ORTA ÖLÇEKLİ TESİSLERDE YAŞAM ÇEVRİMİ PERSPEKTİFİNE GÖRE ENERJİ YÖNETİMİ UYGULAMASI ARAŞTIRMASI

Faruk AÇMALI
151156201

DOKTORA TEZİ
İşletme Anabilim Dalı
İşletme Doktora Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Halefşan SÜMEN

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Eylül, 2022

ORTA ÖLÇEKLİ TESİSLERDE YAŞAM ÇEVRİMİ PERSPEKTİFİNE GÖRE ENERJİ YÖNETİMİ UYGULAMASI ARAŞTIRMASI

Faruk AÇMALI
151156201
ORCID: 0000-0003-0554-7331

DOKTORA TEZİ
İşletme Anabilim Dalı
İşletme Doktora Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Halefşan SÜMEN

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Eylül, 2022



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil Halefşan SÜMEN'e sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Çalışmalarım boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Murat BASKAK ve Dr. Öğr. Üyesi Bekir Murat BUKET hocalarıma ayrıca teşekkürü bir borç bilirim. Hazırladığımız değerlendirme formlarını içtenlikle cevaplayan meslektaşlarıma ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli eşime teşekkür ederim.

Faruk AÇMALI

Eylül, 2022

ÖZ

ORTA ÖLÇEKLİ TESİSLERDE YAŞAM ÇEVRİMİ PERSPEKTİFİNE GÖRE ENERJİ YÖNETİMİ UYGULAMASI ARAŞTIRMASI

Faruk Açmalı
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
İşletme Doktora Program Adı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Halefşan Sümen
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2022

Artan enerji maliyetleri ve küresel rekabet göz önüne alındığında, enerji yönetimi ve enerji verimliliği konusu eskisinden daha fazla endüstriyel tesislerin gündeminde yer almaktadır. Mevcut enerji yönetim sistemleri, yapıları gereği tümleşik bir enerji yönetimi bakış açısını sunmakta yeterli olamamaktadır. Yapılan bu çalışma ile yaşam çevrimi perspektifi ile enerji yönetimi konusu tesislerin kurulum aşamalarından önce kavramsal fazdan başlayarak tasarım, imalat, işletme, bakım ve kullanımdan kaldırma süreçlerinin tamamını kapsayacak şekilde ele alınmıştır.

Yaşam çevrimi bakış açısıyla enerji yönetimi konusunu ele alıyor olmak sürdürülebilir enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamakla birlikte çevresel etkilerin en az seviyeye indirilmesi, emisyon değerlerinin düşürülmesi, temiz enerji kaynaklarından enerji üretiminin teşvik edilerek, üretilen tüm enerji türlerinin etkin ve verimli kullanılmasını kolaylaştıracağı kanaatindeyiz. Yapılan çalışmada yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi uygulamasının nasıl yapıldığı konusu orta ölçekli endüstriyel tesisler için araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Enerji Yönetimi, Enerji Verimliliği, Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi.

ABSTRACT

ENERGY MANAGEMENT APPLICATION RESEARCH IN MEDIUM-SCALE FACILITIES ACCORDING TO THE LIFECYCLE PERSPECTIVE

Faruk Açmalı
PhD Thesis
Department of Business Administration
Business Administration Programme
Thesis Advisor: Assoc. Prof. Halil Halefşan Sümen
Maltepe University Graduate School, 2022

Considering the increasing energy costs and global competition, the issue of energy management and energy efficiency is on the agenda of industrial facilities more than before. Existing energy management systems, by their nature, are not sufficient to present an integrated energy management perspective. In this study, the life cycle perspective and the energy management issue are discussed in a way that covers the entire design, manufacturing, operation, maintenance and decommissioning processes, starting from the conceptual phase before the installation stages of the facilities.

We believe that considering energy management from a life-cycle perspective will contribute to the development of sustainable energy management systems, as well as minimizing environmental impacts, reducing greenhouse gas emissions, encouraging energy production from clean energy resources, and facilitating efficient use of all energy types produced.

In the study, how the energy management application is made according to the life cycle perspective has been investigated for medium-sized industrial facilities.

Keywords: Energy Management, Energy Efficiency, Life Cycle Assessment.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
TABLOLAR LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ x
KISALTMALAR xi
1. GİRİŞ 1
1.1 Problem 1
1.2 Amaç 5
1.3 Önem 6
1.4 Varsayımlar 6
1.5 Sınırlıklar 7
1.6 Tanımlar 7
2. YAŞAM ÇEVRİMİ PERSPEKTİFİNDE ENERJİ YÖNETİMİ 10
2.1 Orta Ölçekli İşletmeler 12
2.2 Endüstriyel Tesisler ve Sanayi İşletmeleri 12
2.3 Enerji Yönetim Standartları 13
2.4 Enerji Kaynakları 15
2.5 Temiz Enerji Kaynakları 15
2.6 Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi 21
2.7 Literatür Taraması 26

2.8 Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi İçin Takip Edilebilecek Uluslararası Standartlar 36
2.8.1 Kavramsal faz 36
2.8.2 Tasarım fazı 39
2.8.3 İmalat-İşletme fazı 44
2.8.4 Bakım fazı 49
2.8.5 Kullanımdan kaldırma fazı 53
3. YÖNTEM 56
3.1 Araştırma Modeli 56
3.2 Evren ve Örneklem 57
3.3 Veriler ve Toplanması 57
3.4 Verilerin Çözümlenmesi ve Yorumlanması 57
3.5 Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi Uygulama Modeli Önerisi 58
3.5.1 Kavramsal faz içerisinde ele alınan konular 60
3.5.2 Tasarım fazı içerisinde ele alınan konular 61
3.5.3 İmalat-İşletme fazı içerisinde ele alınan konular 64
3.5.4 Bakım fazı içerisinde ele alınan konular 69
3.5.5 Kullanımdan kaldırma fazı içerisinde ele alınan konular 71
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 72
4.1 Bulgular 72
4.2 Tartışma 79
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 82
5.1 Özet 82

5.2 Yargı 82
5.3 Öneriler 83
KAYNAKLAR 84
EK-1: Uzman Görüşü Değerlendirme Formu 98
Ek-2: Açık Uçlu Tesis Değerlendirme Formu 100
ÖZGEÇMİŞ 101

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi Uygulama Modeli Önerisi ……59

Tablo 2. Enerji Yönetiminden Sorumlu Birimlerin Sınıflandırılması …..…….72

Tablo 3. Tesislerde Takip Edilen Standart Türleri……..73

Tablo 4. Tesislerin Enerji-Çevre İlişkisini Ele Alma Yöntemleri……...……74

Tablo 5. Tesislerde Kullanılan Enerji Türleri…….. .75

Tablo 6. Tesislerde Tüketilen Aylık Enerji Miktarı (TEP)……...76

Tablo 7. Tesislerde Enerji Ölçme ve İzleme Sistemleri ve Yöntemleri……76

Tablo 8. Tesislerde Enerji Ölçme Periyodu Yöntemleri …….77

Tablo 9. Enerji Ölçüm Verilerini Saklama Yöntemleri ……...77

Tablo 10. Enerji Ölçüm Verilerini Takip Eden Departmanlar ……....78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yaşam Çevrimi Değerleme Aşamaları ……..……22

Şekil 2. Yaşam Çevrimi Etki Değerlendirme Aşamalarının Unsurları…….23

KISALTMALAR

ANSI : Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü

CLM : Yapılandırılabilir Yaşam Çevrimi Yönetimi

DA : Karar Analizi

EIEC : Elektrik Tesisatı Enerji Verimlilik Sınıfları

EnB : Enerji Temel Çizgileri

EnMS : Enerji Yönetim Sistemi

EnPI : Enerji Performans Göstergeleri

EU : Avrupa Birliği

GES : Güneş Enerjisi Santrali

GWP : Küresel Isınma Potansiyeli

HVAC : Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme

IEC : Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

IoT : Nesnelerin İnterneti

ISO : Uluslararası Standardizasyon Örgütü

KOBİ : Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler

KOSGEB : Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı

LCA : Yaşam Çevrimi Değerlendirme

LCC : Yaşam Çevrimi Maliyeti

LCE **:** Yaşam Çevrimi Mühendisliği

LCM **:** Yaşam Çevrimi Yönetimi

LPG **:** Likit Petrol Gazı

MEES **:** Minimum Enerji Standardı

PLM **:** Ürün Yaşam Çevrimi Yönetimi

PrES **:** Öngörülen Enerji Tasarrufu

PV **:** Fotovoltaik

PV/T **:** Fotovoltaik Termal

RES **:** Rüzgâr Enerjisi Santrali

SCADA **:** Merkezi Denetim ve Veri Toplama

SEB **:** Sıfır Enerjili Binalar

TEP **:** Ton Eşdeğer Petrol

TSE **:** Türk Standartları Enstitüsü

TUİK **:** Türkiye İstatistik Kurumu

YTZY **:** Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

1. GİRİŞ

Enerji kullanım miktarı, her ne kadar ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin mukayese edilebilmesi için bir araç olarak kullanılmakta olsa da Paris İklim Antlaşması çerçevesinde emisyon değerlerinin düşürülmesi, fosil temelli yakıt kaynaklarının kullanımı azaltılarak, yenilenebilir enerji temelli yakıt kaynaklarının kullanımı teşvik edilmektedir. Fosil temelli kömür, petrol ve doğal gaz gibi kaynaklar enerji üretimi için ana unsurlardır. Teknolojik gelişimler, yatırım maliyetleri, çevre konusundaki hassasiyetler, kısıtlamalar ve yasal süreçler temiz enerji kaynaklarının kullanımı için dönüşüme etki eden faktörler olarak ön plana çıkmaktadır.

Talep edilen enerji miktarını sürdürülebilir bir şekilde karşılamak, çevre etkilerini en az seviyeye indirmek, emisyon değerlerini düşürmek küresel ölçekte çaba gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarını artırmanın yanı sıra, üretilen tüm enerji türlerinin etkin ve verimli kullanılması da önemli bir konudur. Yapılan çalışmada bir sistemin veya tesisin enerji yönetimi konusu, ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı rehberliğinde, ISO 14040 Yaşam Çevrimi Değerlendirme Standardı ile ISO 15686-5: 2017-2018 Yaşam Çevrimi Maliyetinin beş temel aşaması olan kavramsal fazı, tasarım fazı, imalat ve işletme fazı, bakım fazı ve kullanımdan kaldırma fazını bir bütün olarak ele almıştır.

1.1 Problem

Enerji hem kullanıcısına hem de doğaya karşı yüksek maliyeti olan global ölçekte tüm kesimler için önemli olan bir konudur. Dünya enerji tüketiminde, son kırk yılda iki kattan fazla artış gerçekleşmiş olup 2040 yılına kadar %30'un üzerinde artış beklenmektedir. (International Organization for Standardization, 2018)

“Enerji Verimliliği”, yüksek enerji maliyetleri ve çevresel etkileri konularını gündeme getirmekte birlikte, enerji güvenliğinin arttırılması, rekabetin teşvik edilmesi ve kirletici emisyonların azaltılması gibi hedeflere ulaşmak için en etkili araçlardan birini temsil etmektedir. (Costantini, Crespi, & Paglialunga, 2018) Enerji verimli teknolojileri tesislerde kullanmak, enerji israfını azaltmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için mevcut süreçleri iyileştirmek “Enerji Yönetim Sistemine” sahip olmayı gerektirmektedir.

Enerji Yönetimi ise bir teknoloji değildir, enerjiyi yönetmek için bir sistemdir. (Szajdzicki, 2017)

Yaşam çevrimi maliyeti kavramı ilk yatırım tutarı, imalat-işletme harcamaları, bakım ve bakım içerisinde gerçekleştirilen yenileme harcamaları ile kullanımdan kaldırma süreçlerini içeren maliyetlerin toplamı olarak değerlendirilir. Kullanılan teknoloji yıkıcı inovasyonlar nedeniyle ekonomik ömürleri tükenmeden teknolojik ömürleri birden bitebilir çünkü yepyeni bir teknoloji çıkarsa eski teknolojilerin rekabet avantajları ortadan kalkar.

Enerji verimliliği düşük olan yatırımlar önemlidir çünkü enerji verimliliği açığının mevcudiyeti ve rakamsal büyüklüğü, mühendislik ve yatırım süreçlerini optimal seviyeden aşağıya düşüren, çeşitli davranışsal yanlılıkları içermektedir. Enerji verimliliği bağlamında, karar vericilerin mevcut önyargıları, işletme maliyetlerini göz önüne almaksızın, ön maliyetlere odaklanmalarına neden olmaktadır. Finansal okuryazarlık tüketicilerin, gelecekteki enerji maliyetlerinin azaltılmasının faydalarını sistematik olarak değerlendirebilmeleri açısından önemlidir. (Brent & B.Ward, 2018)

ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı, kuruluşların enerji kullanımını daha iyi yönetmeleri, enerji politikalarının geliştirilmesi ve uygulanması, enerji kullanımı için ulaşılabilir hedefler belirleme, bunlara ulaşmak ve ilerlemeyi ölçmek için eylem planları tasarlamak ile verimlilik artışına yardımcı olmak için kuruluşlara etkili bir çerçeve sunar. (International Organization for Standardization, 2018)

ISO 50001, sürekli iyileştirme için "Planla-Yap-Kontrol Et" sürecini takip eder. Herhangi bir kuruluşa başarılı bir şekilde uygulamak doğru kararların alınması adına doğru girdilere ihtiyaç duymakla birlikte dikkatli bir planlama sürecine, etkili bir yönetime ve ölçüm yapmaya ihtiyaç duyar. (Szajdzicki, 2017)

Enerji tasarrufu doğrudan gözlenemediği için, mühendislik hesaplamaları veya istatistiksel çıkarımlar kullanılarak tahmin edilmelidir. (Haeri, Perussi, & Stewart, 2018) Bu nedenle enerji tüketimini azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak için tesislerin ve makinelerin enerji tüketiminin tamamen şeffaf olması gerekmektedir. Doğru ve güvenilir ölçümler için sistematik enerji yönetimi buradaki anahtar unsurdur. (Javied, Bakakeu, Gessinger, & Franke, 2018)

ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı uygulamasının başarılı olması üst yönetimin desteğine bağlıdır. Sorumluluğun devredildiği yöneticiler sadece bölümlerinin enerji tüketiminden sorumlu olmayıp, aynı zamanda bunun kontrol edilmesi için gerekli yetkiye de sahip olmaları, sonuçlardan da sorumlu olmaları temin edilmelidir. Böyle bir otorite olmadan, zaman, para ve diğer kaynaklar için kayıpların oluşması muhtemeldir. (Szajdzicki, 2017) Enerji verimliliğine sahip bir yönetim kültürünün benimsenmesi, tasarruf potansiyelinin belirlenmesi, üretim süreçlerinin gözden geçirilerek verimli hale getirilmesi, şirketin rekabet gücüne etki ederek sürekli iyileştirilmesine katkıda bulunacağına inanan bir kısım sanayi şirketleri sermaye yatırımı olmaksızın önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilirler. (González, Castrillón, & Quispe, 2012)

Türkiye'de Enerji Verimliliğine Yönelik Politika ve Stratejiler, enerji verimliliği politikaları ve önlemleri 2 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe konan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'na dayanmaktadır. Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketimi kaynak bazında incelendiğinde; petrol, kömür, doğalgaz ve elektrik kaynaklarının ön plana çıktığı görülmektedir. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Avrupa Parlamentosunun ve Konseyinin 25 Ekim 2012'de enerji verimliliği üzerine yayımladığı 2012/27/AB sayılı Direktifine uyum sağlanması açısından da önemli bir belgedir. Ulusal

Enerji Verimliliği Eylem Planı ile 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 Mtep enerji tasarrufu sağlanması öngörülmektedir. (Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu, 2018)

Tesis tasarımlarında çevresel etkiler ve enerji tüketimi, ISO 14040 Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi yaklaşımını kullanışlı bir araç olarak karşımıza çıkarmaktadır. (Catrini, Cellura, Guarino, Panno, & Piacentino, 2018) Erken tasarım aşamalarında yapılan seçimler, operasyonel enerji tüketimi açısından sürdürülebilirlik profilleri oluşturma üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik ve sosyal kaygıların ön planda olduğu, sürdürülebilir bir ürün için yaşam çevrimi oluşturmak ve atıkları en aza indirerek çevresel etkileri değerlendirmek ön plana çıkmaktadır. (Collina, Linnetb, & Sechera, 2018)

ISO 14040 Yaşam Çevrimi Değerlendirme Standardı, tasarım, imalat, işletme, bakım ve kullanımdan kaldırma süreçlerini içerir. (Dwaikata & Alib, 2018) Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi, endüstriyel süreçlerden enerji sistemlerinin analizine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilecek bir yaklaşımdır. Bu kavram basit bir örnekle açıklanabilir. Bir soğutucuda kullanılacak gazın seçiminde geleneksel durumda enerji verimliliği yüksek olacak bir gazın tercih edilmesi söz konusu iken, yaşam çevrimi değerlendirmesinde bu bir adım öteye taşınarak kullanılacak gazın küresel ısınmaya etkisi sızıntı olması durumunda çevreye vereceği zarar, potansiyel riskler ve doğal kaynaklarda oluşturduğu tüketim göz önüne alınmaktadır. (Catrini, Cellura, Guarino, Panno, & Piacentino, 2018) Fukuşima Kazası, bütün dünyada nükleer enerji santrallerinin güvenlik ve güvenilirliklerinin tartışılmasına neden olmuş, başta Avrupa Birliği olmak üzere gelişmiş ülkelerde stres testleri yapılmış ve hatta Avrupa'nın en gelişmiş sanayi altyapısına ve teknolojik birikimine sahip ülkesi olan Almanya'da nükleer enerjiden çıkış kararının alınmasına yol açmıştır. (Enerji Güvenliği ve Verimliliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2014)

Çevre konusunda gelişen hassasiyete rağmen kaynakların ve enerjinin sürdürülebilir bir şekilde kullanımı endüstriyel tesislerde enerji yönetimi ve enerji verimliliği konuları bütünleşik bir bakış açısı ile tam olarak ele alınamamaktadır. Birçok tesiste enerji verimliliği konusu imalat aşamasında gündeme gelmektedir. Bu dönemde yapılan çalışmalar gerçek enerji verimliliği potansiyelinin ortaya çıkarılabilmesi için yeterli olamamaktadır. Yaşam çevrimi perspektifi ile daha tesisler yapılmadan, kavramsal fazdan başlayarak, tasarım fazı, imalat ve işletme fazı, bakım fazı ile kullanımdan kaldırma fazlarında enerji yönetimi konusunun ele alınması bütünsel bir bakış açısı elde edilmesini sağlayarak, enerji verimliliği konusunda gerçek potansiyelin ortaya çıkmasını sağlayacak bir konuma sahiptir.

1.2 Amaç

Yapılan çalışmanın temel amacı tesislerin yaşam çevrimi evrelerine göre enerji yönetimi yapma kültürünü geliştirmeye katkı sağlamaktır. Birçok endüstriyel tesiste, enerji verimliliği konusunun imalat süreçlerinde ele alınıyor olması enerji verimliliği konusunun yeteri kadar ele alınmadığını göstermektedir. Bu nedenle yaşam çevrimi boyunca, etkin enerji yönetimi ve enerji verimliliği sağlanmalıdır. Tesis, henüz kuruluş aşamasında iken yani kavramsal fazda, enerji kullanımını en az düzeyde tutacak sistemler ile kurgulanmalıdır. Tasarım fazında süreçlerin iyi belirlenmesi, gereksiz iş tekrarı yapılmaması ve enerji verimliliği en üst düzeyde tutulmalıdır. İmalat-İşletme fazında enerji kullanım prosedürlerinin geliştirilmesi, bakım fazında planlı ve kestirimci bakım uygulamaları ile enerji kayıplarının azaltılması gibi yöntemler kullanılmalıdır. Kullanımdan kaldırma fazında kullanımdan kaldırmadan kaynaklı, üretim yapılamayacak oluşu nedeni ile ortaya çıkan maliyetleri ve ayrıştırma maliyetlerini azaltmayı içeren yaklaşımlar benimsenmelidir. Tüm bu yaşam çevrimi değerleme evrelerini içine alacak şekilde enerji yönetimi konusunu, genel bir bakış açısı ile ele alabilmek için tanımlanmış

uluslararası standartları da dikkate alarak bir çerçeve ortaya çıkarıp, sürdürülebilir enerji yönetim sisteminin ve politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

1.3 Önem

Enerji verimliliği konusu her bir bireyin kendi yaşam alanından başlayarak tüm toplumu içine alan önemli bir konudur. Toplumsal farkındalık sağlayan çalışmalar sürdürülebilir kaynak kullanımına katkı sağlayacaktır.

İklim değişikliği ile mücadele derneği olan Climate Works Vakfı'nın yaptığı bir çalışmada enerji verimliliğini artırmak, sanayi ve yapı sektöründeki karbon tüketimlerini azaltmak için daha fazla çaba sarfetmek suretiyle halk sağlığı harcamalarında 3,2 trilyon dolar tasarruf elde etmenin mümkün olabileceği belirtilmektedir. (ISO15686-5:2017, 2018)

Türkiye'de 2016 yılında tüketilen 231,204 GWh enerjinin %46'sı sanayi kuruluşlarında harcanmıştır. (TUİK, 2016) Yasal mevzuatlarla ve uluslararası standartlarla çevrelenmiş olan bu sanayi kuruluşlarında yetkin ve nitelikli işgücü istihdamı yapılmaktadır. Bu tesislerde yaşam çevrimi bakış açısı ile geliştirilecek enerji yönetim sistemleri, ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri dengeleyebilmek için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir.

1.4 Varsayımlar

Yapılacak olan çalışmada temas kurulacak endüstriyel tesislerin sürdürülebilir enerji yönetimi ve politikaları geliştirmeye açık bir bakış açısına sahip oldukları varsayılmıştır. Tesislerinde enerji verimliliği konularında yatırım yapma arzusunda oldukları varsayılmıştır. Enerji ve çevre konularında mevcut bulunan yasal düzenlemeleri yerine getirdikleri varsayılmıştır.

1.5 Sınırlıklar

Ülkemizde 2016 yılında tüketilen net elektrik miktarı 231.204GWh olarak gerçekleşmiştir. Bu enerji tüketiminin %46,9'u sanayi tesislerinde kullanılmıştır. Meskenlerde, Ticari binalarda ve resmi dairelerde tüketilen enerjiden yaşam çevrimi perspektifinde elde edilebilecek enerji tasarrufları bu çalışma kapsamında yer almayacaktır.

Sanayi tesislerinde enerji tüketimleri 1000 TEP ve üzerinde olan tesislerde enerji yöneticisi bulunması yasal bir zorunluluktur. Çalışmada tesislerin enerji yöneticileri ile temas kurulacaktır. Enerji yöneticisi istihdam etmesi zorunlu olmayan tesislerde ise enerji yönetimi vazifesini yerine getiren işletme yöneticileri, bakım yöneticileri veya teknik personel ile temas kurulacaktır. Yapılacak olan çalışmada açık uçlu tesis değerlendirme formunda yer alan soruları cevaplamak üzere bu kişilerin verecekleri bilgiler temel alınacaktır.

1.6 Tanımlar

Enerji yönetimi: Enerji yönetimi hem çevresel hem de ekonomik gereklilikleri yerine getirmek için enerji kullanımının proaktif, organize ve sistematik yönetimi olarak tanımlanabilir.

Enerji verimliliği: Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Enerji yoğunluğu: Enerji tüketiminin gayri safi yurt içi hasılaya oranına enerji yoğunluğu adı verilir ve kep/2020$ birimi ile temsil edilir. 2018 yılında Türkiye'nin birincil enerji yoğunluğu 0,12 kep/2020$ olarak gerçekleşmiştir. OECD ülkeleri

ortalaması 0.11 kep/2020$, Avrupa Birliği ülkelerinin ortalaması ise 0,09 kep/2020$'dır. (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

Enerji performansı: Tesislerde yer alan sistemlerin, süreçlerin ve ekipmanların kullanım süreleri ve enerji tüketim değerlerine yönelik temel bir seviyeye göre ölçümlerin yapılması ve mukayese edilmesini içeren geniş bir kavramdır.

ISO 50001 Enerji yönetim sistemleri: Kullanım rehberliği ile ilgili gereklilikler, kuruluşların enerji yönetim sistemini devreye sokmalarına ve enerjilerini daha verimli ve etkin bir şekilde kullanmalarına yardımcı olan stratejik bir araçtır.

Birincil enerji kaynakları: Petrol, doğalgaz, kömür, odun gibi doğrudan tüketilebilen enerji kaynaklarıdır.

İkincil enerji kaynakları: Birincil kaynaklardan kullanılabilir formlara dönüştürülen elektrik, fuel oil, mazot gibi enerji tipleridir.

TEP (Ton Eşdeğer Petrol): Enerji kaynaklarının tek birim ile ifade edilmesini sağlayan ve 10 milyon Kcal karşılığı enerji birimidir. 1 TEP = 11.62 MWh elektrik enerjisine denk gelir.

ISO 14040 Yaşam çevrimi değerlemesi (LCA): Bir ürünün veya hizmetin yaşam çevrimi boyunca girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin bir derlemesi ve değerlendirmesidir.

Yaşam çevrimi yönetimi (LCM): Sürekli iyileştirmeyi hedefleyen işletmeler için sürdürülebilir performanslarını iyileştirmek için kullanılabilecek bir işletme yönetimi yaklaşımıdır.

Yapılandırılabilir yaşam çevrimi yönetimi (CLM): Bir ürünün yaşam çevrimi boyunca tüm olası yapılandırma seçeneklerini kapsar.

Yaşam çevrimi maliyeti (LCC): Ekonomik bir değerlendirme tekniğidir. Bir ticari dönem ve belirlenen bir analiz süreci boyunca her yatırım alternatifi ile ilişkili maliyet ve tasarrufları dikkate alarak farklı yatırım alternatiflerini değerlendirmek için kullanılır.

Karar analizi (DA): Risk ve belirsizlik durumlarında dış faktörlerin sonuçlara olan etkilerini analiz etmeye yarayan bir seçim yapma sürecidir.

2. YAŞAM ÇEVRİMİ PERSPEKTİFİNDE ENERJİ YÖNETİMİ

Sera gazı emülsiyonlarının neden olduğu ısı artışı ve iklim değişikliğine etkileri son yıllarda daha belirgin bir şekilde hissedilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde 2019 yılı için sera gazı emülsiyonlarının %29'u ulaştırma, %25'i elektrik, %23'ü endüstri, %13'ü ticari ve konut binaları, %10'u ise tarım sektörü kaynakladır. (Sources of Greenhouse Gas Emissions, 2021) Organize sanayi bölgelerinde ve endüstriyel tesislerde bulunması gereken artıma tesislerine ait verilerin tek bir merkezden takip edilebilmesi için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Sürekli İzleme Merkezi kurulmuş olup toplanan veriler bakanlığa ait web portalı üzerinde yayınlanmaktadır. Endüstriyel tesisler atıkları ile ilgili ölçüm verilerini bakanlığın belirlediği periyotlarda bu veri sistemlerine yüklemekle yükümlüdürler. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

Enerji optimizasyonu ve enerji tasarrufu, ikincil bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceği için iklim değişikliği ile mücadele, sera gazı emisyonlarının ve karbon ayak izinin düşürülmesi ve sürdürülebilir enerji kullanımının ortaya konulabilmesi için enerji optimizasyonu ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda enerjinin kullanım alanları, etkin ve verimli enerji kullanımı gibi kavramlar enerji yönetim sistemlerinin odak noktalarını oluşturmaktadır. Şirketler başarılı enerji yönetim sistemleri ve sermaye yatırımları ile %40'a varan enerji tasarrufu sağlayabilirler. (Gonzales)

