

*Araştırma Makalesi / Research Article*DOI: <http://dx.doi.org/10.29064/ijma.1116626>

## Otomotiv Endüstrilerinde ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Enerji Performansına Etkisi\*

Berrak Erol Nalbur <sup>1</sup>, Özcan Yavaş <sup>2\*</sup><sup>1</sup> Öğr.Gör.Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa, Türkiye / [bnalbur@uludag.edu.tr](mailto:bnalbur@uludag.edu.tr).<sup>2</sup> Doktora Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye / [501404001@ogr.uludag.edu.tr](mailto:501404001@ogr.uludag.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışma kapsamında bir otomotiv endüstrisinde Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) kurularak Enerji Gözden Geçirmesi (EGG) ve Enerji Performans Göstergesi (EnPG) belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tesisin son 3 yıllık enerji performansı incelenerek enerji tüketim performans öngörülerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada enerji performansını belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizi ve EnPG belirleme çalışması gerçekleştirilerek enerji performansı için bir tahmin modeli öngörülmüştür. EnYS kurulumuyla gerçekleştirilen çoklu lineer regresyon analizlerinde üretime bağlı ve üretim dışı enerji tüketimleri belirlenerek kayıplara odaklanılması sağlanmıştır. Sonuçlar tüketilen enerjinin %31'inin üretim kaynaklı olmadığını göstermiştir. Bu verilerden yola çıkarak kayıp sistemi oluşturulmuş ve üretim dışı enerji tüketimlerinin azaltılması sağlanmıştır. Enerji performans göstergeleri incelendiğinde tesisin enerji tüketiminde ISO 50001 kurulduktan itibaren %5 oranında enerji tüketim öngörülerinde iyileşme sağlamıştır. Bu çalışmanın diğer araştırmalara göre özgün yönü sektörel uygulamadaki bilimsel yöntemlerin kullanılarak gerçek boyutlu bir çalışma ile analizlenmesidir. Ayrıca çalışmada sektörel uygulamada karşılaşılan zorluklar ve aksiyonlar paylaşılmakta olup benzer bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Regresyon Analizi, ISO 50001, EnPG.**JEL Sınıflandırması:** M11, Q01, Q40**ORCID<sup>1</sup>:** 0000-0002-4524-0097 / **ORCID<sup>2</sup>:** 0000-0001-8679-0485**Başvuru Tarihi:** 21.06.2022 / **Kabul Tarihi:** 07.11.2022**Bu Makaleye Atıf İçin:** Nalbur, B. E., & Yavaş, Ö. (2023). Otomotiv Endüstrilerinde ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Enerji Performansına Etkisi. *International Journal of Management and Administration*, 7(13), 21-35.

## The Effect of ISO 50001 Energy Management System on Energy Performance in Automotive Industry

Berrak Erol Nalbur <sup>1</sup>, Özcan Yavaş <sup>2\*</sup><sup>1</sup> Lec.Dr., Bursa Uludağ University, Engineering Faculty, Bursa / Türkiye / [bnalbur@uludag.edu.tr](mailto:bnalbur@uludag.edu.tr).<sup>2</sup> Ph.D. Student, Bursa Uludağ University, Graduate School of Natural and App. Sciences, Bursa, Türkiye / [501404001@ogr.uludag.edu.tr](mailto:501404001@ogr.uludag.edu.tr)

**Abstract:** Within the scope of this study, ISO 50001 Energy Management System was established in the automotive industry. In this aspect, Energy Review (ER) and Energy Performance Indicator (EnPI) determination studies were carried out. By examining the energy performance of the facility for the last three years, determination and comparison of energy consumption performance predictions with the establishment of the ISO 50001 system are aimed. In order to determine the energy performance in the study, a regression analysis and EnPG determination study were performed, and a prediction model for the energy performance was predicted. In the multiple linear regression and EnPG analyses performed with the ISO 50001 EnMS setup, production-related and non-production energy consumptions were determined, and it was ensured to focus on losses. The results showed that 26% of the consumed energy is not from production. Based on these data, a loss system was created, and non-production energy consumption was reduced. When the energy performance indicators are examined, an annual decrease of 5% has been observed in the energy consumption of the facility since the establishment of ISO 50001. The most essential original aspect of this study compared to other studies is that it is analyzed with a full-scale study using scientific methods in sectoral practice. In addition, information about the difficulties and actions encountered in sectoral practice is shared in the study, and a similar study has not been found in other scientific studies.

**Keywords:** Energy Efficiency, Regression Analyses, ISO 50001, EnPG.**JEL Classification:** M11, Q01, Q40**ORCID<sup>1</sup>:** 0000-0002-4524-0097 / **ORCID<sup>2</sup>:** 0000-0001-8679-0485**Received Date:** 21.06.2022 / **Accepted Date:** 07.11.2022**How to Cite this Article:** Nalbur, B. E., & Yavaş, Ö. (2023). Otomotiv Endüstrilerinde ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Enerji Performansına Etkisi. *International Journal of Management and Administration*, 7(13), 21-35.

## EXTENDED SUMMARY

### *Research Problem*

There are various energy consumption evaluation methods in use. All of these methods are used with the aim of increasing energy efficiency. However, the effect of the methods used should also be revealed. Otherwise, an inefficient operation will be encountered. The application of the energy management system in the light commercial vehicle and bus manufacturing sector has been the subject of this study. The effect of the system on the light commercial and bus production process needs to be revealed. In this way, the efficiency of the system will be seen and the energy-saving rate in production will be determined.

### *Research Questions*

How energy efficient can the light commercial and bus manufacturing process be? What is the effect of energy management systems on the energy consumption performance of organizations? What is the relationship between sustainability and energy management system?

### *Literature Review*

Examining similar studies made on the basis of the subject specified in the literature review and bringing originality to the study by revealing the differences are included. The literature review was based on energy analysis in the automotive sector, energy-saving points, and energy management system. As seen in related studies, dyehouses in manufacturing, material and process development, automobile assembly, ISO 50001 applications, and ISO for least energy consumption are key factors for this subject.

### *Methodology*

Study was conducted on energy efficiency and energy consumption distribution of plant, linear regression analysis, and loss analysis. For energy efficiency and consumption electricity and natural gas consumption data sets from the last 3 years have been used, for specific energy consumption ISO 50001 was used, and SCADA was used for result reports. Linear regression analysis is useful for background evaluation and future prediction. Therefore linear regression analysis was used to see the direction of progress in this study. Loss analysis stage includes losses caused by unnecessary consumptions, over-consumption, lack of recycling, renewable energy. Loss analysis requires categorizing and ranking of losses.

### *Results and Conclusions*

The results show that there has been a positive improvement in the total energy consumption, specific energy consumption (SEC) and energy performance indicators (EnPI) of the facility since the Energy Management System was installed and the Energy Loss Analysis was established. Considering the total energy consumption, in 2021, when the energy management system was established, there was a decrease of approximately 19% compared to 2020. However, since the total consumption value is dependent on the number of vehicles, this value does not mean that the energy performance has improved. For this reason, SEC and EnPI were also compared and it was observed that there was a regular improvement since the establishment of the energy management system (respectively, 12.5% ; 5%).

## GİRİŞ

Çevre Yönetim Sistemlerinin gelişmesi özellikle son yıllarda doğal kaynak tüketiminin takip ve azaltılmasına katkı sağlamış bu durum ise enerji yönetim sistemlerinin oluşturulmasına sebep olmuştur (Marimon vd., 2011; Heras-Saizarbiotira ve Boiral, 2013; Marimon ve Casedus, 2017). ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) 2011 yılında çevresel faktörlerden doğal kaynak kullanımı olan enerjinin sistematik bir şekilde azaltılması için ortaya çıkarılmış ve dünya enerji tüketiminin %60'ına katkı sağlamayı amaçlamıştır (ISO, 2011; Marimon ve Casedus, 2017).

