive: Ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 73(5), 120–134.

Powell, T. C. (1995). Total quality management as competitive advantage: A review and empirical study. *Strategic Management Journal*, 16(1), 15–37.

Rampasso, I. S., de Oliveira, E. B., de Melo, L. F., Gouveia, J. D., & de Queiroz, D. L. (2019). Integrated management system for quality, environment, safety, and energy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1118–1129.

Rebelo, M. F., Santos, G., & Lima, R. (2016). A framework for the implementation of an integrated management system based on ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001. *International Journal of Quality & Reliability Management,* 33(9), 1279–1296.

Robson, L. S., Clarke, J. A., Cullen, K., Evely, J., Irvin, E., Laberge, J. N., ... & Steenstra, I. (2007). The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: a systematic review. *Safety Science*, 45(3), 329–353.

Salomone, R. (2008). *Integrated management systems: Experiences in Italian organizations. Journal of Cleaner Production*, 16(14), 1485–1496.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023). *Yeşil Fabrika Destek Programı Uygulama Kılavuzu.* T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization.*

Simon, A., Bernardo, M., & Puga, R. (2012). Integrated management systems: An overview of the literature. *Management Research Review*, 35(9), 840–865.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution (2nd ed.).* Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

Şahin, B. (2019). *Metal Sektöründe Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Analizi ve Ergonomi Uygulamaları.* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Talapatra, P., Bhattacharyya, S., & Mazumder, T. (2019). Integrating ISO 50001 and ISO 45001 for sustainable energy and occupational safety management: A framework. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117865.

Talib, F., Rahman, Z., & Qureshi, M. N. (2013). Analysis of interaction among critical success factors of TQM implementation using ISM approach. Benchmarking: *An International Journal*, 20(2), 202–228.

Tanaka, H. (2015). The role of energy efficiency in achieving environmental sustainability. *Energy Policy*, 77, 464–474.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017). *Türkiye Enerji Stratejisi Belgesi.* T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) (2022). *TSE Entegre Yönetim Sistemleri Rehberi.*

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) (2024). *Yönetim Sistemleri Sertifika İstatistikleri 2023 Yılı Raporu.*

Tutko, T., & Woźniak, A. (2023). *Integrated Management Systems: Review of the Literature and Identification of Research Gaps*. Sustainability, 15(21), 15301.

Türkiye Büyük Millet Meclisi (2012). *6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. Resmi Gazete, Sayı: 28339.*

UN (United Nations) (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.*

UNEP DTU Partnership (2016). *Impacts of ISO 50001 on Energy Efficiency in Industry: A Meta-Analysis.*

UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) (2011). *Introduction to ISO 50001.*

UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) (2020). *ISO 50001 and its Impact in the Industrial Sector: Global Case Studies.*

U.S. Department of Energy [DOE] (2022). *Advanced Manufacturing Office: Energy Management Systems Case Studies.*

von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications.* George Braziller.

WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future.* Oxford University Press.

WHO (World Health Organization) (2022). *WHO Global Plan of Action on Worker's Health.*

World Steel Association *(2023). Steel's Contribution to a Low Carbon Future: Technology Report.* Brussels: World Steel Association.

Yfanti, S. (2025). Integrated management systems (IMS) adoption in SMEs: The role of organizational culture and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 451, 141701.

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods (6th ed.)*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Yoon, S. J., Johnson, S., & Yun, J. H. (2013). The effect of management systems and organizational factors on safety performance in the Korean construction industry. *Safety Science*, 55, 141–151.

Yıldız, G. (2024). *Risk Değerlendirme Yöntemlerinin (HRNS, Fine-Kinney) İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetiminde Karşılaştırılması: Bir Üretim İşletmesi Uygulaması.* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zeng, S. X., Shi, J. J., & Lu, S. (2015). The impact of management systems on the sustainability of construction enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 106, 496–503.

Zeng, S. X., Shi, J. J., & Lou, R. S. (2007). Integrating environmental, health and safety management systems in the construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(4), 273–282.

Zeng, S. X., Zeng, R. S., Li, Y. H., & Tam, V. W. Y. (2011). Social, environmental and energy management systems as sustainability drivers in construction projects. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1283–1290.

Zwetsloot, G. I. J. M., & Leka, S. (2020). ILO-OSH 2001, OHSAS 18001 and ISO 45001: The development of international OHS management standards. *Safety Science*, 121, 223–231.

Zwetsloot, G. I. J. M., Leka, S., & Solé, C. (2013). An integrated approach to sustainability, quality, and OHS management. *Safety Science*, 57, 220–228.

Zwetsloot, G. I. J. M., Starren, A., & Leka, S. (2017). ILO, EU and ISO standards on OHS management: A comparative analysis. *Safety Science*, 94, 144–157.