Enerji Yönetim Sistemleri, genel yönetim sistemlerinin bir dalıdır. Tüm yönetim sistemleri gibi doğru girdilere ihtiyaç duyar. Bunlar olmadan sistem doğru çıktıları üretemez ve böylece doğru kararların alınmasını sağlayamaz. (Szajdzicki, 2017) Enerji yönetim sistemi rekabet gücünü artırmak ve ekonomik fayda sağlamak üzere enerji verimliliğini izleme, kontrol etme, iyileştirilme faaliyetlerinin bir arada uygulanması olarak tanımlanabilir. Enerji verimliliği, kestirici bakım çalışmaları ile makine ve ekipmanları nominal yüklerinde çalıştırılmasıyla, verimliliği düşük cihazların daha

verimli cihazlar ile değiştirilmesi ile enerji verimliliği artışı sağlanabilir. Cihazların ve sistemlerin amacına uygun olarak kullanılması, çalıştırma ve durma prosedürlerinin takip edilmesi, yük alma ve yük atma süreçleri, enerji talepleri, enerji akışları, saatlik enerji tüketimleri, üretim planlama, yakıt tipi ve seviyeleri, teslim edilebilir nihai enerji miktarı gibi konular enerji yönetimi konuları içerisinde ele alınabilir. Bazı küçük ve orta ölçekli işletmeler bütünleşik enerji yönetim sistemlerini kullanmaktan ziyade daha düşük maliyetli ve yeterli olmayan uygulamalar kullanmayı tercih edebilirler. Enerji optimizasyonu, kuruluşların enerji tüketimini ve girdi maliyetlerini azaltmak, gelirlerini artırmak ve şirket imajını güçlendirmek için fayda sağlamaktadır. Endüstriyel üretim süreçlerinde enerji maliyeti toplam maliyetlerin %5-%20'lik kısmına karşılık gelen önemli bir gider kalemidir. (Parekh, Kurian, Patil, & Gautam, 2022) Yani enerji yönetimi, mühendislik ve yönetim becerilerini organizasyonel süreçlerde birleştiren ve enerji optimizasyonu ile kar maksimizasyonu elde ederek rekabetçi konum elde etmek için enerjinin makul ve etkili kullanımı ile (Parekh, Kurian, Patil, & Gautam, 2022) kuruluşların enerji kullanımlarını daha iyi yönetmelerine yardımcı olarak verimliliği artırır. Bu bağlamda enerji politikası geliştirmek, uygulamak, enerji kullanımı için ulaşılabilir hedefler koymak, bunlara ulaşmak ve ilerlemeyi ölçmek için eylem planları tasarlayarak yapar; yeni enerji verimli teknolojilerin uygulanmasını, enerji israfını azaltmayı veya enerji maliyetlerini azaltmak için mevcut süreçlerin iyileştirilmesini içerebilir. (International Organization for Standardization, 2018)

İşletmeler rutin çalışma dönemlerinde elektrik, doğal gaz, benzin, dizel yakıt, kömür, buhar ve benzeri enerji türlerini tüketmek durumundadırlar. Bir enerji yönetim sistemi tüm bu enerji türlerini dikkate alarak oluşturulmalıdır. Tüm tüketim sistemleri, alt sistemleri ile en çok tüketim olan yerden daha az tüketim olan yere doğru sınıflandırılmalıdır. Gerekli analizlerin yapılabilmesi için ölçüm sistemlerinin hazır bulunması sağlanmalıdır. Enerji performanslarının oluşturulabilmesi için ölçümler yapılması analiz süreçleri için önemlidir.

2.1 Orta Ölçekli İşletmeler

Ülkemizde ilgili mevzuat gereği iki yüz elli kişiden az yıllık çalışan istihdam eden ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan herhangi biri 250 milyon Türk Lira'sını aşmayan girişimler Orta Ölçekli İşletmeler olarak tanımlanmaktadır. (Kosgeb, 2022) Küçük ve orta ölçekli işletmeler ülke ekonomileri için önemli bir konuma sahiptirler. Kobiler 2019 yılı itibari ile toplam istihdamın %72,4'üne iş imkânı sunarken toplam ihracatın %36,6'sını, ithalatın ise %21,5'ini gerçekleştirmektedir. (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022) Kobilerin enerji yönetimi ve enerji verimliliği konularında faaliyet gerçekleştirmeleri için uygun yatırım ortamlarının geliştirilmesi, motivasyon unsurlarının oluşturulması gereklidir. Koreli çelik şirketleri ile yapılan bir çalışmada sürdürülebilir enerji kullanımını temin etmek için üst yönetimin konuyu sahiplenmesi, hukuki düzenlemelerin yapılması uzun vadeli maliyet avantajlarının sunulması, uygun finansman imkanlarının oluşturulması, algılanan riske karşılık yönetime duyulan güven gibi konuların enerji verimliliğini etkileyen faktörler olarak ön plana çıktığı belirlenmiştir. (Parekh, Kurian, Patil, & Gautam, 2022) Kobilerin enerji kullanımlarını optimize için gerekli olan iç ve dış motive edici faktörleri, zorlukları belirledikten sonra bu süreçte elde edilebilecek faydaları ve enerji performansını artırmaya yönelik öneriler tespit edilmelidir. Tesisin enerji ihtiyacı ve çalışma türü hakkında genel bilgiler üzerinden enerji sistemlerinin nasıl algıladığı ve kayıtları nasıl tuttuğu, enerji verimliliğinin faydalarını gerçekleştirmek için şirketin izlediği mevcut enerji yönetim uygulamaları ve politikaları ile enerji verimliliği ve enerji yönetimi uygulamaya yönelik motivasyon unsurları göz önüne alınmalıdır.

2.2 Endüstriyel Tesisler ve Sanayi İşletmeleri

6948 sayılı sanayi sicil kanununda tanımlandığı üzere; bir maddenin nitelik, şekil, özellik ve/veya bileşimini makine, alet ya da diğer araçlarla veya sadece el emeği ile kısmen veya tamamen değiştirmek veya bu maddeleri işlemek suretiyle devamlı ve seri halinde imal

eden yerlerle madenlerin çıkartılıp işlendiği yerler sanayi işletmesi olarak tanımlanmıştır. Sanayi işletmelerinde, yukarıda nitelendiği şekliyle yapılan işlere ilişkin faaliyetler ise sanayi işleri; bu işletmeleri işletenler ise sanayici sayılmaktadır. (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2022)

2.3 Enerji Yönetim Standartları

İlk ISO 9000 Yönetim Standartları 1987 yılında yayınlanmış olup 1996 yılında İngiliz BSI 7750 standardına dayalı ISO 14000 standart ailesi Çevre Yönetimi ile ilgili olarak yayınlanmıştır. Birçok kuruluş, enerji yönetim sistemlerini bu standarda dayandırmıştır. 2006 yılında, Avrupa'da Enerji Verimliliği ile ilgili ilk Yönetim Sistemi Standardı- EN 16001 üzerinde çalışmalar başlamış olup İrlanda IS363:2005, Danimarka DS 2403 ve İsveç SS 627750 gibi mevcut ulusal standartlar kullanılmaktayken EN 16001 resmi olarak 2009 yılında yayınlanmıştır. ISO 50001 ile ilgili çalışmalar 2008 yılının sonlarında başlamış ve ISO 14001 yapısını takip etmesi gerektiğine karar verilmiştir. ISO 50001'in ilk baskısı 2011'de yayınlanmıştır. (Szajdzicki, 2017)

Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu ailesini tamamlamak için ISO teknik komitesi ISO/TC 301, Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu tarafından bir dizi başka ilgili standart geliştirilmiştir.

Bunlar;

- ISO 50002, Enerji denetimleri – Kullanım kılavuzu ile gereklilikler
- ISO 50003, Enerji yönetim sistemleri – Enerji yönetim sistemlerinin denetimini ve belgelendirmesini sağlayan kuruluşlar için gereklilikler
- ISO 50004, Enerji yönetim sistemleri – Bir enerji yönetim sisteminin uygulanması, bakımı ve iyileştirilmesi için rehberlik

- ISO 50006, Enerji yönetim sistemleri – Enerji temel çizgileri (EnB) ve enerji performans göstergeleri (EnPI) kullanılarak enerji performansının ölçülmesi – Genel ilkeler ve rehberlik
- ISO 50007, Enerji hizmetleri – Kullanıcılara enerji hizmetinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için kılavuzlar
- ISO 50015, Enerji yönetim sistemleri – Kuruluşların enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanması – Genel ilkeler ve rehberlik
- ISO 50047, Enerji tasarrufu – Kuruluşlarda enerji tasarrufunun belirlenmesi
- ISO 17741, projelerin enerji tasarruflarının ölçülmesi, hesaplanması ve doğrulanması için genel teknik kurallar
- ISO 17742, Ülkeler, bölgeler ve şehirler için enerji verimliliği ve tasarruf hesaplaması
- ISO 17743, Enerji tasarrufu – Enerji tasarruflarının hesaplanması ve raporlanması için geçerli bir metodolojik çerçevenin tanımı
- ISO/IEC 13273-1, Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları – Ortak uluslararası terminoloji – Bölüm 1: Enerji verimliliği
- ISO/IEC 13273-2, Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları – Ortak uluslararası terminoloji – Bölüm 2: Yenilenebilir enerji kaynakları

ISO 50000 standart ailesinde geliştirme çalışmaları devam eden standartlar aşağıda verilmiştir:

- ISO 50008, Enerji performansı için bina enerji veri yönetimi – Sistemik bir veri alışverişi yaklaşımı için kılavuz
- ISO 50009, Ortak bir (ISO 50001) EnMS uygulayan birden fazla kuruluş için rehberlik
- ISO 50021, Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu – Enerji tasarrufu değerlendiricilerinin seçilmesi için genel yönergeler

- ISO 50044, Enerji Tasarrufu Değerlendirmesi – Enerji tasarrufu projelerinin ekonomik ve finansal değerlendirmesi
- ISO 50045, termik santrallerin enerji tasarruflarının değerlendirilmesi için teknik yönergeler
- ISO 50046, Tahmini enerji tasarrufu için genel niceleme yöntemleri (PrES)
- ISO 50049, Ülke, bölge ve şehir seviyelerinde enerji verimliliği ve enerji tüketimi varyasyonları için hesaplama yöntemleri: enerji tasarrufu ve diğer faktörlerle ilişki

2.4 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları kullanılışlarına ve dönüştürülebilir olmalarına göre ikiye ayrılır. Enerji kaynakları kullanılışına göre; yenilenebilir kaynaklar (hidroelektrik, dalga, gel-git, jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, hidrojen gibi) ve yenilenemez kaynaklar (fosil temelli, kömür, petrol, doğalgaz ile çekirdek kaynaklı uranyum, toryum gibi) şeklinde ayrılır. Enerji kaynakları dönüştürülebilir olmalarına göre; birincil (petrol, kömür doğal gaz, nükleer, hidroelektrik, dalga, gel-git, biyokütle, güneş ve rüzgâr gibi) ve ikincil (benzin, motorin, LPG, kok kömürü, hava gazı gibi) enerji kaynakları olarak ayrılırlar. (Karagöl & Tür, 2017)

2.5 Temiz Enerji Kaynakları

Enerji türleri karşılaştırılırken, üretilecek enerji miktarı, ekonomiklik, çevreye olan etkisi başlıca üç temel konudur. Geleneksel enerji üretim metotları karbon ayak izleri, doğal hayat, toprak ve su alanları üzerinde oluşturdukları etkiler sebebiyle eleştirilere açık bir konumda olup iklim değişikliklerinin temel sebepleri arasında yer almaktadırlar. İnsan ve canlı popülasyonları için hava kirliliği oluşturmakta, asit yağmurlarına sebep olmakta, denizlerin ve kara parçalarının kirlenmesinde önemli bir yer işgal etmektedirler. Tüm bu

olumsuz etkiler ile mücadele edebilmek ve sürdürülebilir enerji arzı oluşturmak adına temiz enerji kaynaklarına yönelmek ve karbon ayak izini minimum seviyelere indirmek için çalışmalar ve yatırımlar yapmak önem kazanmıştır. Hidroelektrik, güneş, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal, hidrojen enerjisi gibi alanlar temiz enerji kaynakları arasında yer almaktadırlar. Bunlar tekil veya hibrit enerji kaynakları olarak kullanılabilmektedir. Atık enerjisinin geri dönüşümü, kojenerasyon gibi enerji üretim tesisleri atıkların azaltılması, etkinliğin ve verimliliğin artırılması ile karbon emisyonlarının azaltılmasına imkân sağlamaktadırlar. Performanslarına bağlı olmakla birlikte, jeotermal ve biyoyakıt temelli enerji kaynakları, güneş, rüzgâr ve hidroelektrik temelli enerji kaynaklarına göre daha sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Bununla birlikte, erişilebilirlik, işletme ve bakım maliyetleri açısından mukayese edildiğinde güneş ve rüzgâr enerjisi daha rekabetçidir. Kojenerasyon tesislerinde ısı ve elektrik enerjisi tek bir birincil enerji kaynağından üretilir. Kombine ısı ve güç sistemleri kojenerasyon tesislerinin bir türüdür. Kojenerasyon tesislerinde elektrik ve ısı enerjisi, hidrojen, oksijen, soğuk hava, biyogaz ve su üretilebilir. Endüstriyel tesislerde, lojistik tesislerinde, kamu ve özel binalarda enerji taleplerini karşılamak ve merkezi enerji hatlarına entegre olarak veya bağımsız olarak enerji ihtiyaçlarını karşılamak mümkündür. Isı geri kazanımı ile mevcut verimi artırmak mümkündür. Mikro şebeke ve dağıtılmış enerji üretim sistemlerinin gelişimine bağlı olarak bu tip enerji üretim sistemlerinin yaygınlaşması söz konusu olmuştur. Son on yıl içerisinde enerji üretim sistemlerinin verimliliklerinin artmasıyla birincil enerji kaynaklarının yakıt maliyetlerinde önemli miktarda azalma olmuştur. (Erixno, Abd Rahim, Ramadhani, & Adzman, 2022)

2.5.1.1 Isı değiştiriciler

Bir akışkandan diğer bir akışkana ısı transfer etmek için ısıtma veya soğutma amaçlı kullanılabilirler. Malzeme ve biçimlerine göre boru, kabuk, kanal veya mikro kanal gibi farklı yapılarda olabilirler.

2.5.1.2 Isı geri kazanım ve buhar jeneratörü

Isı değiştiricilere benzerler. Egzoz gazlarından ısı enerjisi ve buhar suyu üretirler. 370 – 540°C sıcaklıkları arasında çalışırlar. Gürültü seviyeleri düşüktür. Bakım süreçleri geri besleme basınçlarını koruyabilmek için önemlidir.

2.5.1.3 Termoelektrik jeneratörler

Egzoz ısısını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılırlar. Anot ile katot arasındaki sıcaklık farklarını kullanarak yarı iletken üzerinde oluşan gerilim farkları ile elektrik üretimi yaparlar.