Sektörel kuruluşlarda ISO 50001 EnYS'nin belirlenmesi, enerji yönetimi ve enerji verimliliği sağlanmasındaki sürdürülebilir ve sürekli iyileştirme kapsamında yarar sağlamak açısından önemlidir. Ayrıca ISO 50001 ve buna bağlı yönetim sistemleri sera gazı emisyonlarının %40'ını azaltmakla birlikte çevresel etkilerin azaltılması konusunda etkili görülmemiştir (McKane vd., 2017; Gonçaves ve dos Santos, 2019; Ochoa vd., 2020). Enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli yönetimi, üretim boyunca tüketilen enerji maliyetlerinin sürekli olarak azaltılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik sistematik çalışmaların gerçekleşmesine sebep olmaktadır (Jamilia ve Abdelmijid, 2014; Patters vd., 2017; Ochoa vd., 2020).

Günümüzde otomotiv sektörünün üretim aşamaları malzeme tedarikine bağlı olarak ve pek çok farklı üretim tekniklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ana üretim prosesleri incelendiğinde otomotiv sektörü boya, montaj, gövde hatlarından oluşmaktadır. Bu kapsamda incelendiğinde otomotiv üreticilerinin enerji tüketimi ürettikleri ürün başına değişmekle birlikte yüksek miktarda enerji tüketen sektörlerin başında gelmektedir. Ayrıca sürekli yükselen enerji fiyatları, arz-talep dengesindeki gelişmeler, iklim değişikliği ve küresel ölçekte sürdürülebilir ürünlere olan talebin artması otomotiv sektörünün enerji verimliliğine odaklanmasını zorunlu kılan sebepler arasındadır. Bu baskı nedeniyle kısa ve orta vadede enerji verimliliği uygulama ve yönetim sistemlerinde gelişim ve enerji yönetimi ile alakalı personel istihdamında kısa, orta ve uzun vadede artış beklenmektedir (Hardcastle ve Watermen-Hoey, 2009; Degirmen, 2015). Otomotiv sektöründe enerji verimliliği ve tasarrufu sağlanması için gerekli yaklaşımlar (Degirmen, 2015); (i) Enerji mevzuat gerekliliklerini yerine getirmek, (ii) Enerji yönetim sistemlerini uygulamak, (3) Sürdürülebilirlik ve çevre yönetim sistemleri ile entegrasyon sağlamak, (iv) Teknolojik yatırım ve iyileştirmeler ile doğrudan tasarruf sağlamak olarak sıralanabilir.

Kılıç vd. (2018) yaptıkları bir araştırmada otomotiv endüstrisinde enerji verimliliği artırıcı çözümleri incelemişler, otomotiv endüstrisinde en yüksek enerji tüketiminin boyahane biriminde (toplam elektrik tüketiminin %50'si, toplam doğalgaz tüketiminin %70'i) kullanıldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca otomotiv endüstrisi Spesifik Enerji Tüketimi (SET) değerlerini elektrik için 275 kWh/adet, doğalgaz için 578 kWh/adet toplamda 853 kWh/adet belirlemişlerdir. Rivera vd. (2015) yılında otomotiv boyama ünitesinde yaptığı bir çalışmada malzeme ve proses geliştirmeleri ile enerji kazanımı sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır. Önerilen çözümler teorik ve uygulama olarak karşılaştırılmış ve boya hazırlama ünitesinde %10, astar boya uygulamasında %6, ana boya prosesinde %12, vernik uygulamasında %12, ön kurutma prosesinde %32, nihai kurutma prosesinde %22 ve atık su arıtma tesislerinde %6 enerji tasarruf potansiyeli tespit etmişlerdir. Chan ve Hildreth (2014) yaptıkları çalışmada enerji analizleri için Stokastik Sınır Analizi (SFA) ve Deterministik Sınır Analizi (DEA) yöntemlerini kullanmışlar ve SFA temelli çalışmalarda 41,73 \$/adet araç enerji kazancı sağlanabileceğini belirlemişlerdir. Giamperi vd. (2018) düşük karbon emisyonuna ulaşmak için ISO standartlarını tanımlamışlardır. Birleşik Krallık (UK) araç üreticileri için çevresel yararları enerji tüketimi, atık üretimi, su tüketimi ve hava kalitesi olarak tanımlamışlardır. Akbaş vd. (2018) otomobil

montaj üretim tesisinin değerlerine karşılık gelen enerji tüketimlerini incelemişlerdir. 2013, 2014 ve 2015 yıllarını kapsayan çalışmada SET değerlerini elektrik için 500 kWh/adet araç, doğalgaz için ise 650 kWh/adet araç toplamda 1.150 kWh/adet araç bulmuşlardır. Presteya vd. (2021) farklı sektörlerde ISO 50001 uygulamalarının karbon ve enerji azaltımına nicel katkısını incelemişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışmada ISO 50001 uygulamalarının uygulama aşamasında karşılaşılan zorluklarından bahsetmişlerdir.

Ayrıca bazı büyük kuruluşlar enerji yönetim sistemini kendi yönetim sistemlerine entegre ederek yüksek enerji kazançları elde etmişlerdir; (i) Dow Chemical, 2005-2015 yılları arasında %25 enerji tüketiminde iyileşme, (ii) United Technologies Co., 2001-2006 yılları arasında %46 azalma, (iii) Toyota Kuzey Amerika Enerji Yönetim Birimi, 2002 yılına kadar araç başı enerji tüketiminde %22 azalma, (iv) InterfaceFlor, 1994-2004 yılları arasında %35 azalma sağlamışlardır (Mc Kane vd., 2017). Son yıllarda artan sürdürülebilirlik çalışmaları ile birlikte değerlendirildiğinde; otomotiv sektöründe enerji tüketimi sadece üretim aşamasından kaynaklanmamakta olup hammaddenin işlenmesi, üretim, ürünün kullanımı ve geri dönüşüm aşamasında da tüketilen enerjiye odaklanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ticari elektrikli araç üreten bir otobüs üretim tesisinin ISO 50001 enerji yönetim sistemlerinin üretim süreçlerindeki enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji süreçlerine katkısı nicel veriler ile ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca gelecekteki iklim risklerinin ve belirsizliklerinin giderek artan önemi nedeniyle endüstrilerdeki ISO 50001 uygulamalarının avantajları ve önündeki engeller açığa çıkarılacaktır. Kuruluşun enerji performansı ile ISO 50001 öncesi ve sonrası durumlar karşılaştırılacak ve sistemin geliştirilmesi için öneriler verilecektir. Son olarak çalışma ürünün yaşam döngüsü evrelerinden sadece üretim aşamasındaki verilerine odaklanmış olup yönetim sistemlerinin diğer süreçlere katkısı ve sürdürülebilirlik ilişkisi ayrı bir çalışmanın konusudur. Çalışma kapsamında Araştırma ve Yayın Etiği kurallarına eksiksiz uyum sağlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1. Otomotiv Sektörü Enerji Analizi ve Enerji Tasarruf Noktaları

Çalışma yapılacak kuruluş, 4 farklı ürün gamında hafif ticari araçlar üreten ve bu sebeple yıllık üretim kapasitesi 10.000-20.000 adet arası değişen bir üretim tesisidir. Tesis ana hatları ile incelenecek olursa sırasıyla gövde, boya ve montaj olmak üzere 3 ana üretim hattından oluşmaktadır. Bakım ve Lojistik birimleri ise ana üretim hatlarına destek olmakta ve enerji tüketim noktaları bulunan yardımcı alanlardır.

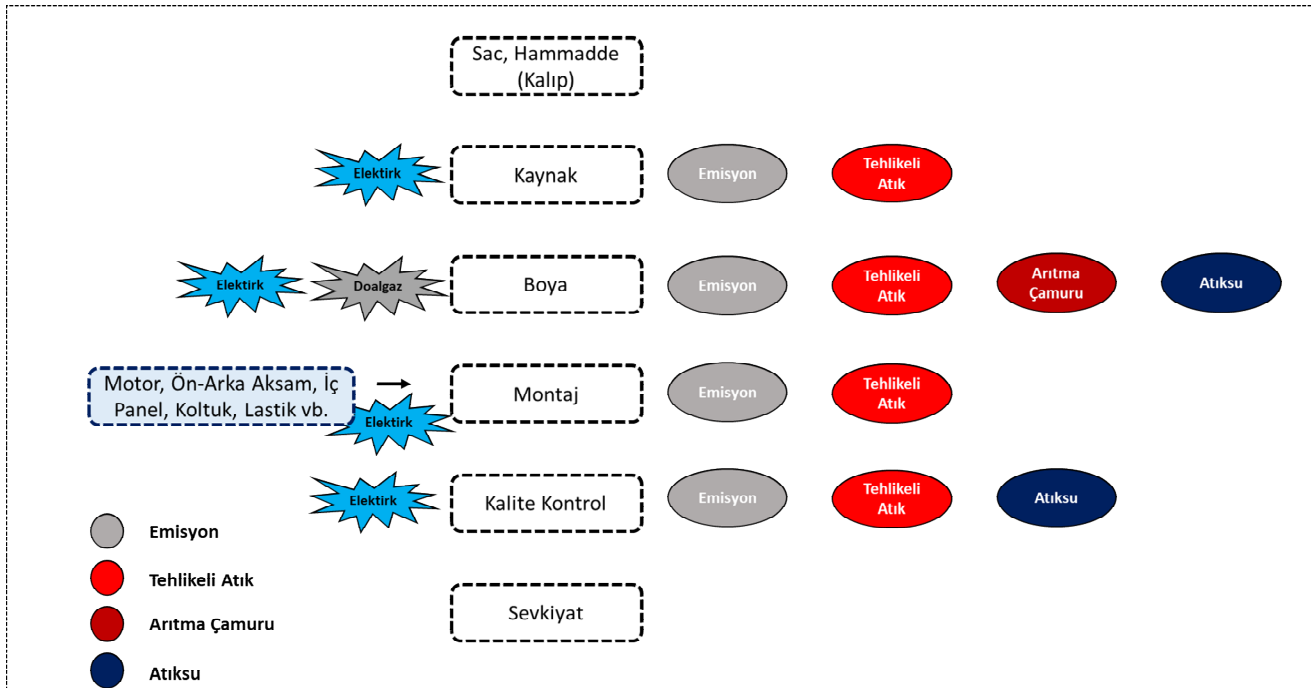
Gövde üretim prosesi, araçların çeşitli kaynak metotları kullanılarak şekillendirilmiş sac parçaların birleştirilmesi ile oluşur. Üretim aşamasında kaynak faaliyetlerine bağlı olarak emisyon, çapak önleme faaliyetlerinde düşük miktarda tehlikeli atık oluşmaktadır. Gövde bölümünde tamamlanan kaynak prosesleri sonucu araç boya birimine gönderilir. Gövde hatlarında genel olarak aydınlatma sistemleri, ısıtma sistemleri ve kaynak işlemleri elektrik, doğalgaz ve basınçlı hava kullanan önemli enerji tüketim kaynakları olarak bilinmektedir.

Boya üretim prosesi, araç gövdelerinin kataborez ile kaplanması ve boyanması işlemlerini kapsar. Araçlar kaynak hattından sonra önce kataborez kaplamaya gönderilir burada kataborez kimyasalı ile kaplanan araçlar fırınlanır. Kataborez tesisinden çıkan araçlar önce sızdırmazlık noktalarında sızdırmazlık kimyasalları ile kaplanır ve daha sonra boya kabinlerine alınır. Burada istenen renkte boyanan araçlar kalite operatörlerince kontrol edilir ve daha sonra montaj istasyonuna alınır. Kataborez prosesinde taşkan boyalı ve kimyasal sular endüstriyel atık su arıtma tesisine gönderilir. Ayrıca proses kurutma ve fırın işlemleri sırasında emisyon oluşumu boya ve sızdırmazlık

kimyasalı uygulanması sırasında da tehlikeli atıklar oluşmaktadır. Kataforez ve boyahane proseslerinde iletim elemanları, su sirkülasyon ekipmanları, su üretim tesisleri, fırın havalandırma sistemleri ve boya proseslerindeki ekipmanlar önemli elektrik ve doğalgaz tüketim kaynağı olarak söylenebilir.

Montaj üretim prosesinde, araç boyahaneden montaj istasyonuna geldikten itibaren aracın ana parçalarının sıkma, vidalama prosesleri ile montajı, yapıştırma işlemleri (cam, taban muşambası vb.), sıvı ve gaz dolmaları (yakıt, antifriz, klima gazı vb.) gibi süreçlerden geçerek nihai hale getirilir. Bu işlemler sırasında genellikle kimyasal içerikli tehlikeli atıklar, geri dönüşümlü ambalaj atıkları ve tehlikesiz atıklar oluşmaktadır. Yine konveyör ve lift gibi iletim ve kaldırma ekipmanları önemli elektrik tüketim kaynaklarını oluştururken, ortam ısıtması sırasında montaj istasyonlarında doğalgaz tüketimi gerçekleştirilir.

Yardımcı birimler temel olarak lojistik ve bakım birimleri ile yönetim kadrosunun bulunduğu idari ofisler sayılabilir. Bu alanlarda genellikle akü şarj istasyonları, bakım ekipmanları şarj üniteleri, aydınlatma sistemleri ve ısıtma-soğutma sistemleri enerji tüketmektedir. Çalışma kapsamında tesisi genel enerji performans göstergeleri ve boyahane üretim prosesinin enerji performans göstergeleri analizleri gerçekleştirilecektir. Tesisin genel iş-akış yapısından Şekil 1’de değinilmiştir.



Şekil: 1 Tesisin Genel İş-Akış Şeması

Tesisin enerjisi 7 ana güç panosuna bağlı olup her bir ana üretim prosesinde enerji analizörleri mevcuttur. Bu sebeple yapılan çalışmalar SCADA değerleri ile doğrulanacaktır.