2.5.1.4 Hidrojen temelli enerji sistemleri:

Hidrojen, kimyasal reaksiyon ile veya yakmak sureti ile elektrik üretmek için kullanılan temiz ve verimli bir enerji üretim sistemidir. Doğal gaza göre daha küçük boyutlu tanklarda depolanarak daha yüksek enerji yoğunluğu elde edilebilmektedir. Yanıcı bir gaz türü olması nedeniyle özel depolama alanları ile özel bakım süreçlerine ihtiyaç duymaktadır. Yüksek maliyetli üretim süreçlerine sahip olması nedeni ile daha az tercih edilen bir temiz enerji türüdür. Mobil enerji üretim ihtiyaçlarında yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları nedeni ile kullanım alanı bulunmaktadır.

2.5.1.5 Biyoyakıt temelli sistemler

Biyoyakıtlar, canlı veya ölü organizmaların ayrıştırılması işlemi ile üretilen karbon nötr yakıtlardır. Biyokütle ve Biyogaz olmak üzere iki tür biyoyakıt mevcuttur. Biyokütle canlı veya ölü organizmalar ve bitkilerden elde edilir. Biyogaz ise mikroorganizmalar tarafından sindirilen canlı maddelerden elde edilen gaz türüdür. Çöp depolama tesislerinde elde edilen metan ve karbondioksit gazı anaerobik tepkime süreçleri ile açığa çıkar. Metan gazı yakılarak ısı ve elektrik enerjisi elde edilir.

2.5.1.6 Hidroelektrik temelli sistemler

Temel yenilenebilir enerji türlerinden birisidir. Suyun potansiyel enerjisinin, su akışı vasıtasıyla jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle çalışır. Temiz enerji olması, esnek üretim olması, yağış rejimlerine bağlı olarak sürdürülebilir olması nedeni ile önemli bir enerji türüdür. Enerji depolamak için de kullanılabilir. Pompalı hidroenerji depolama teknolojisi ile Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Japonya gibi ülkelerde 32 GW'a kadar enerjiyi depolama imkânı olan sistemler mevcuttur.

2.5.1.7 Jeotermal temelli sistemler

Yerkabuğunun altında yer alan akışkanlardan, sıcak su, buhar veya gazlardan elde edilen ısı enerjisi türüdür. Jeotermal uygulamalar elektrik üretmek ve doğrudan kullanım olmak üzere iki türlü değerlendirilir. Uygulama alanları, ısı pompaları, mekân ısıtma, sera ısıtma, su ürünleri yetiştirme, gölet ısıtma, tarımsal kurutma ve endüstriyel hizmetler için kullanım şeklinde olabilir. Jeotermal sistemlerden elektrik üretimi için

- Kuru Buhar Enerjisi Santrali
- Flaş Buhar Enerjisi Santrali
- İkili Çevrim Enerji Santrali

olmak üzere başlıca üç temel yapı mevcuttur.

2.5.1.8 Güneş temelli sistemler

Güneş enerjisi çevreci ve sürdürülebilir bir enerji türü olması nedeniyle tercih edilmektedir. Isı ve elektrik üretiminde kullanım alanı mevcuttur. PV – fotovoltaik ve PV/T – fotovoltaik termal olmak üzere iki tip yöntem söz konusudur. PV teknolojisi güneş enerjisini elektrik enerjisi üretimine çevirirken, PV/T teknolojisi ise hem elektrik enerjisine hem de ısı enerjisine dönüştürür. Doğrudan güneş enerjisinin yarı iletken malzeme üzerinde etkileşime girmesi suretiyle enerji üretiminin yanı sıra termodinamik bir döngü vasıtasıyla elektrik üretimi de söz konusudur. Su, hava veya glikol yağ vasıtasıyla termal döngü oluşturularak elektrik enerjisi üretilebilir.

2.5.1.9 Rüzgâr temelli sistemler

Yeryüzünün farklı yapısı nedeni ile güneş ışınları havada farklı sıcaklık, nem, basınç seviyelerinin oluşmasına ve sonrasında havanın yer değiştirmesine neden olur. Yer değiştiren havanın enerjisi rüzgâr enerjisi olarak tanımlanır. Çevre dostu, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmalarına rağmen, işletme ve bakım maliyetleri nispeten düşüktür. Rüzgâr türbinleri 2-4 m/s hızdan başlayıp 25-35 m/s rüzgâr hızlarına kadar elektrik üretebilmeleri mümkündür. Rüzgâr türbinleri için nominal hız değerleri ise 10-15 m/s arasındadır. Santrallerin zarar görmelerini engellemek için yüksek rüzgâr hızlarında otomatik kapanma sistemleri mevcuttur.

2.5.1.10 Atık ısı geri kazanımı temelli sistemler

Atık ısı geri kazanımı, birincil enerji üretim tesislerinde veya endüstriyel süreçlerde elde edilen fazla ısıyı kullanmayı amaçlamaktadır. Çevreye atılan fazla ısının geri kazanımı ile enerji üretim tesislerinin toplam verimliliğinin artırılması mümkündür. Endüstriyel süreçlerde en önemli atık ısı kaynakları, baca gazları, fırınlardan gelen ısınmış hava ve egzoz gazlarıdır. Tipik enerji üretim tesisinde %24-%45 arası enerji kaybı söz konusudur. Enerji dağıtımında ise %3 enerji kaybı söz konusudur. Enerji dönüşüm süreçlerinde ise %10- %50 arasında enerji kaybı oluşabilir. Atık ısı geri dönüşüm teknolojileri atık türüne ve atık sıcaklığına göre farklılık gösterebilir. Isı değiştiriciler ve ısı pompaları bu iş için kullanılabilir. Rankine çevrimi, organik Rankine çevrimi, süper kritik karbondioksit çevrimi, Kalina çevrimi, ısı geri kazanımlı buhar jeneratörleri birkaç geri kazanım yöntemi için örnek olarak verilebilir.

2.5.1.11 Isı pompaları

Toprak, hava veya suda mevcut bulunan ısı enerjisini kullanarak mekân iklimlendirmesinde, kullanım suyu ısıtmasında, endüstriyel kurutucularda veya enerji üretiminde kullanmak üzere tasarlanmış enerji verimliliği yüksek, sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik katkısı olan bir temiz enerji türüdür.

2.5.1.12 Gel-git akımı enerjisi

Denizlerde meydana gelen gelgit akımlarından faydalanılarak elektrik enerjisi üretmeyi amaçlayan temiz enerji üretim yöntemidir. Yatay, dikey veya salınımlı kanatlı türbinler vasıtasıyla elektrik üretimi gerçekleştirilir. Karbon ayak izi düşük, yeni tip çevreci enerji üretim yöntemlerinden biridir.

2.5.1.13 Nükleer enerji

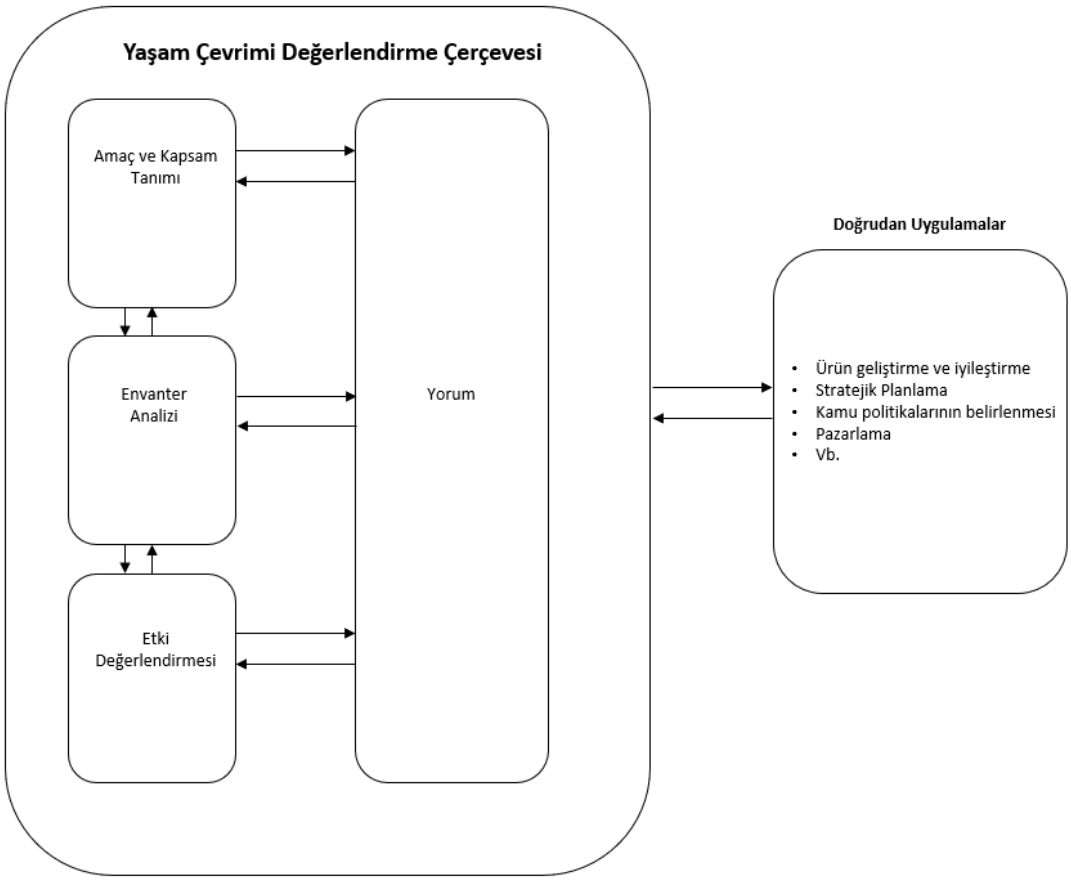
Her ne kadar güvenli işletme şartları altında üretim yapılması durumuna ortaya çıkardıkları kirletici miktarının minimum seviyede olmasından dolayı temiz enerji kapsamında ele alınabilecek bir enerji üretim yöntemi olsa da geri dönülmez hasar oluşturma potansiyeli yüksek olan bir enerji üretim yöntemidir.

2.6 Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi

Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi (LCA) ISO 14040 Standardı ile tanımlanan, bir ürünün, sürecin veya uygulamanın tüm yaşam çevrimi boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan teknik bir araçtır. (ISO 14040, 2007)

Bir yaşam çevrimi değerlendirmesi dört aşama ile ele alınır;

- Amaç ve kapsamın belirlenmesi
- Envanter analizi
- Etki değerlendirmesi
- Yorum



Şekil 1: Yaşam çevrimi değerleme aşamaları

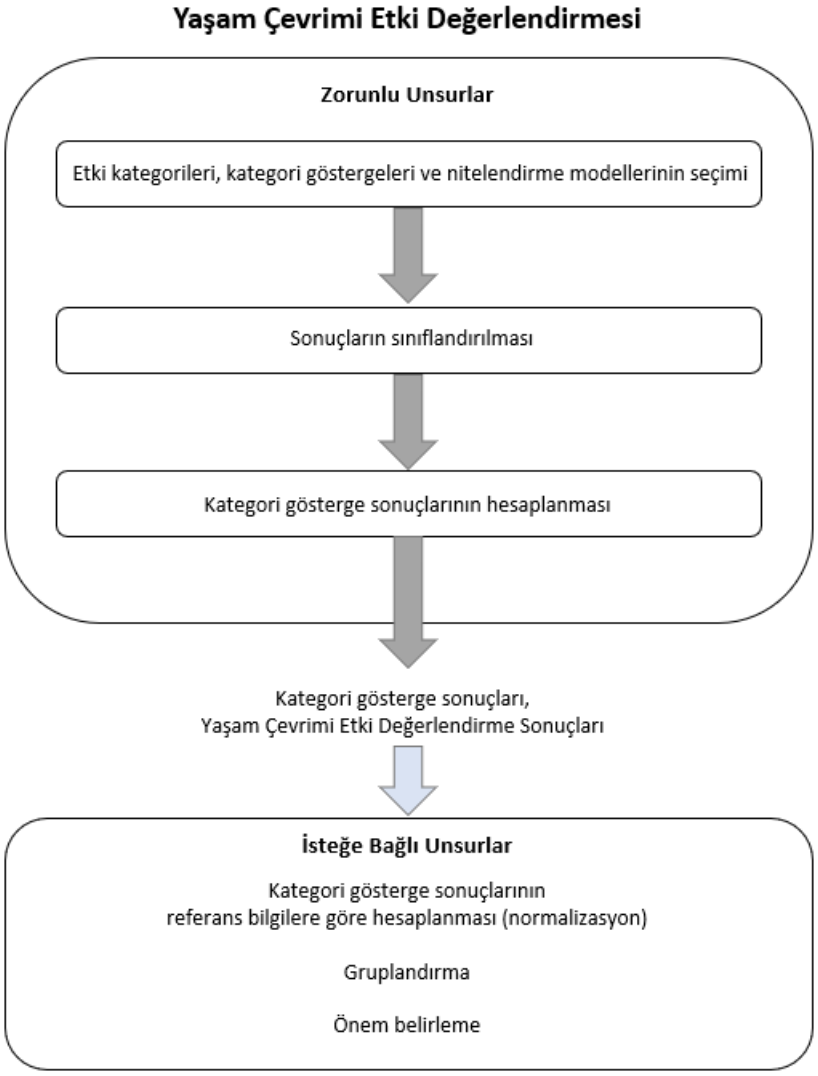
Birinci aşamada yapılacak olan çalışma için amaçlar belirlenir. Çalışmanın yapılma sebepleri, hedeflenen uygulamanın potansiyel kullanım alanları, sistem sınırları, varsayımları ve kısıtlamaları gibi konular ele alınır.

İkinci aşama içerisinde ele alınacak sisteme dair girdi ve çıktıların envanterine dair veri toplama işlemleri gerçekleştirilir. Bu girdiler, enerji, ham madde, yardımcı ürünler ve fiziki diğer girdiler olabileceği gibi ürünlere ve yan ürünlere ait atıklar ile havaya salınan emisyon oluşturucu etkileri, su kaynaklarına veya doğaya bırakılan atıkları içerebilir.

Üçüncü aşama olan etki değerlendirmesi yapılırken etki kategorileri ve göstergelerinin neler olacağının seçimi yapılır. Envanter verileri ile seçilen etki kategorileri arasındaki

olası etkileşim ele alınır. Envanter öğeleri ortak bir etki birimine dönüştürülerek her bir kategori için sonuçların hesaplanması sağlanır.