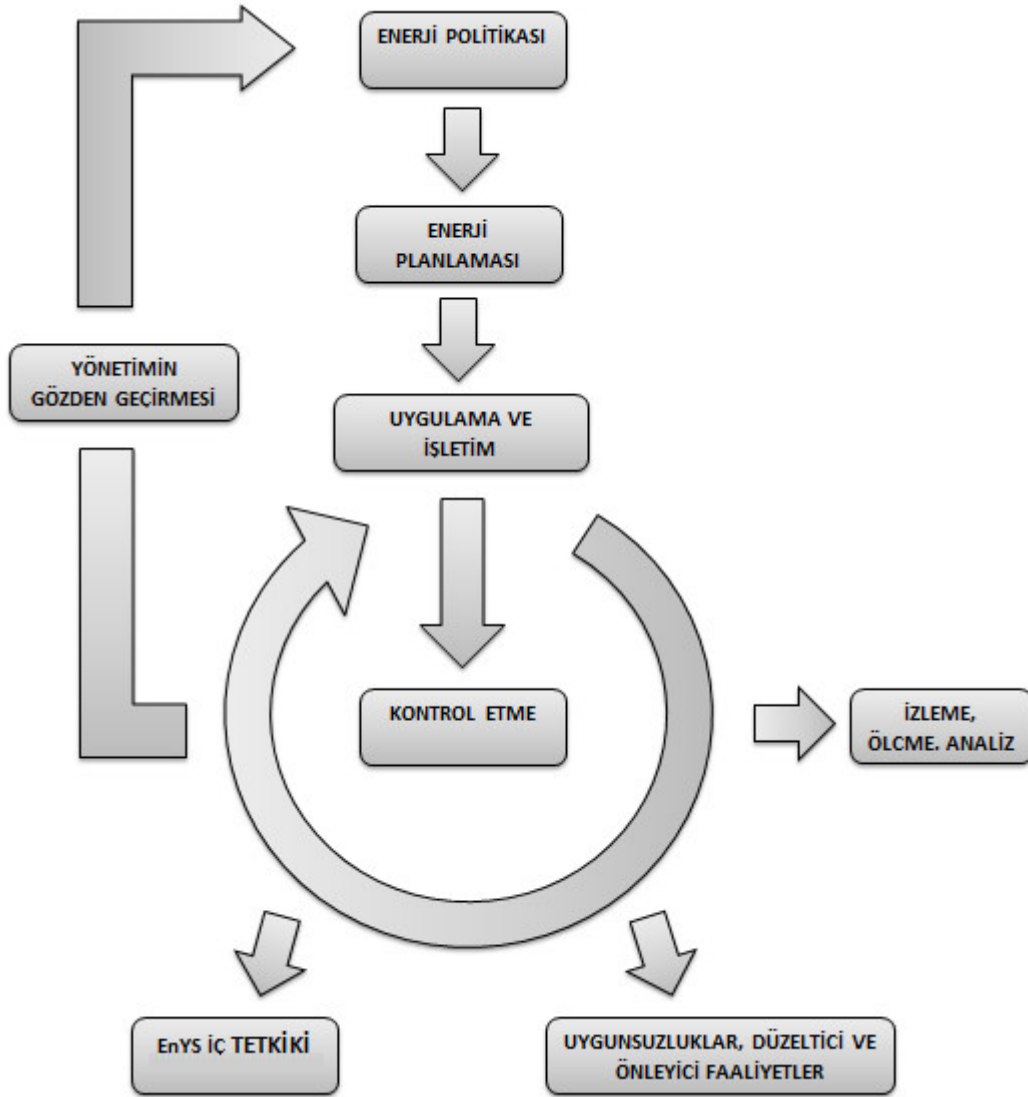
## 2.2. Enerji Yönetim Sistemleri

Enerji tasarruf ve enerji verimlilik uygulamalarının sistemsel ve düzenli bir şekilde endüstriyel işletmelere uygulanması işletmelerin enerji performansında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Enerji yönetim sistemlerinin kurulması sektör fark etmeksizin üst yönetim desteği ile tüm çalışanların tesisin enerji performansını sürekli geliştirmeye odaklanır.

Uluslararası en çok kabul edilen yönetim sistemi ISO 50001 Enerji Yönetim Sistem Standardıdır. Standart 2011 yılında uygulanmaya başlamış 2018 yılında ise yönetim sistemi versiyonu değiştirilerek özellikle Çevre, İş

Güvenliği ve Kalite Yönetim Sistemleri ile entegre edilmesi ve verimliliğinin artırılması kolaylaşmıştır. Tüm bu yönetim sistemlerinin amacı efektif bir yönetim anlayışı ortaya koymak ve tüm ürün ve üretim faaliyetlerinde kaynakları verimli kullanmaya odaklanır. Bu amaca ulaşmak için stratejiler, veri setleri, teknolojiler ve prosesler de yönetim sistemleri tarafından belirlenmektedir.

Yapılan çalışmalar kurumların enerji performansları ile yönetim sistemleri arasında doğru bir ilişki olduğunu göstermektedir. ISO 50001 EnYS diğer tüm sistemlere entegre edilebilir olsa dahi en yakın ilişki çevresel yönetim sistemleri ile kurulmaktadır. Çevresel yönetim sistemlerinde karbon emisyonlarına yönelik çalışmaların yapılması, yeşil ve verimli tedarik zinciri değerlerinin oluşturulması enerji yönetim sisteminin de odaklandığı konulardır. Çalışmalardan da görüldüğü üzere önemli enerji tüketimlerinde ana hedeflere ulaşılması kalite, sağlık&güvenlik, çevresel risk faktörlerinin de minimize edilmesine katkı sağlar. Şekil 2’de görüldüğü gibi ISO 50001 EnYS, çoğu yönetim sistemi gibi PUKO (Planla-Uygula-Kontrol-Önlem Al) metodolojisini kullanarak ilerlemektedir (Değirmen, 2015);



Şekil 2: ISO 50001 - PUKO ilişkisi

Kuruluşlar PUKO kapsamında öncelikle enerji verimliliği sağlamak amacıyla bir planlama yapmak durumundadır. Planlama genel olarak üst yönetim taahhüdünü içeren politika belirlemeyi ve bu taahhüde göre yıllık

hedefleri ile sorumluları belirlemeyi içerir. Uygulama aşaması, hazırlanan planlar doğrultusunda ihtiyacı olan minimum enerjinin satın alınması, çalışanların enerji bilinçlerinin artırılması ve tasarım/satın alma aşamasında kuruluşun enerji performansına olumlu katkı sağlayacak ürünlerin üretilmesini ve satın almasını hedefler.

Kuruluşlar kontrol aşamasında, iç denetim yöntemleri kullanılarak devreye alınan uygulamaların enerji performansına etkisini ölçerler. Burada amaç yapılan enerji tasarruf ve verimlilik uygulamalarının etkinliğinin ölçülmesidir. Kuruluşlar önlem ve yaygınlaştırma aşamasında, uygulanan ve enerji performansına olumlu katkı sağlayan uygulamaların sürekli iyileştirme metodolojisi ile yaygınlaştırmasını, olumsuz katkı sağlayan riskleri de proaktif yaklaşım metotlarıyla önlemeye çalışır. Bu sayede enerji performansına olumsuz katkı sağlayan durumlar minimize edilerek enerji performansına olumlu katkı sağlayan uygulamaların da kurum içinde yaygınlaşması amaçlanır.

Özetle ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin endüstriyel kuruluşlara en önemli katkıları, üst yönetim politika ve taahhüdünün sağlanması ve tüm liderlerin sürece doğrudan katılımı, enerji risklerinin ve fırsatlarının sürekli olarak belirlenmesi ve minimize edilmesi, istatistiksel metotlar yardımıyla enerji öngörülerinin yapılması ve bu öngörülerdeki sapmaların ve verimsizliklerin tespiti, ürünün tasarım ve satın alma aşamalarındaki enerji faaliyetlerinin değerlendirilmesi, bilinç ve farkındalık artırıcı çalışmalar ve sürekli iyileştirme çalışmaları kapsamında enerji kayıplarına odaklanarak temiz üretim yaklaşımı sağlamak olarak gösterilebilir. Ayrıca yapılan tüm bu sistematik faaliyetler düzenli yönetim gözden geçirmeler ile takip edilerek kaynak ve risklerin önündeki engellerin ortadan kaldırılması amaçlanır. Bu çalışma kapsamında elektrikli araç üreten bir hafif ticari & ticari araç firmasının ISO 50001 EnYS kurulduktan önceki ve sonraki enerji performansı değerlendirilecek ve enerji yönetim sistemlerinin kuruluşların enerji performansına katkısı değerlendirilecektir.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Tesisin Enerji Verileri ve Enerji Tüketim Dağılımı

Çalışma, ticari ve hafif ticari araç üreten (otobüs, minibüs ve midibüs) bir otomotiv tesisinde gerçekleştirilmiştir. Tesisin yıllık araç üretimi değişmekle birlikte çalışma yapılan dönem içerisinde yaklaşık 10.000-20.000 adet/yıl araç üretim kapasitesi mevcuttur.

Tesisin enerji tüketimi elektrik ve doğalgazdır. Bu sebeple tesisin son 3 yıllık verileri kWh cinsinden hesaplanmış ve oranlanmıştır. Ayrıca yine SET değerleri ISO 50001 öncesi ve sonrası şeklinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Verilerin raporlamasında SCADA ölçümleri baz alınacak olup SCADA için PowerStudio lisanslı yazılımı kullanılmıştır.

#### 3.2. Lineer Regresyon Analizi

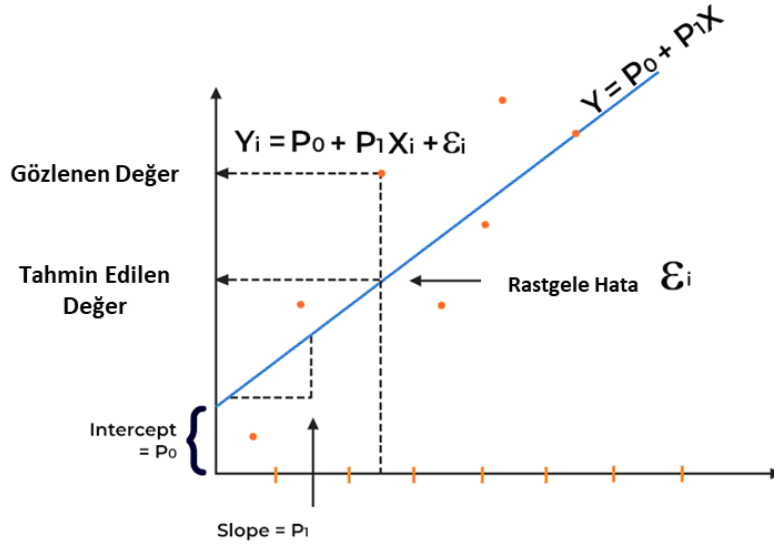
ISO 50001 ve ISO 50004 standartlarına göre, enerji performans indikatörlerini (EnPI) belirleyerek enerji tüketimlerini tahmin etmek ve öngörmek için birçok model kullanılmaktadır (ISO 50001; ISO 50004). Bu çalışma kapsamında EnPI oluşturmak ve analiz etmek için Lineer Regresyon Analizi kullanılmıştır.

Regresyon analizi için bağımlı değişken olarak araç sayısı, bağımsız değişken olarak ise enerji tüketimi kullanılmıştır (Eşitlik 1.)

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^x a_i x_i \quad (1)$$

Formüle göre  $Y$ , yanıt değişkenini,  $a_0, \dots, a_n$  denklemlerin katsayılarını,  $x_i$  tahmin değişkenlerini ve  $i$  ise veri sayısını ifade etmektedir.

Enerji yönetiminde regresyon analizi araç üretimi göz önünde bulundurulduğunda üretime bağlı olan (değişken) ve bağlı olmayan (sabit) enerji tüketimini analiz etmek için kullanılmaktadır (Şekil 3). Bu şekilde görüleceği üzere iyi bir yönetim sisteminin hedefi üretim olmadığı zaman enerji tüketimini sıfıra götürmektir ( $C_0=0$ ).



Şekil 3: Enerji Performansı İçin Kullanılan Hedef Regresyon Grafiği (WCM Energy Book of Knowledge)

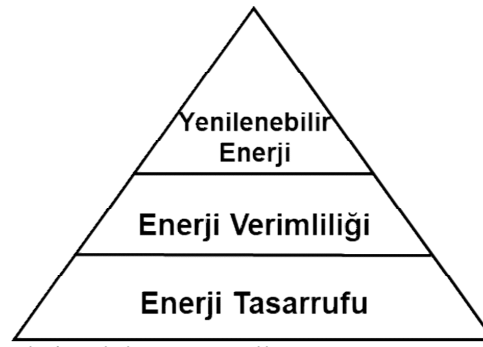
### 3.3. Önceliklendirme Metodu (Kayıp Analizi)

Çalışma yapılacak fabrikaya yönetim sistemlerinin kurulması ile birlikte kendi dinamiklerinden oluşturarak kurduğu kayıp analiz metodolojisi kullanılmıştır. İsrاف ve kayıp analiz sistemi oluşturulurken yönetim sistemlerinde dikkate alınan 8 israf (fazla üretmek, beklemek, taşıma, gereksiz işlem, stok, gereksiz hareketler, tamirler ve değerleri fikirleri dikkate almamak) dikkate alınmış ve enerji tüketimleri bu israf türleri ile ilişkilendirilerek alt kodlara ayrılmıştır (Yavas vd., 2022). Üretim aşamasında israf ve kayıp olarak belirlenmiş enerji alt kodları ise;

- Gereksiz tüketim kaynaklı kayıplar,
- Aşırı tüketim kaynaklı kayıplar,
- Optimizasyon eksikliği kayıplar,
- Geri kazanım eksikliği kayıplar,
- İletim/Dağıtım/Dönüşüm kayıpları,
- Yenilenebilir Enerji kayıplar kodlarından oluşmaktadır.

Enerji kayıp sisteminin mantığı belirlenen alt kodlarda SCADA ve çalışan bilincinin artırılmasıyla oluşturulan bir kayıp toplama sistemi kurmak ve enerji kayıplarını yok etmektir. Enerji kayıplarını önceliklendirmek için önemli bir sistem olan kayıp analizi mobil internet tabanlı bir sistem üzerinden takip edilmiştir. Ayrıca kayıp önceliklendirmesinin yanı sıra enerji yönetim sistemleri projeleri de öncelik sıralandırmasına göre enerji tasarrufu projeleri, enerji verimliliği projeleri ve yenilenebilir enerji olarak sınıflandırılmaktadır (Bkz. Şekil 3). Şirketler bu yöntem sayesinde minimum enerji tüketimine odaklanırlar.





Şekil 4: Minimum Enerji Kullanım Yöntemleri

Kayıp analizinde amaç kayıpları önceliklendirmektir. Kayıpların doğru tespiti önceliklendirmenin doğru yapılması için kritiktir. Önceliklendirme sırasına göre enerji verimliliği ve enerji tasarruf projeleri gerçekleştirilerek israf ve kayıp metodolojisindeki kayıpların iyileştirilmesi sağlanır. Alt kayıpların belirlenmesi için yöntem baktığımızda;

Gereksiz Tüketim Kaynaklı Kayıplar, üretim olmadığı zaman tesisin enerji tüketen noktalarıdır. İstatistiksel metoda göre  $R2 = 0$  olması temel hedef olduğundan gereksiz tüketim kaynaklı kayıpların analizi ve enerji tüketimlerinin sıfır olması sistem verimliliği açısından önemlidir.

Aşırı Tüketim Kaynaklı Kayıplar, eksik bilgi sonucu yanlış şartlarda çalıştırılan ekipmanlardan kaynaklanan kayıplardır. Yanlış kurulum ayarları, yanlış basınç set değerleri bu kayıplara sebep olmaktadır.

Optimizasyon Eksikliği Kayıplar, ihtiyacı olan enerjiden fazlasını harcayan cihaz, ekipman ve/veya proseslerin yol açtığı kayıplardır. Tasarım hataları, verim kayıpları bu kaybın ana sebebidir.

Geri Kazanım Eksikliği Kaynaklı Kayıplar, mevcut olan enerjinin kullanılmamasından kaynaklanır. Örneğin, kompresör ve TLN gibi sistemlerden atılan ısının kullanılmaması kaynaklı kayıplar sebep olur.

İletim/Dağıtım/Dönüşüm Kaynaklı Kayıplar, enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması veya başka bir enerji türüne dönüştürülmesi kaynaklı kayıplardır. Elektrik enerjisinden basınçlı hava üretimi sırasında oluşan kayıplar ve/veya su iletimi sırasında oluşan soğutma kaynaklı kayıplar örnek olarak verilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir enerji üretme potansiyeli olan tesislerin bu enerjiyi kullanmaması kaynaklı oluşan kayıplardır.