Dördüncü aşama olan yorum aşamasında ise yaşam çevrimi değerlendirme çalışmasına ait envanter analizi ve etki değerlendirme verileri ile elde edilen sonuçlar yorumlanır. Yoruma ait bulgular çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda muhtemel çevresel etkilerin daha net anlaşılmasını sağlayacak tavsiyeler şeklinde olabilir.



Şekil 2: Yaşam çevrimi etki değerlendirme aşamalarının unsurları

Yaşam çevrimi maliyeti, genellikle LCC olarak kısaltılmış Uluslararası ISO 15686–5: 2017-2018 standardıdır. Yaşam çevrimi maliyeti, ekonomik bir değerlendirme tekniğidir. Bir ticari dönem ve belirlenen bir analiz süreci boyunca her yatırım alternatifi ile ilişkili maliyet ve tasarrufları dikkate alarak farklı yatırım alternatiflerini değerlendirmek için kullanılabilir. Uluslararası ISO 15686–5: 2017 standardı, bina yaşam çevrimi maliyet bileşenleri için düzgün bir maliyet dökümü yapısı sağlar;

- Tasarım ve inşaat maliyeti
- İşletme maliyeti
- Bakım maliyeti
- Kullanımdan kaldırma maliyeti

Bir ürünün veya sistemin yaşam çevrimi beş ana aşamada tanımlanabilir;

- Kavramsal faz
- Tasarım fazı
- İmalat-İşletme fazı
- Bakım fazı
- Kullanımdan kaldırma fazı

Özünde, bu sıralı fazlar bir tesisin tüm yaşam çevrimini içerir. (Dwaikata & Alib, 2018)

ISO 15686-5: 2017, yeni veya mevcut olan binaların ve inşa edilen yapılar ile bunların parçalarının yaşam çevrimi maliyeti analizlerini gerçekleştirmek için gereksinimleri ve kılavuzlarını sağlar. Yaşam çevrimi maliyeti, faaliyetin bertaraf edilmesi yoluyla ortaya çıkabilecek maliyetleri de içerecek şekilde tüm maliyetleri ve nakit akışlarını dikkate alır. Yaşam çevrimi maliyetlendirmesi tipik olarak alternatifler arasında bir karşılaştırma yapmayı ve proje veya bileşen seviyesinde gelecekte ortaya çıkabilecek maliyetleri tahmin etmeyi içerir. Yaşam çevrimi maliyetlendirmesi, sadece yapılandırılmış varlığın tüm yaşam çevrimi için mi yoksa bütünün bir parçasına mı ait olduğunu açıkça belirlemek için bir analiz dönemi boyunca gerçekleştirilir. (ISO15686-5:2017, 2018)

Yaşam çevrimi maliyet bileşenlerini ve elemanlarını tanımlamak için gerekli veriler;

- Hizmet ömrü
- Analiz dönemi
- Enflasyon oranı
- İskonto oranı
- Tasarım ve yapım maliyeti
- İşletme maliyetleri
- Bakım maliyetleri
- Kullanım ömrü sonu maliyetleri

Hizmet ömrü: Bir binanın veya bileşenlerinin kabul edilebilir asgari performans seviyesini karşıladığı süreyi ifade eder. Periyodik bakım ve parça değişimleri tesisin ömrünü uzatabilir. ISO 15686-5: 2017 bir binanın tahmini kullanım ömrünün, tasarım ömrünün altında olmaması önerilmektedir. Aynı standart binanın tasarım özelliklerine göre bu rakamın 100 yılı geçmemesini önermektedir.

Analiz periyodu: Analiz süresi, yaşam çevrimi maliyetinin analiz edildiği zaman dilimiyle ilgilidir. 40 yıllık bir sürenin ötesinde ortaya çıkacak gelecekteki maliyetlerin bugünkü değeri önemsiz olabileceğinden, binalar için 25 ila 40 yıl arasında değişen bir analiz dönemi önerilmektedir. (Dwaikata & Alib, 2018)

Enflasyon oranı: Enflasyon veya deflasyon, mal ve hizmetlerin genel fiyat seviyelerindeki sürekli artış veya azalışa işaret eder.

İskonto oranı: Paranın zaman değerini yansıtan oranı ifade eder. Gelecekteki para miktarlarının güncel değerini bulmak için kullanılır.

Tasarım ve yapım maliyetleri: Toplam yaşam çevrimi maliyet analizinde bina tasarımı ve inşaatı için bütçelenen maliyet olarak kullanılır.

İşletme maliyetleri: ISO 15686–5: 2017 standardına göre yönetim destek hizmetleri dahil olmak üzere tesisin veya yapılı çevrenin işletilmesinde ve yönetilmesinde katlanılan maliyetler, enerji, su, ısıtma, bina işletme maliyetleri, kira, sigorta, düzenleme maliyeti, hizmet maliyeti, vergiler ve diğer işletme maliyetlerini içerebilir.

Bakım maliyetleri: Bina bakımı, binanın veya bileşenlerinin minimum performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli eylemleri ifade ederek bina yapısını ve bileşenlerini korumak için gerekli tüm faaliyetleri içermektedir

Kullanım ömrü sonu maliyeti: Bir varlığın hizmet ömrünün sonunda denetlenmesi, parçalanması, yıkılması ve bertaraf işlemleri ile ilgili diğer masraflar dahil olmak üzere elden çıkarılan maliyeti ifade eder.

2.7 Literatür Taraması

Yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi konusu henüz yeni ele alınan bir konu olması nedeni ile yaptığımız literatür taramasında geniş kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamış olmakla beraber yaşam çevriminin farklı aşamaları olan kavramsal faz, tasarım fazı, imalat-işletme fazları, bakım fazı ve kullanımdan kaldırma fazlarının her biri için farklı alanlarda yapılmış çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar ayrı ayrı her bir fazı ele almışlardır. Yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi konusunda bütünleşik bir yaklaşım oluşturabilmek için literatürde mevcut bulunan en uygun çalışmalar ele alınmıştır.

Enerji esasında üretim faktörlerinden bir tanesidir. Normalde enerji tüketilmez, dönüştürülebilir. Enerji üretmek için kömür kullanan santrallerde kömürün yıkanmasında, işlenmesinde ve enerji üretiminde yüksek miktarda su kullanılmaktadır. Su ayak izi endüstriyel tesislerde üç farklı şekilde değerlendirilebilir. Mavi su ayak izi buharlaşma yolu ile tüketilen suya verilen isimdir. Yeşil su ayak izi ise üretim süreçlerine tüketilen yüzeysel ve yer altı sularına verilen isimdir. Gri su ayak izi ise kirletici bir

materyali doğal konsantrasyon seviyesine getirebilmek için kullanılan suya verilen isimdir. Kömür temelli enerji santrallerinde, enerji üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan suya yönelik yaşam çevrimi yaklaşımı ile su ayak izi değerlemesi araştırmasına göre elde edilen su akışı analizleri kömür santrallerinin önemli çevresel etkilere sahip olduklarını göstermektedir. (Zhu, ve diğerleri, 2019) Bu etkileri azaltabilmek ve dünya enerji talebini karşılayabilmek için alternatif enerji kaynakları arayışı söz konusudur. Linyit kömürü, doğal gaz gibi geleneksek enerji üretim kaynaklarına alternatif olarak değerlendirilebilecek hidrojen yakıtlı elektrik üretim tesisinin yaşam çevrimi değerlemesini Öztürk ve Dinçer (2019) yaparak küresel ısınma potansiyeli, asitlenme, ötrofikasyon potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşturma, insana toksik olma potansiyeli, ozon tabakası incelmesi, iyonlaştırıcı radyasyon gibi etki değerleme konuları ele almışlardır. Hidrojen temelli elektrik üretim yöntemi, araştırma sonuçlarına göre en çevreci yöntem olarak ön plana çıkmıştır. Linyit kömürü ise etki değerleme kategorilerinin birçoğunda en kötü çevre etkisine sahip yöntem olarak tespit edilmiştir. (Ozturk & Dincer, 2019)

Hidrojen, enerji üretmek ve depolamak için elverişli bir gaz türüdür. Suyun, elektroliz edilmesi yönetimi veya kimyasal reaksiyonlar sonucu hidrojen üretilebilmektedir. Hidrojen, yüksek enerji içeriğine sahip olması ve yakıldığında su üretmesi nedeni ile sürdürülebilirlik açısından önemli bir enerji üretim metodudur. Bir elektrik üretimi yapılırken düşük yük talebi olduğu durumlarda santralin ürettiği elektrik enerjisi suyun elektrolizi yöntemi ile hidrojen üretimi yapmak için kullanılmakta ve hidrojen yakıt hücrelerinde depolanarak elektrik tüketiminin yoğun olduğu dönemlerde ilave elektrik enerji üretmek için kullanılabilmektedir. Böyle bir sistem için yapılan yaşam çevrimi değerleme araştırmasında küresel ısınma, abiyotik tükenme, kümülatif enerji talebi gibi etki kategorileri ele alınarak hidrojen enerjisinin geleneksel yöntemlere göre daha uygun bir enerji performansına sahip olduğu belirlenmiştir. (Valente, Iribarren, Dufour, & Spazzafumo, 2015)

Enerji tüketim değerlerindeki artış ve azalışlara bağlı olarak yenilenebilir enerji santrallerinin elektrik şebekelerine dahil olmaları veya ayrılmaları durumunda, termik santrallerde yük artışı ve azalışlarına neden olurlar. Bu yük değişimleri termik santrallerin işletme maliyetlerinde artışa neden olur. Artış miktarının ne kadar olduğunu tespit etmek için yakıt akışına bağlı bir yük rampası kullanılarak test yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca baca gazı akış oranı, buhar kazanı basıncı ve yakıt tüketimi parametreleri ölçülerek tam yükle çalışan santral yarı yük değerine düşürülmesi durumunda %10 yakıt tüketimi azalışı ortaya çıktığı ve yarı yükten tekrar tam yüke çıkılması durumunda ise %14 yakıt tüketimi artışının oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada %4 oranında yük değişimi maliyeti artışı söz konusudur. Elektrik üretimi planlaması yapılırken üretim tesislerinin operasyonel yük değişimlerine verdikleri cevaplar göz önünde bulundurularak yük alma ve atma operasyonları gerçekleştirilmelidir. (Neshumayev, Rummel, Konist, Ots, & Parve, 2018)

Yaşam çevrimi boyunca net sıfır enerji performansı elde etmek için farklı tasarım yöntemleri ve düşük enerjili tasarım çözümleri ön plana çıkmaktadır. Her türlü enerji şebekesinden bağımsız, yenilenebilir kaynaklardan kendi enerjisini üreten ve depo edebilen bir bina için yaşam çevrimi boyunca bir binayı enerji tüketimi açısından, işletme enerjisi, gömülü enerji ve yaşam sonu enerjisi olmak üzere üç kısımda değerlendirmek mümkündür. (Grazieschi, Gori, Lombardi, & Asdrubali, 2020) Konutlarda tüketilen elektrik enerjisi ile ilgili olarak yaşam çevrimi değerlendirmesi yapılırken enerji talebinde oluşabilecek dalgalanmaların enerji yönetimi hesaplamalarında oluşturabileceği hataların çevresel etkilerini modellemek mümkündür. Yaşam çevrimi uygulamasında ortalama elektrik tüketimi, marjinal elektrik tüketimi ve bu ikisinin karışımını içeren üç farklı yöntem, yıllık sürekli talep ortalaması verileri ile ve saatlik talep verileri üzerinden incelenmiştir. Yapılan çalışmada yıllık sürekli talep varsayımının çevresel etki değerlendirmesiyle, ilgili döneme ait saatlik çevresel etki değerlendirmesi arasında %136'ya varan farklılıkların oluşabildiği tespit edilmiştir. Saatlik ortalama yerine kullanılan yıllık ortalama değerlerinin oluşturduğu fark hatalı enerji talebi

hesaplanmasına neden olarak sera gazı emisyonlarını artırıcı bir etken olmuştur. Talep tarafı enerji tüketimi üzerine geliştirilen stratejiler ile elektrik talebinden kaynaklı emisyon değerlerini neredeyse gerçek zamanlı olarak tahmin etmek mümkündür. (Walzberg, Dandres, Merveille, Cheriet, & Samson, 2019)