Kayıplar hesaplanırken kullanılacak enerji kayıp formülü, zaman, verimlilik ve güç olarak bakıldığında;

$$Enerji = Güç * \tau (Verimlilik) * Zaman \quad (2)$$

Kayıp enerji formülüne baktığımızda;

$$Kayıp = Enerji_{mevcut} - Enerji_{ideal} \quad (3)$$

Kayıp formülünü zaman, verimlilik ve güç olarak ele aldığımızda ise kullandığımız kayıp formülü;

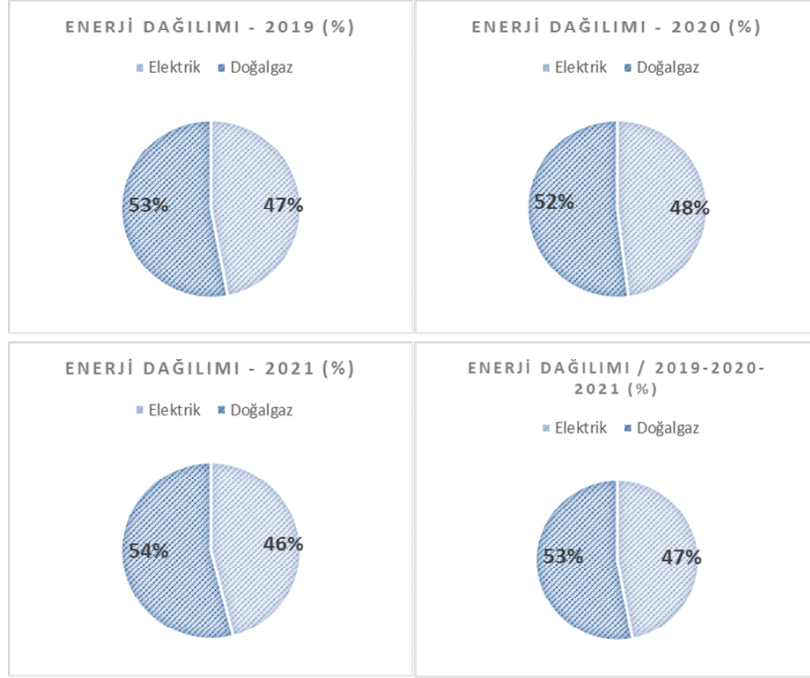
$$Kayıp = [Güç_s - Güç_i] * [\tau_s - \tau_i] * [Zaman_s - Zaman_i] \quad (4)$$

Formülü yardımıyla teorik olarak hesaplanabilir (WCM Energy Book of Knowledge, 2018).

## 4. BULGULAR

### 4.1. Enerji Tüketim Analizleri

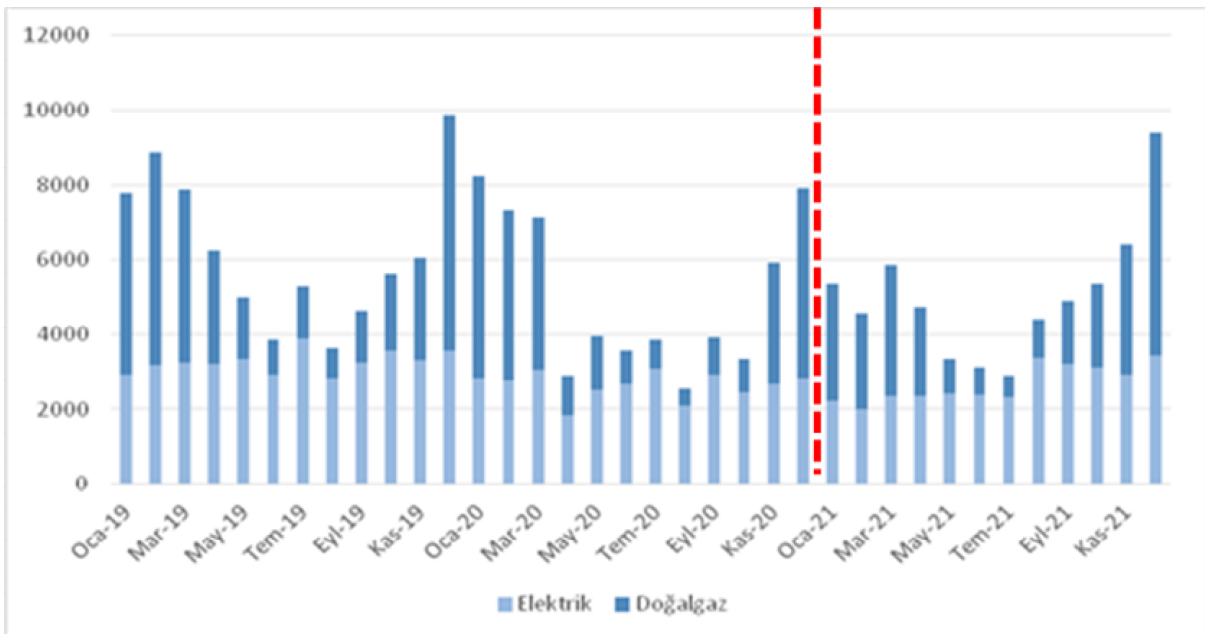
Kuruluş, 2021 yılının başından itibaren ISO 50001 EnYS kurmuş ve enerji performansını sistematik bir şekilde takip etmeye başlamıştır. Kuruluşun son 3 yıllık enerji dağılım oranları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Tesisin Son 3 Yıllık Enerji Tüketim Dağılımı

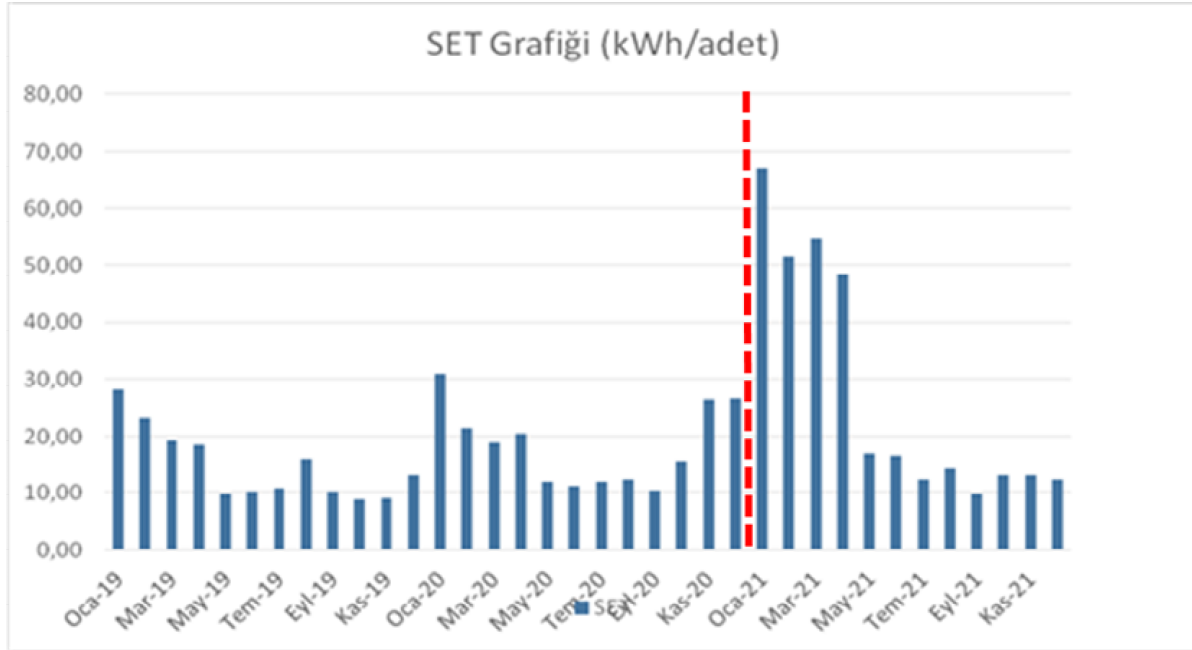
Tesisin son 3 yıllık enerji tüketimi incelendiğinde ISO 50001 Yönetim Sisteminin kurulmasının en azından 1 yıllık süreçte enerji dağılımına her hangi bir etki oluşturmadığını göstermektedir.

Tesisin toplam yıl bazında toplam enerji tüketimleri tesisin yasal mevzuat sınırının belirlenmesi ve yönetim sistemleri kapsamının seçilmesi açısından önemlidir (Bkz. Şekil 6). Ancak toplam enerji tüketimleri tesisin yıllık enerji performansı açısından her zaman doğru performansı göstermeyebilir. Bu sebeple çalışma kapsamında tesisin enerji tüketimi ile birlikte SET değerleri de gösterilmiştir (Bkz. Şekil 7).



Şekil 6: Tesisin Son 3 Yıllık Aylık Enerji Tüketimleri

Enerji tüketim değerleri incelendiğinde tesisin enerji tüketimlerinde genel olarak az da olsa sürekli bir azalma söz konusudur (2019-2021 yılları arası yaklaşık %19). Ancak bu azalışı SET grafiklerini incelemeden enerji yönetim sisteminin başarısına bağlamak mümkün değildir. Tesisin SET değeri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7: Tesisin Son 3 Yıllık Aylık SET Değerleri

Tesisin SET grafiği incelendiğinde SET değerlerinde düzenli bir azalış olduğu görülmektedir. İlk aylardaki yüksek sonuçlar ise hava sıcaklığı kaynaklı doğalgaz tüketimi artışları ve ilk 3 ay araç üretiminin oldukça düşük olması gösterilebilir. Hava sıcaklığı ve üretim azlığı sebeplerin enerji tüketimine etkisi regresyon analizi sonucu daha net anlaşılacaktır.

#### 4.2. Kayıp Analizi Yardımıyla Projelerin Tanımlanması

Çalışma kapsamında kuruluşun kayıp yapısı incelendiğinde enerji tüketimi kayıpları en yüksek maliyetli 10 kayıp arasında yer alarak öncelikle azaltılması gereken kayıplar arasına girmiştir. Enerji tüketim kayıpları ISO 50001 EnYS Önemli Enerji Kullanımları olarak ve Enerji Tüketim Yoğunluğu olarak değerlendirildiğinde öncelik olarak Boyahane birimine odaklanması gerektiği görülmüştür (Bkz. Tablo 1.).

Tablo 1: Enerji Kayıplarının Birimler Bazlı Kırılımı

Birimler	Enerji Kayıp (%)
Boyahane	34
Montaj - O.	21
Montaj - T.	16
Montaj - 3.	15
GM	6
Kaynak	4
Kaynak - O.	4

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere önceliklendirilmesi gereken birimi boyahane birimidir. Boyahane birimi 6 alt kayıp türünde değerlendirildiğinde ve kayıp oranları açısından incelendiğinde en yüksek kaybın ‘Gereksiz Tüketim Kaynaklı’ kayıpların olduğu görülmüştür.

**Tablo 2: Enerji Kayıplarının Alt Kayıp Türlerine Göre Oranı**

<i>Kayıp Türleri</i>	<i>Enerji Kayıp (%)</i>
Gereksiz Tüketim	36
Aşırı Tüketim	15
Optimizasyon Eksikliği	12
Geri kazanım eksikliği	20
İletim/Dağıtım	17
Yenilenebilir Enerji	-

Yukarıdaki Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde enerji projelerinin boyahane biriminden başlayarak Gereksiz tüketimin önüne geçilerek azaltılması hedeflenmiştir. Önceliklendirme matrisine göre yıl içerisinde boyahane biriminden çıkan tüm verimlilik projelerinin değerlendirilmesi ve öncelik sırasına göre tamamlanması planlanmıştır.

Otomotiv sektörü enerji tasarruf potansiyelleri kayıp analizleri, SCADA ve enerji etüt ölçümleri ile belirlenmiştir. Enerji potansiyellerine bakıldığında pompa analizleri, kazan analizleri, invertör uygulamaları, yalıtım sistemleri, chiller analizleri ve atık ısı potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda projelerin gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir.

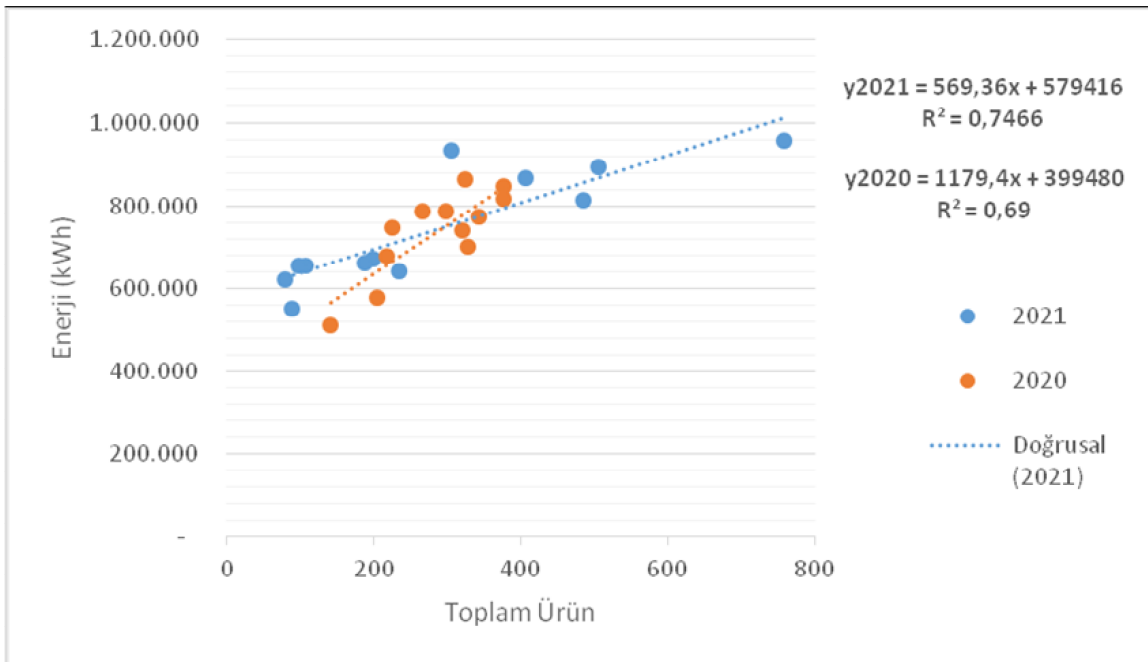
Gereksiz tüketim kaynaklı çalışmalara bakıldığında üretim kapılarının açık bırakılması, mesai bitiminde çalışması gereken aydınlatmalar ve diğer ekipmanlar için iyileştirme prosesleri değerlendirilmiştir. Kataforez tesisinde çalışan pompa ve ekipmanların invertör ilave edilerek 300.000 kWh/yıl enerji tasarrufu ve yine güvenlik amacıyla çalışması gereken aydınlatmaların iyileştirilmesi ile de yıllık 138.000 kWh enerji tasarrufu sağlanacağı öngörülmektedir.

Kayıp çalışmalarında bir diğer önceliğe bakıldığında (Aşırı Tüketim - %15) sirkülasyon pompa&motor grubunun IE2 (enerji verimliliği sınıfı düşük) sınıfı olduğu tespit edilmiş ve pompa&motor grubu IE 4 sınıfı pompa&motor grubu ile revize edilmesiyle 100.000 kWh/yıl bir tasarruf potansiyeli ortaya çıkmıştır. Kayıp çalışmalarında ilk önceliğe bakıldığında (Gereksiz Tüketim %36), üretim dışı çalışması gereken sirkülasyon pompalarına invertör takılmasıyla yıllık yaklaşık 350.000 kWh enerji potansiyeli sağlanabilir. Kayıp çalışmalarında Geri Kazanım kaynaklı çalışmalara bakıldığında Atık Isıdan elde edilen enerjinin boyahane birimine geri kazanımı ile boyahane birimine sağlanan enerjinin bir kısmı (yaklaşık %3'ü) geri kazanılmıştır.

Yukarıdaki kayıp analizi sistemi ve yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere kayıp analizi sisteminin oluşturularak ISO 50001 EnYS entegrasyonu sağlanmıştır. Kayıp analizi PUKO metodunun Plan metoduna entegre edilmiş ve projelerin UKO metotları ile sırasıyla faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, sonuçların kontrolü ve sonuçların standartlaştırılarak benzer ekipman ve istasyonlara yaygınlaştırılması sağlanmıştır. Kayıp analizi ve ISO 50001 faaliyetlerinin kuruluşun enerji performansına etkileri 4.3 Lineer Regresyon Analizi bölümünde detaylandırılmıştır.

#### **4.3. Lineer Regresyon Analizi**

Tesisin enerji performansı göstergeleri bize enerji tüketimi ile ürün arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tesisin üretim ile enerji tüketimi arasındaki enerjii belirlemek ve ISO 50001 Enerji Yönetim sisteminin etkisini görmek için Enerji Performans göstergeleri hazırlanmıştır (Bkz. Şekil 8).