Yaşam çevrimi değerlemesi (LCA) kombinasyonlarının tek bir bina yapımında kullanılabileceği gibi geniş ölçekli projelerin tasarım süreçlerinde de kullanılabilecek bir yöntemdir. (Collina, Linnetb, & Sechera, 2018) Yaşam çevrimi yaklaşımı, tümleşik bir tasarım sürecinde basit LCA araçları ve hesaplamaları ile projenin tasarım aşamasının yanı sıra planlama sürecinde de kullanılabilir. LCA kullanım amacına bağlı olarak, tasarım aracı veya doğrulama aracı olarak kullanım detayları değişebilmektedir. İnşaat endüstrisindeki yerleşik kültür sebebiyle hızlı ve kolay kullanım kılavuzlarının yeterince bulunmamasından LCE'nin erken dönem uygulamaları için sunduğu avantajları yeterince kullanamamaktadır. Karar verme süreçlerinde bütüncül yaklaşımı elde etmek için, birkaç parametreyi düşünmek yerine, bina veya ürünün yaşam çevrimi boyunca hem enerji hem de malzeme açısından ele alınması önemli görülmektedir. Yaşam çevrimi analizi işletme aşamasında emisyon değerlerini düşürmenin yanı sıra, enerji ve malzeme akışlarının görünür hale gelmesine de katkıda bulunuyor. Yaşam çevrimi maliyet analizi ile ömrü 60 yıla uzanan yeşil bir binanın maliyet değişkenlerinin nasıl tanımlanacağını ve yaşam çevrimi bütçesinin nasıl geliştirileceğini göstermiştirler. (Dwaikata & Alib, 2018) Yeşil binaların gelecek zaman da ortaya çıkacak olan maliyetlerinin, ilk tasarım ve inşaat maliyetlerinin üç katına ulaşabilmektedir. Yaşam çevrimi bütçesi içerisinde yer alan enerji maliyetleri, toplam maliyetlere göre %48-%60 arasında bir paya sahiptir. Enerji bu konumu ile toplam yaşam çevrimi maliyetini düşürmek için etkili araç olarak değerlendirilmelidir. Yaşam çevrimi bütçesi, maliyet performansını belirlemek için bir rehber olarak da kullanılabilir. Elde edilen sonuçların doğruluğu, yaşam çevrimi maliyeti değişkenlerinin doğruluğu ile ilişkilidir. Endüstriyel ekosistemlerde, kaynakların sistematik olarak yönetilmesi ile kaynak verimliliğinin artırılması ve israfın azaltılması öngörülmektedir. Sistematik değerlendirme yöntemleri sayesinde yaşam çevrimi

döngüsündeki sorunların belirlenmesi ve hedeflenen stratejilerin geliştirilmesinde karar vericilere yardımcı olur. (Shi & Li, 2018) Bu bağlamda yaşam çevrimi değerlendirmesi, bir ürünün yaşam çevrimi boyunca çevresel etkilerini sistematik olarak ele almaya imkân sunar. Belirsizlik durumlarında, dış etkenlerin sonuçlar üzerindeki etkilerini tespit etmek üzere geliştirilen seçim yapma süreçlerine karar analizi adı verilmektedir. Bu iki yöntemin bir arada kullanılması yaşam çevrimi envanter analizleri ile etki kategorilerinin, belirlenen hedefler doğrultusunda kapsam ve alternatiflerin seçilmesinde kolaylık sunarlar. Garvey ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada bilgisayar içerisinde yer alacak en uygun malzemelerin seçimi için yaşam çevrimi değerlemesi (LCA) ve karar analizi (DA) sistemini birleştiren bir uygulama geliştirmişlerdir. (Garvey, Meyer, Gonzalez, Dyson, & Carriger, 2019) Farklı özellikleri bünyesinde barındıran konfigüre edilebilir ürünlerin yaşam çevrimi değerlendirmelerinin de yapılması bazı durumlarda gerekli olabilmektedir. Myrodia ve diğerleri (2018), yapılandırılabilir yaşam çevrimi yönetimi (CLM) kavramını kullanarak, üreticilerin farklı amaçları yerine getirmek üzere ürettikleri ürünün yaşam çevrimi boyunca, özellikleri ve türevleri farklı tüm yapılandırılabilir varyantları için iş süreçlerinin yönetimini ile bir organizasyona ait olgunluk düzeyini değerlendirebilmek için strateji, performans, iş süreçleri, bilgi teknolojileri gibi tüm birimleri yapılandırılabilir yaşam çevrimi yönetimi (CLM) modeli ile ele almışlardır. (Myrodia, Randrup, & Hvam, 2018) Yaşam çevrimi değerlendirmesi, enerji sistemlerinin eksergo-çevre ilişkisini değerlendirmek için de kullanılabilir. Bu yöntem ile bir tesiste yer alan klima santrali tasarımı ile kullanılacak soğutucu materyallerinin analizleri yapılabilir. Farklı tasarım alternatifleri, bakım süreçleri, kaynaklar ve senaryolar ile bir karar destek sistemi oluşturulabilir. Catrini ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada bir tesise ait dört farklı tasarım alternatifini ele alarak baz duruma göre %7,5 küçültülmüş küçük yoğunlaştırıcı, baz duruma göre %7,5 daha büyük boyutlu yoğunlaştırıcı, küçük buharlaştırıcı ve küçük soğutma kuleleri kullanımı alternatiflerine bağlı olarak enerji verimlilik oranı değişimleri izlemişlerdir. Gaz sızıntısının olmadığı ideal bakım süreçleri ile bazı sızıntıların olduğu zayıf bakım süreçlerini kıyaslamışlardır. Tesisin işletme ve inşaat süreçlerinde toplam yaşam çevrimi döngüsü üzerindeki farklı etkileri

değerlendirilerek karar destek sistemi olarak kullanım potansiyelinin olduğunu gözlemlemişlerdir. (Catrini, Cellura, Guarino, Panno, & Piacentino, 2018) Takım tezgâhları, bünyesinde mil tahrikleri, soğutma üniteleri, fanlar gibi elektrik tüketen bileşenlerin oluşturduğu karmaşık mekatronik sistemlerdir. (Zhou, ve diğerleri, 2016) ABD enerji bilgi yönetimi verilerinden elde edilen istatistiklere göre, takım tezgahlarının elektrik tüketimi, üretimde harcanan toplam elektrik tüketiminin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Enerji verimliliği takım tezgâhları iş süreçlerinde %30 daha azdır ve verimlilik artışı için önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Takım tezgâhları için enerji verimliliği değerlendirmesi yapmak, enerji tüketimini azaltmak ve sistemlerin enerji verimliliğini artırmak için sanal parça yöntemi önerilmektedir. Sanal parça, olası tüm parçalar için enerji tüketimini birleştiren, basitleştiren, referans parametreleri, kesim parametreleri, geometrik şekil, malzeme ve işleme özellikleri gibi sınırlamaları aşan, hayali eşdeğer bir parçadır. Enerji verimli takım tezgahlarının tasarımında kullanım fazına yönelik enerji tasarrufu çalışmaları önemli rol oynar. Dönüş hız karakteristiği, boşta çalışma süreleri, yük karakteristiği, zaman karakteristiği, farklı tip yüklerde kesme süreleri sanal parça işlemine dahil edilebilir. Sanal parça malzeme israfını önleyerek maliyet etkinliği sunar. Yeni makina tasarımlarında veya eski makinelerin yenilenmesinde enerji verimliliği yüksek makine sistemlerini üretmek bu yöntemle mümkündür. (Tuo, Liu, Liu, Zhang, & Cai, 2017)

Finansal okuryazarlık, birçok önemli finansal karar üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilen insan sermayesi ile bilişsel yetenek ve yatırımın bir karışımıdır (Lusardi ve Mitchell, 2014). Dayanıklı tüketim mallarını satın alırken enerji tüketim değerlerinin satın alma kararı üzerine etkisini finansal okuryazarlık ile ilişkilendirmek mümkündür. Finansal okuryazarlık, ürün seçimi yaparken standart tüketici tercihlerini daha tutarlı hale getirir. Finansal okuryazarlık eksikliği tüketicilerin yaptıkları en uygun yatırım seviyeleri elde etmek noktasında hatalı tercihler yapmasına neden olur. Bu nedenler enerji verimli ürünlere daha az yatırımın yapıldığı bir ortamın oluşmasına neden olur. Düşük finansal okur yazarlık, enerji verimliliği yatırımlarını azaltıcı bir etki oluşturması nedeni ile enerji

verimliliği açığını artırıcı bir unsurdur. (Brent & Ward, 2017) Monopol bir piyasada enerji verimli ürünlerin tedariğini araştırmak üzere aynı işi gören yüksek kaliteli bir ürün ile düşük kaliteli bir ürün arasında nispeten enerji verimli ürünün tercih edilmesinin enerji fiyatlarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Üreticiler de tüketici miyopisine ve belirsizliğe bağlı olarak, enerji verimliliği ile ürünün diğer özelliklerinin tüketici nezdindeki değeri arasındaki korelasyonu göz önüne alarak en uygun özelliklere sahip ürünleri pazara sunma eğiliminde olmaları sebebiyle üst düzey ürünlerin satışını artırmak için nispeten daha kalitesiz ve verimsiz ürünlerin pazara sunumu mümkün olmaktadır. Bu tip yöntemler ile fiyat farklılaştırma stratejisi, enerji paradoksu olarak da bilinen enerji verimli teknolojilerin yayılma hızını azaltan bir yapı olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji verimli teknolojiler mevcut olsalar bile etkin olarak kullanılamadığı durumlar söz konusudur. (Ahmed & Stater, 2016)

Costantini ve diğerleri (2018), Avrupa Birliği düzeyinde on beş ülkeyi kapsayan ve 1995-2009 yılı verilerini kullanarak enerji verimliliğine yönelik özel ve kamu eylemleriyle ilgili istihdam performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan analizlere göre enerji yoğun işletmelerde sektörel büyüme, yatırım ve yenilikçi çözümler, istihdam oranlarında düşüşe neden olmaktadır. Buna karşılık, enerji verimliliğini artırıcı kamusal eylemler ise istihdamı artırıcı olumlu etkiler oluşturma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Enerji maliyetleri üzerindeki yüksek vergi oranları ile uygulanan kamu politikalarının, enerji verimliliği artırıcı faaliyetleri gerçekleştirmek üzere ilave istihdam artışı potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. (Costantini, Crespi, & Paglialunga, 2018)

Collinge ve diğerleri (2014), bina içi çevre kalitesini tespit etmek için dinamik yaşam çevrimi değerlemesi yöntemi ile deneysel verimlilik korelasyonlarının ilişkisini tespit etmek için bir araştırma yapmışlardır. LEED sertifikasına sahip bir üniversite binası içerisinde katılımcılardan, bina içi çevre kalitesi değişiklikleri ile varsayıma dayalı enerji tasarrufu yöntemlerinin bireysel üretkenlikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeleri istenmiştir. Aydınlatma miktarındaki azalma, düşük havalandırma seviyesi, kış mevsiminde düşük ısı ayarı gibi parametrelerin kişiler üzerinde üretkenliği azaltıcı etki

yaptığı gözlemlenmiştir. Hava kalitesi için olumlu veya olumsuz bir etki gözlenmezken, akustik ve termal konfor açısından memnuniyetsizlik söz konusu olmuştur. (Collinge, Landis, Jones, Schaefer, & Bilec, 2014)

Enerji denetimleri, enerji akışlarını analiz ederek enerji tasarruf potansiyellerini ortaya çıkarmak için kullanışlı bir araç olup endüstriyel süreçlerin performansını artırmak için kullanılabilir. ISO 50001 standardına göre enerji denetimi yapmak için kullanılan araçlar ile enerji denetçilerinin sahip olmaları gereken yetkinlikleri tanımlayan EN 16247-5 standardı ile elde edilecek enerji verimliliği artışı sayesinde tüketim ve karbon ayak izini azaltma ve sera gazı emisyonlarını düşürmenin mümkün olduğu görülmüştür. (Kluczek & Olszewski, 2017) Nesnelerin internetini kavramı, enerji yönetimi temelinde ele alınabilecek bir kavram olup imalat sanayisinde makine durumlarının izlenmesi, enerji tüketimleri hakkında gerçek zamanlı verileri toplayarak enerji akışlarının görselleştirilmesi, karar alma süreçleri için analiz yapma imkânı oluşturarak işletme süreçlerinde karar alma yöntemi olarak kullanılabilir. Makine tasarımlarında geliştirme yapmaya imkân sunarak imalat süreçlerinde optimizasyon ve bakım süreçlerinde iyileştirmeler yapmaya olanak sunar. Üretim planlama, ham madde temini ve materyal kullanımında etkinliği artırarak rekabetçi bir konum elde etmeye olanak sunar. (Shrouf & Miragliotta, 2014)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından önemli bir tanesi rüzgâr enerjisidir. Yaşam çevrimleri boyunda rüzgâr santrallerinin bakım ve işletme maliyetleri belirgindir. Rüzgâr türbin bileşenlerinin güvenilirliği, çalışma koşullarının türbinler üzerindeki etkilerini dinamik olarak hesaplayan yapay sinir ağları modellemelerini de kullanarak fırsatçı bakım politikası uygulamayı önermektedir. Yapılan çalışmada sadece bakım ve işletme maliyetlerini azaltmak değil aynı zamanda belirsizliklerin de ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşım, gerçek saha verilerine dayanan ve yapay sinir ağları tabanlı fırsatçı bakımın dinamik modeli ile entegrasyonunun uzun vadede iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür. (Izquierdo, Marquez, Uribetxebarria, & Erguido, 2019)

Yaşam çevrimi performansını artırmak için önerilen bozulma modellemesi yöntemi ve güvenilirlik analizi ile kentlerde mevcut bulunan kötü durumdaki köprülerin bakımlarının yapılarak mevcut durumlarının iyileştirilmesi ve sonrasında ömür artışının elde edilmesi beklenerek bakım maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. (Yang, Frangopol, & Teng, 2019) Sürdürülebilir çevresel ve sosyal yaşam çevrimi değerlendirmesini entegre etmek üzere kara yolu bakımında kullanılan materyal seçimi için en iyi performansa sahip kaplama malzemesinin seçiminde karar destek sistemi olarak yaşam çevrimi maliyet analizi kullanışlı bir yöntem olarak ele alınabilir. (Zheng, Easa, Yang, Ji, & Jiang, 2019)

Tamiri mümkün olmayan fiziksel varlıkların lojistik maliyetlerinin yönetimi için faaliyet tabanlı yaşam çevrimi maliyetlendirme yaklaşımı ile elde bulundurma ve lojistik maliyetlerinin net bugünkü değerini tahmin etmeye olanak sunarak farklı yedek parça tipleri için lojistik maliyetlerin hesaplanması ve bu sayede uzun vadeli envanter politikalarının geliştirilmesi mümkün olmaktadır. (Duran & Afonso, 2018)

Sürdürülebilir katı atık yönetimi sistemlerinin geliştirilmesinde enerji üretimi ve malzeme geri dönüşümü önemlidir. Bu bağlamda katı atık yönetim sistemlerinin çevresel etkilerini takip etmek için yaşam çevrimi değerlendirmesi uygun bir araçtır. İstanbul kenti özelinde gıda atıklarının farklı yöntemler ile yaşam çevrimi değerlendirmesi konusunda ayrıntılı bir çalışma yapılarak ele alınan yönetim şekilleri düzenli depolama, anaerobik fermantasyon, ısıl işlem ile yakma ve atık suları artıma şeklinde ele alınmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre atıkların depolanması emisyon değerlerini artırmaktadır. Enerji geri kazanım oranı da düşük seviyededir. Anaerobik sindirim yönteminde emisyon değerleri önerilen değerlerden daha iyi konumdadır. Etki kategorileri içerisinde en iyi performans ısıl işlem ile yakma yönteminde elde edilmiştir. (Guven, Wang, & Eriksson, 2019)

Bir atık işleme tesisinde soğutma ekipmanları, büyük ev aletleri ile televizyon ve ekranları içeren üç ana atık tipi için yaşam çevrimi değerlemesi perspektifi ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektronik atıkların %91,2 oranında geri

dönüştürülebileceğini, kalan materyalin %7,6 oranında geri dönüştürülemeyen poliüretan ve kauçuk malzeme ile %1,2 oranında diğer materyaller yakılarak elimine edilebileceğini gösterirken büyük ev aletleri ve televizyonların en iyi geri dönüştürülebilir atık olarak değerlendirildiği tespit edilmiştir. (Fiore, Ibanescu, Teodosiu, & Ronco, 2018)