**Şekil 8: Tesisin Enerji Öngörüsü İçin Kurulmuş Model**

Tesisin enerji performans grafiğine bakıldığında enerji performansında yaklaşık %5'lik bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Ayrıca ISO 50001 EnYS'nin kurulması ile birlikte aynı araç sayısının enerji tüketiminde yaklaşık %28'lik bir iyileşme elde edileceği öngörülmektedir (1.000 adet araç için öngörülmüştür).

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında önerilen ISO 50001 ve Enerji Performans çalışması kuruluşların enerji performansını geliştirmek için faydalı bir araç olarak görülmüştür. Bu öngörülmesi sadece enerji tüketimini azaltmayı değil enerji tüketimi ile tüm değişkenlerin ilişkisini de ortaya koymaktadır. Tüm bağımsız değişkenleri de sisteme dahil ederek enerji öngörüsü yapılması enerji yönetiminin daha esnek yapılmasını sağlayacaktır. Önerilen model, otomotiv üretim fabrikasında geriye yönelik gerçek üretim ve enerji tüketimi değerlerinden modellendiği için yüksek doğrulukta tahmin sağlar. Sonuç olarak önerilen model  $R^2$  seviyesinde istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

Kuruluşlarda ISO 50001 EnYS uygulanması sistematik bir şekilde enerji tasarrufu ve enerji verimlilik uygulamaları sağlayarak kuruluşların enerji tüketiminin düzenli olarak azaltılmasını sağlar. Enerji kayıpları toplam enerji tüketiminin minimum %50 oranına ulaştıktan sonra yenilenebilir enerji tesisi çalışmalarına odaklanılması önerilir. Bu verimlilik iyileştirmeleri, enerji birim maliyetlerinde son yıllarda %200'e varan artışlar söz konusu olduğu düşünülürse önemli bir maliyet kazancı olarak yansımaktadır.

ISO 50001 EnYS diğer çevresel yönetim sistem standartlarıyla birlikte uygulandığında kuruluşların sürdürülebilirlik yönetimlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Enerji yönetimi karbon emisyonlarını doğrudan bir ilişki ile azalttığından küresel ölçekte iklim değişikliğinin sağlanmasına destek olmaktadır. Özellikle enerji yönetim sistemlerinin önemli bir parçası olan yenilenebilir enerji tesisleri kuruluşları karbon sıfıra götüren en önemli projelerin başında gelmektedir. Son yıllarda ülkemizin de etkileyeceği önemli bir AB mevzuatı olan Green Deal direktiflerine uyum konusunda firmalar hızlıca enerji yönetim sistemlerini kurmak için gerekli çalışmalarını başlatmalıdırlar. Bu çalışma kapsamında enerji yönetim sistemi sürdürülebilirlik yönetimi ilişkisine değinilmemiş olup bu konu ayrı bir çalışma ile incelenmelidir.

ISO 50001 EnYS'lerinin tesislerin düzenli enerji verimliliği sağlamanın yanı sıra bir diğer önemli avantajı da Verimlilik Arttırıcı Projeler (VAP) gibi devlet desteklerinden yararlanma avantajı sağlamasıdır. ISO 50001 EnYS sahip kuruluşlar gerekli diğer şartları da sağladıktan itibaren VAP destekleri ile enerji yatırımlarından %30 hibe almaya hak kazanarak maliyet avantajı sağlayabilmektedir ve enerji verimlilik projelerini fizibilitesini olumlu hale getirebilmektedir.

ISO 50001 EnYS tüm bu olumlu etkileri fark edilmiş olacak ki Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 25.01.2020 tarihinde yayınlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Verimli Kullanılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik kapsamında yıllık enerji tüketimleri 1000 TEP ve üzeri olan fabrikalar 2023 yılı sonuna kadar ISO 50001 EnYS kurulumu zorunlu bırakılmıştır.

## ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

## DESTEK VE TEŞEKKÜR BEYANI

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## KAYNAKÇA

- Akbaş, B., Durmuş, K. A. Y. A., & Eyidoğan, M. (2018). Bir Otomobil Montaj Fabrikasının Enerji Tüketim Analizi ve Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 85-100.
- António da Silva Gonçalves, V., & Mil-Homens dos Santos, F., J. (2019). Energy management system ISO 50001:2011 and energy management for sustainable development. *Energy Policy*, 133(2019), 110868.
- Chan Oh, S., & Hildreth, A., J. (2014). Estimating the technical improvement of energy efficiency in the automotive industry-stochastic and deterministic frontier benchmarking approaches. *Energies*, 7(9), 6196-6222.
- Degirmen, M. (2015). Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği ve enerji verimliliği optimizasyonunda altı sigma metodolojisinin kullanılması (Doktora Tezi), Ulusal Tez Veri Merkezi, 417610.
- Giampieri, A., Ling-Chin, J., Taylor, W., Smallbone, A., & Roskilly, A.P. (2018). Moving towards low-carbon manufacturing in the UK automotive industry. *Energy Procedia*, 158, 3381-3386.
- Hardcastle, A., & Waterman-Hoey, S. (2009). Energy Efficiency Industry Trends and Workforce Development in Washington State. *Washington State University*, 9,10, 36-42.
- Heras - Saizarbitoria, I., & Boiral, O. (2013). ISO 9001 and ISO 14001: towards a research agenda on management system standards. *International Journal of Management Reviews*, 15(1), 47-65.
- ISO 50001 Energy Managemnt System Standarts (2011). Türk Standartları Enstitüsü.
- ISO 50004 Enerji yönetim sistemleri (2015). Bir enerji yönetim sisteminin uygulanması, sürdürülmesi ve iyileştirilmesi için klavuz bilgiler. Türk Standartları Enstitüsü.
- Jamila, E., & Abdelmjidb, S. (2014). Physical modeling of a hybrid wind turbine-solar panel system using simscape. *International Journal of Engineering-Transactions B: Applications*, 27(11), 1767-1776.
- Kılıç, F., Eyidoğan, M., & Sapmaz, S. (2018). Bir otomobil işletmesinde enerji verimliliği arttırıcı çözümlerin irdelenmesi. *Gazi Üniversitesi Dergisi*, 6(1), 149-162.
- Marimon, F., & Casadesús, M. (2017). Reasons to adopt ISO 50001 energy management system. *Sustainability*, 9(10), 1740.
- Marimon, F., Alonso-Almeida, M., Rodríguez, M., & Alejandro, K. (2012). The worldwide diffusion of the global reporting initiative: What is the point? *J. Clean. Prod.* 33, 132-144.

- McKane, A., Therkelsen, P., Scodel, A., Rao, P., Aghajanzadeh, A., Hirzel, S., ... & O'Sullivan, J. (2017). Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. *Energy policy*, 107, 278-288.
- Ochoa V.,G., Rodriguez-Rodriguez, K., Torregroze-Matos, G., Acevedo-Penalozza, C., & Duarte-Forero, J.. (2020). Implementation of the ISO 50001 standart to sustainable energy and economic saving industrial sector. *Scienta et Technica*, 25, 02.
- Pelser, W. A., Vosloo, J. C., & Mathews, M. J. (2018). Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant. *Journal of Cleaner Production*, 198, 642-653.
- Prasetya, B., Wahono, D. R., Dewantoro, A., & Anggundari, W. C. (2021, November). The role of Energy Management System based on ISO 50001 for Energy-Cost Saving and Reduction of CO2-Emission: A review of implementation, benefits, and challenges. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 926, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- Rivera, J. L., & Reyes-Carrillo, T. (2014). A framework for environmental and energy analysis of the automobile painting process. *Procedia Cirp*, 15, 171-175.
- WCM Book of Knowledge (2018). Standard of WCM.
- Yavaş, Ö., Savran, E., ErolNalbur, B., & Karpat, F. (2022). Energy and Carbon Loss Management in an Electric Bus Factory for Energy Sustainability. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 13.