Yaşam çevrimi değerlemesi (LCA), kamu idareleri ve arıtma tesisi işletmecileri için atık yönetimi ile ilgili stratejiler geliştirmek, karar alma politikalarını desteklemek için atık arıtma teknolojilerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek ve en iyi performansa sahip çözümü elde etmek için kullanılabilir. Bu amaçla İtalya'da kentsel atıkların geri dönüşümü, ayrıştırılması ve enerji üretimi üzerine farklı senaryoları içeren bir vaka çalışması ele alınmıştır. Fosil yakıtların yerine kullanılacak olmasından dolayı ekonomik ve çevresel ihtiyaçları karşılayacak en uygun özelliklere sahip geri dönüştürülmüş katı yakıt yakma teknolojisine sahip tesisleri ön plana çıkmıştır. (Rigamonti, Borghi, Martignon, & Grosso, 2019)

Yeniden kullanım, atığın oluşumunu önlemeye yönelik etkisi ile önemlidir. Yaşam çevrimi bakış açısı ile kullanım ömrü bitmezden evvel kırılan veya bozulan elektrikli ev aletleri, en iyi kullanım ömrünü tespit etmek için tamir etme veya yenileme seçenekleri çevresel etkiler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Elektrikli ev aletlerinin ilk üç yılında oluşan bir arıza için tamir senaryosunun çevresel etkisinin değiştirme senaryosuna göre daha az olduğu tespit edilmiştir ve tamir edilmesi önerilir. Elektrik motorları ve bazı elektronik baskı devre kartları için eğer arıza ömür sonunda gerçekleşmiş ise değiştirme senaryosunun tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. (Bovea, Fores, & Belis, 2019)

2.8 Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi İçin Takip Edilebilecek Uluslararası Standartlar

Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi aşamalarında enerji yönetimi konusunun ele alınabilmesi için her bir faza uygun gelecek şekilde uluslararası standartların tespit edilmesine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda kavramsal faz, tasarım fazı, işletme fazı, bakım fazı ve kullanımdan kaldırma fazları için kullanılabilecek uluslararası standartlar sınıflandırılarak aşağıda belirtilmiştir.

2.8.1 Kavramsal faz

Endüstriyel bir tesisin kuruluşunda ilk aşama kavramsal faz olarak değerlendirilebilir. Henüz fikir aşamasında iken enerji verimliliği konusunu odak noktası olarak seçmenin yanında enerji kullanımından olabildiğince kaçınmak, ilerleyen süreçlerde daha verimli ve etkin bir enerji yönetimi oluşturmaya yardımcı olacaktır. Bu bağlamda faaliyet konusu belirlenmiş olan tesis için hammadde, enerji kaynakları ve potansiyel pazarlara erişim önem arz eder. Tesiste kullanılacak enerji kaynaklarının seçimi, yeşil tedarik zincirinin oluşturulması, sıfır emisyon değerine sahip tesis kurulumu, enerji yönetim standartlarının yönetimi gibi temel konuları bu faz içerisinde ele almak mümkündür. Aksi takdirde telafisi zor kayıplara zemin hazırlayacak bir yapı ortaya çıkabilir.

Kavramsal faz içerisinde ele alınabilecek uluslararası standartlara ait örnekler aşağıda sıralanmıştır:

2.8.1.1 ISO 50001 standardı

Enerji yönetim sisteminin geliştirilmesi için uygun bir standart olup enerji verimliliği ve tüketiminde iyileştirmeler için sistematik ve veriye dayalı süreçler sunar. Tesisin itibarını ve çevresel performansını artırmakla birlikte enerji performansını iyileştirmek adına kapsamlı stratejiler geliştirmesine olanak sunmaktadır. Kavramsal faz içerisinde tesisi etkileyecek iç ve dış unsurlar ile kurulacak tesisin etki oluşturacağı tüm taraflar ile

ilgili yasal mevzuatların göz önüne alındığı riskleri ve fırsatları ele alan genel bir yaklaşım elde etmeye olanak tanır. (Fürsch, 2022)

2.8.1.2 ISO/TS 23764:2021 Konut dışı sıfır enerjili binalara ulaşmak için metodoloji (SEB'ler – Sıfır enerjili binalar) standardı

Enerji tüketimini azaltmak suretiyle Paris Anlaşması kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda bir yöntem olarak ortaya çıkmakta olup konut dışı (net) sıfır enerjili binalara ulaşmak için temel bir yaklaşım sunar. Dünyadaki enerji tüketimlerinin yaklaşık %30'u inşaat sektörü tarafından gerçekleştirildiği düşünüldüğünde binanın yıllık enerji tüketim miktarını, bölgesel iklim koşullarını göz önünde bulundurarak yenilenebilir enerji kaynaklarından bu enerjinin karşılanmasını teşvik eder. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.1.3 Minimum enerji standardı (MEES)

2020 ve 2050 emisyon hedeflerine ulaşmak adına mevcut bina stoklarının enerji verimliliğini artırmak için Birleşik Krallık tarafından geliştirilmiştir. Enerji sınıflandırılması yapılan binalar için bir üst enerji seviyelerine geçişler için teşvik edici unsurlar sunulmuştur. (Designing Buildings, 2022)

2.8.1.4 Yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY)

Geleneksel tedarik zinciri yönetimini çevre odaklı sürdürülebilir süreçler üzerinden elen alır. Tedarik zincirinin kümülatif çevresel etkilerini azaltarak enerji tüketimini azaltıcı değer üretmeye odaklanır. Tesislere ait varlıkların etkin kullanımı, üretim maliyetlerinde düşüş, hammaddelerin tekrar kullanılabilirliği ve daha düşük atık miktarı oluşturmayı da teşvik eder. Başarılı bir yeşil tedarik zinciri oluşturabilmek için sahiplenme, amaç birliği, karşılıklı güven, şeffaflık ile süreçlerin ve sistemlerin entegrasyonu ön plana çıkmaktadır. (Designing Buildings, 2022)

2.8.1.5 ISO/TC 197 Hidrojen teknolojileri standardı

ISO teknik komitesi tarafından geliştirilme sürecinde yer almaktadır. Hidrojen, sürdürülebilir enerji tedariği konusunda yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir potansiyele sahip enerji türüdür. Hidrojen suyun elektrolizi yöntemi ya da hidrokarbon temelli biyokütle ve fosil yakıtlardan temin edilebilen bir enerji türüdür. Elektrik üretiminde, bina iklimlendirme sistemlerinde ve ulaşım araçlarında kullanım imkânı olan temiz enerji türlerinden biridir. Standart bir yakıt türü olarak ve enerji transferi için bir araç olarak hidrojenin emniyetli kullanımını temin etmek üzere geliştirilmiştir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.1.6 ISO/TC 22/SC 37 Elektrikle çalışan araçlar standardı

ISO teknik komitesi tarafından ulaşım sektörünün karbon ayak izini en az seviyeye indirmek için karayolu araçları ve ekipmanlarıyla ilgili yüksek düzeyde güvenlik ve çevrenin korunmasında sürdürülebilir katkıda bulunmak için geliştirilmiştir. Taşıtların tüm yaşam çevrimleri boyunca çevresel etkilerini, enerji tüketimlerini ve geri dönüştürülebilir olmalarını göz önünde bulundurur. Kalite, performans gibi konularda tanımlamalar yaparak kaynak ve maliyet tasarrufu elde etmeye odaklanır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.1.7 ISO/TC 180 Güneş enerjisi standardı

Termal enerji dönüşümü yönteminin kullanıldığı ekipman ve sistemlerin geliştirilmesi, kurulumu, testlerinin yapılması ve servis süreçlerinin gerçekleştirilmesi için ISO teknik komitesi tarafından geliştirilmiştir. Standard aynı zamanda solar enerjinin üretimi ve ölçümü içinde kullanılarak teknik ve pazar anlamında şeffaflık sunmaktadır. Kalibrasyon, enstrümantasyon standartları ve ölçüm prosedürleri, terminoloji, iklim verileri, test yöntemleri standardizasyonu ile veri paylaşımını kolaylaştırarak, güneş enerjisinin ısıtma sistemlerinde ve elektrik üretiminde etkinliğinin artırılmasını amaçlamaktadır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.1.8 ISO/TC 238, Katı biyoyakıtlar standardı

Gıda ve orman ürünleri temelli biyokütlenin ısı ve enerji üretiminde kullanımı ile ilgili olarak geliştirilmiştir. Katı biyoyakıtların üretim süreçlerinin denetimi ile yakıtların ekonomik değerlerinin tespiti için uygun araçlar sunmaktadır. Standart, yakıt özellik ve sınıfları ile fiziksel ve kimyasal test yöntemleri için önerilerde bulunur. Biyoyakıtların bir yerden başka bir yere taşınması ve depolama koşulları için ilgili emniyet tedbirlerinin belirlenmesinde rol oynar. Katı biyoyakıtların yüksek miktarlı kullanımı sonucunda oluşan çevresel-sosyal etki ile karbon kredisi muhasebesi için gerekli kriterlerin tespit edilmesinde katkıda bulunur. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.1.9 IEC 60364-8-1, Enerji verimli elektrik tesisatı standardı

Standart, enerji verimli elektrik tesisatlarının geliştirilmesi için rehberlik etmek üzere hazırlanmıştır. Alçak gerilim elektrik tesisatlarının tasarımı, montajı ve uygulanması için rehberlik sunar. Elektrik yük profillerinin belirlenmesi, enerji verimli ekipman ve ürün seçimi, kablo kesitlerinin ve güç miktarının hesaplanması, kayıp enerji miktarının en az seviyeye indirilmesi, doğru ölçüm sistematiğinin geliştirilmesi, enerji verimliliği ölçütlerinin geliştirilmesi, aydınlatma, havalandırma, motor, sürücü, trafo, kompanzasyon ve harmonikler ile enerji üretim ve enerji depolama sistemleri ile enerji talebine yanıt konularını içine alan geniş bir kapsamlı bir standarttır. (IEC, 2022)

2.8.2 Tasarım fazı

Tasarım fazında yüksek enerji verimliliğine ulaşmayı temin edecek adımlar atılmalıdır. Üretim teknik ve metotları ile ısı ve enerji akışları denge içerisinde yer almalı, güvenilir, verimli ve uzun ömürlü ekipmanların kullanımı teşvik edilmelidir. Ürün ve personelin gereksiz hareketleri azaltılmalı, yeniden işlem görmeye neden olacak iş süreçlerinin oluşmasına engel olunmalıdır.

Tasarım fazında ele alınabilecek uluslararası standartlara dair örnekler aşağıda belirtilmiştir:

2.8.2.1 2012/27/EU Avrupa Birliği enerji verimliliği direktifi

Temel amacı enerji tasarrufu sağlamak ve birlik üyesi ülkelerin enerji tasarruf hedeflerine ulaşması için rehberlik yapmaktır. Enerji tüketim miktarlarının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi için ölçüm sistemlerinin kurulması ve geçmiş dönemler ile mukayese edilebilir hale gelmesi sağlanmıştır. Enerji tasarrufu yapılabilecek potansiyel alanların belirlenmesi, atık ısıların yeniden kazanılması, ısıtma ve soğutma alt yapılarının sağlıklı ve verimli çalışması, izolasyon ve yalıtım konularında yasal süreçleri düzenleyici bir yapıya sahiptir. (The European Parliament and of the Council, 2022)

2.8.2.2 ISO 50005, Enerji yönetim sistemi

Bir enerji yönetim sisteminin uygulanmasına yönelik süreçler için rehberlik sağlar. Tesislerin kaynakları göz önüne alınarak enerji performansının sürekli iyileştirilmesi için sistematik bir yaklaşım sunarak enerji yönetimi uygulamalarının gerçekleştirmesini ve iyileştirmesini amaçlar. Standart rehberliğinde kuruluşlar mevcut kaynak ve ihtiyaçlara uygun enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesini sağlayabilirler. Enerji performansını artıcı yatırımlar ve bu yatırımların geri dönüş potansiyellerinin hesaplanması için kullanabilirler. Enerji yönetimi için kurum kültürünü teşvik ederek düşük maliyetli basit enerji performansı geliştirmeleri, emisyon değerlerinde düşüş ve maliyet tasarrufu konularında fayda sağlayabilirler. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.2.3 2010/31/EU Binalar için enerji performansı direktifi,

Avrupa Birliği içerisinde yer alan binaların enerji performansının, iç ve dış mekân iklimlendirme gereksinimlerini maliyet etkinliğini göz önüne alarak iyileştirilmesini teşvik eder. Bina sektöründe enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanımı ile sera gazı emisyonlarını azaltmak için alınması gereken önlemleri tanımlar.

Standardın uygulamasında kullanılacak olan metodolojide aşağıda yer alan hususlar dikkate alınabilir:

* Binanın termal özellikleri, termal kapasitesi, yalıtım, pasif ısıtma ve soğutma elemanları, termal bağlantı noktaları
* Isıtma tesisatı ve sıcak su temini
* Klima tesisatları
* Hava sızdırmazlığı içerebilen doğal ve mekanik havalandırma
* Aydınlatma tesisatları
* İklime uygun bina tasarımı, konumlandırması
* Pasif güneş sistemleri
* İç mekân iklimlendirme
* Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjiye dayalı ısıtma ve elektrik sistemleri
* Kojenerasyon ile elektrik üretimi
* Bölgesel veya blok ısıtma ve soğutma sistemleri
* Doğal aydınlatma (The European Parliament and of the Council, 2022)

2.8.2.4 ISO 15531-1:2004 Endüstriyel otomasyon sistemleri ve entegrasyon – Endüstriyel üretim yönetimi verileri standardı

Tesislerin verilerinin herhangi bir sistemden bağımsız olarak bilgisayar ortamında yorumlanabilmesine olanak sağlayan uluslararası bir standarttır. Tesis içerisinde oluşan üretim verileri ile tesisin dış çevresi ile entegrasyonunu sağlayarak üretim süreci boyunca gerekli veri alışverişini sağlamak, veri tabanlarını oluşturmak, paylaşmak ve arşivlemek için gerekli mekanizmaları ve tanımlamaları sağlar. Endüstriyel prosesler için üretim yönetimi verilerinin temel özelliklerini tanımlar. Bir üretim yönetim sistemi, tedarikçilerden üretim tesislerine, dağıtım kanallarına, bazen de son kullanıcıya kadar tüm süreçler için hammadde ve ürün akışını yönetir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.2.5 ISO 18435-1:2009 Endüstriyel otomasyon sistemleri ve entegrasyon – Genel bakış ve genel gereksinimler standardı

Ekipmanların, otomasyon cihazlarıyla ve yazılımlar ile entegrasyonu için referans oluşturacak mimarileri sağlar. Uygulama entegrasyon modelleri ile üretim ve kontrol sistemleri için endüstri gereksinimleri ve standartları için kullanıcılara rehberlik eder. Varlık yönetimi için bütünleşik sistem görünümü sunarak tesise ait üretim ve kontrol sistemlerinin kapasitesi, arıza tespitleri ve bakım operasyonları için tümleşik yönetim sistemini tanımlar. Standardın hedef kullanıcıları, endüstriyel otomasyon tasarımcıları, uygulamacıları, devreye alanlar ve çalıştıranlardır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.2.6 2009/125 / EC Eko tasarım direktifi

Üreticilerin enerji kullanan ürünlerini pazara sunabilmeleri için yerine getirmeleri gereken performans kriterleri için bir çerçeve belirler. Bu çerçeve ürünlerin yaşam çevrimi boyunca enerji tüketimlerinin ve çevreye etkilerinin azaltılmasını amaçlar. Daha ürün üretilmeden yaşam boyu enerji tüketiminin ve çevresel etkilerinin ele alınmasını gerekli kılar. Hali hazırda ticari ve endüstriyel ürünler için geçerli olan standart, enerji ile ilgili tüm ürünler için de genişletilme kapsamındadır. Örneğin, Pencere, yalıtım materyalleri ve benzeri ürünler. (The European Parliament and of the Council, 2022)

2.8.2.7 BREEAM Standardı

Birleşik Krallık Bina Araştırma Kuruluşu (BRE) tarafından geliştirilen çevresel değerlendirme yöntemidir. Binalar için tasarım, inşaat, işletme süreçleri için çevresel etkileri takip eden en iyi uygulamaları ortaya çıkarmayı amaçlayan standartları belirler. BREEAM Ofisler, eğitim binaları, sağlık kuruluşları ve standart olmayan binalara uygulanabilir. Etki kategorileri içerisinde enerji, su, alan kullanımı, ekoloji ve yönetim süreçleri, sağlık ve refah, ulaşım, materyal, atıklar ve kirlilik gibi konular yer almaktadır.

Değerlendirmeye tabi tutulan binalar geçer, iyi, çok iyi, mükemmel veya üstün olmak üzere sınıflandırılır. (Designing Buildings, 2022)

2.8.2.8 LEED Enerji ve çevre tasarımında liderlik standardı

ABD Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilmiş enerji ve çevre konusunda bilinirliği dünya genelinde yüksek olan bina derecelendirme sistemidir. Sürdürülebilir bina ve çevre için tasarım, inşaat, işletme ve bakım süreçleri için kaynakların verimli kullanımını teşvik edici bütünleşik bakış açısı sunar. LEED bir performans ölçüm aracından ziyade bir tasarım aracıdır. Tasarım sürecinde enerji modellemesi yapılarak tüketilen enerjinin minimum seviyede kalmasına odaklanır bu sayede verimlilik ve tasarruf sağlanarak sera gazı emisyonları düşürülebilir. LEED projeleri yeni binalar, mevcut binalar, yeni iç mekanlar, toplu konut ve şehirler için ele alınabilir. LEED sertifikasına sahip olabilmek için enerji, su, karbon, atık, ulaşım, malzeme, sağlık, iç mekân, çevre kalitesi konuları puanlanarak 40-49 puan arasına sertifika, 50-59 puan arasına gümüş sertifika, 60-79 puan arasına altın sertifika ve 80 puan üzerine ise platinyum sertifika verilir. (U.S. Green Building Council, 2022)

2.8.2.9 DGNB Standardı

Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir. Sürdürülebilir binalar ve şehirler için planlama ve optimizasyon aracı sunar. Standart, ticari olarak uygulanabilir çevreci ve insan odaklı bütünsel sürdürülebilirlik kavramını ele almaktadır. Pratik uygulamada bir kalite güvence sertifikası ve proje yönetim sistemi olarak da kullanılmaktadır. Yaşam çevrimi değerleme konusunu da ele alıyor olması ile diğer standartlardan farklılaşmaktadır. Bir binanın inşası esnasında önemli olan çevresel, ekonomik ve sosyokültürel faktörlerin yanı sıra teknoloji, süreçler ve konum ile de ilgilenir. Mimarlar, planlamacılar ve bina sahipleri için faydalı kılavuzlar sunar. Temel bina performans verilerini belirlemeye yardımcı olduğundan bina işletmecileri için de

operasyonları kolaylaştırıcı önemli bir araçtır. DGNB performans endeksi ile yapılan ölçüm sonrasında binaya platin, altın, gümüş veya bronz derecesi verilmektedir. (German Sustainable Building Council, 2022)

2.8.2.10 WELL Standardı

Uluslararası WELL Bina Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. İnsan sağlığı ve refahını çevreye odaklanarak geliştirmeye çalışır. Standart binalar ile bina sakinleri arasındaki sağlık ve zindelik konusunu, hava, su, beslenme, ışık, konfor, zihin gibi konular üzerinden ölçümlemek ve izlemek için performans kriterlerine dayalı bir sistem sunar. (U.S. Green Building Council, 2022)

2.8.3 İmalat-İşletme fazı

İmalat/İşletme fazında en önemli konu enerji kullanım prosedürlerinin hazırlanması ve titizlikle uygulanmasıdır. Oluşturulan prosedürler açık ve net olmalıdır. Muğlak ifadeler ile karışıklıklara ve yanlış anlaşılmalara sebebiyet vermeyecek şekilde düzenlenmelidir. Tesis çalışanları ve yöneticileri tarafından sahiplenilmiş prosedürlerin başarıyla uygulanması daha olasıdır. Bu sayede en az enerji tüketim değerleri ile en üst seviye üretim çıktısı elde etmek mümkün olacaktır.

İmalat-İşletme Fazı içerisinde ele alınabilecek uluslararası standartlara ait örnekler aşağıda sıralanmıştır:

2.8.3.1 ISO 50015:2014 Standardı

Kuruluşların enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanması, enerji performansının iyileştirilmesi için kullanılacak ortak kılavuzlar ile genel ilkeleri belirleyerek rehberlik eder. Kullanılan enerji türünden bağımsız olarak elektrik, buhar, ısı, basınçlı hava ve diğer benzeri ortamlar için yapılan ölçme ve doğrulama, enerji performansının iyileştirilmesi

sürecine katkıda bulunur. Güvenilir sonuçlar enerji performansına değer katar. Standart, ISO 50001 veya benzeri mevcut enerji yönetim sistemlerine sahip tesisler tarafından kullanılabileceği gibi müstakil olarak da kullanılabilir. Enerji yönetim sistemleri bağlamında, enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi ile ilgili ölçülebilir sonuçlar kuruluşun enerji politikasına, amaçlarına, hedeflerine ve diğer enerji performansı gereksinimlerine göre ölçülebilir. Enerji performansının veya enerji performansının iyileştirilmesi çalışmaları fiziksel saha, tesisler, ekipmanlar, sistemler ve süreçler için yapılabilir. Standart, yapılan çalışma için planlama, ölçme, veri toplama, analiz etme, doğrulama ve raporlama süreçlerini içerir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.2 ISO/TC 184 Otomasyon sistemleri ve entegrasyonu standardı

ISO Teknik Komitesi tarafından geliştirilmektedir. Ürünlerin, proses sistemlerinin ve tesislerin tasarımı, geliştirilmesi ve teslimi için tutarlı yapıları sağlamayı amaçlar. Otomasyon ve bilgi sistemleri için gereksinimleri tanımlar ve çerçeveler sunar. Üretim sistemleri, bilgi destek platform ve mimarileri için uygulanabilir, test edilebilir ve endüstri uygulama gereksinimlerini karşılamak için çok kaynaklı çözümleri ifade etme aracı olarak, yüksek kalitede, yenilikçi teknolojik yaklaşımla iş birliklerini kolaylaştırmayı amaçlar. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.3 ISO 23247-1:2021 Otomasyon sistemleri ve entegrasyon- Üretim için dijital ikiz çerçevesi standardı

Tesislerde üretim süreçleri, makine ekipman ve teçhizatları ile personel, ürün, çevre gibi konuların gözlemlenebilir olmalarını temin edebilmek adına dijital ikizlerinin oluşturulması için tanımlayıcı çerçeveyi sunar. Dijital ikiz, büyük veri analitiği ve yapay zekâ uygulamaları ile gerçek zamanlı kontrol olanağı sunar. Üretim süreçlerinde oluşabilecek anormallikleri tespit ederek süreç içerisinde optimizasyon ve adaptasyon yapılmasına, kestirimci bakım uygulamalarının geliştirilmesine olanak sağlar. Dijital ikiz operasyonu ve çevre birimlere ait verileri sürekli gözlemleyerek üretim süreçlerini

denetler. Gereksiz duruş ve iş tekrarlarının önüne geçerek enerji tüketim değerlerinin optimum değerlerde tutulmasına olanak sağlar. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.4 ISO/TC 163 Yapı çevresinde termal performans ve enerji kullanımı standardı

Enerji verimli binaları ve tesisleri tasarlamak, inşa etmek, değerlendirmek ve mevcut tesisatları yenilemek için kullanılabilecek araçlar sunar. Standart, yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azaltarak hava, su kaynaklarına zarar veren emisyonları azaltmayı amaçlar. Bu bağlamda tesislerin, bina ve bina bileşenlerinin, kullanılan malzemelerin enerji performansının değerlendirilmesi, enerji verimliliği ve termal performansın iyileştirilmesi gereklidir. Uygun yapı montaj teknikleri, malzemeleri ve ürünleri sistem tasarımında kullanımını teşvik eder. Merkezi ısıtma sistemleri, kazanlar, alan ısıtma cihazları ve klima üniteleri için performans gereklilikleri tanımlar. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.5 ISO 45001:2018 İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri standardı

Kuruluşlarda iş ile ilgili hastalıkları, yaralanmaları, iş kazalarını önlemek üzere emniyetli iş yeri temini için rehberlik etmektedir. Standart tehlikeli durumları ortadan kaldırarak olası sistem eksikliklerinin önüne geçmeyi, riskleri en az seviyeye indirmeyi amaçlayan bir yönetim sistemini kurmayı teşvik eder. İş sağlığı ve güvenliği performansının sürekli iyileştirilmesi, yasal gerekliliklerin yerine getirilmesi ve hedeflere ulaşılması için kurulan sistemin disiplin ile uygulanılması ve kurumsal kültür olarak sahiplenilmesi ile gerçekleştirilebilir. (International Organization for Standardization, , 2022)

2.8.3.6 ISO/IEC JTC 1/SC 39 Sürdürülebilir bilgi teknolojisi standardı

Bilgi teknolojisi alanında veri merkezleri ve benzeri tesisler için, kaynak ve alt yapı verimliliğini oluşturmak, esneklik sunmak ve çevresel sürdürülebilirliği temin etmek

üzere tasarım, uygulama, yönetme ve işletme konularında çerçeve sunar. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.7 ISO/TC301 Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu standardı

Enerjiyi yönetmek ve enerji tasarruflarını hesaplamak ve raporlamak için bir uygulama çerçevesi sunar. Standart, her büyüklükteki ve türdeki kuruluşlar, gruplar, ağlar, şehirler, ülkeler ve bölgeler için enerji yönetimi alanında kapsam standardizasyonuna sahiptir. Enerji Yönetim Sistemi (EnMS) standardizasyonu endüstriyel tesisler, binalar, enerji üretim tesisleri için sistematik, kapsamlı ve stratejik bir yaklaşım sağlar. Enerji yönetimi uygulayıcıları, hizmet sağlayıcıları, uygunluk ve enerji denetim firmaları için enerji yönetim sistemlerinin kurulması, uygulanması ve sürdürülmesi, sürekli iyileştirilmesi, enerji performansının izlenmesi ve ölçülmesi, raporlanması, enerji güvenliği, enerji tasarrufu hesaplamaları konularında standart rehber durumundadır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.8 ISO/TC 115 Pompa standardı

Proses pompalarında standardizasyonu sağlar. Pompaların boyutları ve teknik özellikleri, ölçüm ve test yöntemleri, kurulum ve özel uygulamaları ile güvenlik ve performans özellikleriyle ilgilenir. Pompalama sistemleri üzerinde enerji denetimleri yapabilmek için enerji yönetimi ve metodolojisi geliştirmektedir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.9 ISO/TC 117, Fan standardı

Endüstriyel amaçlarla fabrikalar, madenler, binalar, tüneller ve benzeri endüstriyel tesislerde kullanılan 125 watt enerjiden daha fazla enerji tüketen fanlar için çerçeve sunmaktadır. Standart teknik ve düzenleyici yapısı ile enerji verimliliğine odaklanarak endüstri sektörünün ihtiyaç duyduğu ürünlerin performansları, tasarım ve üretimleri üzerinde performans artırıcı etki oluşturur. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.3.10 IEC 60654-1 Endüstriyel süreçlerde ölçüm ve kontrol ekipmanı için koşulları- Bölüm 1: Sıcaklık, nem ve barometrik basınç standardı

Endüstriyel proses ölçüm ve kontrol sistemlerinin kullanıcı ve tedarikçilerine, ekipmanların maruz kalabileceği çevresel koşulların bir listesini sağlamaktadır. Sistemlerin ve sistem parçalarının performansını etkileyen çevresel koşullar dikkate alınmadığında süreçler arzu edilen şekilde kontrol edilemeyecektir. Dolayısıyla istenilen üretim sonuçlarının elde edilmesi de mümkün olmayacaktır. Bu durum aynı zamanda enerji tüketimlerinde arzu edilmeyen artışlara ve enerji performansında düşüş yaşanmasına neden olmaktadır. (International Electrotechnical Commission, 2022)

2.8.3.11 IEC 60654-2 Endüstriyel proses ölçüm ve kontrol ekipmanı için çalışma koşulları- Bölüm 2: Güç standardı

Çalışma sırasında karada ve açık denizde endüstriyel proses ölçüm ve kontrol sistemleri veya sistem parçaları tarafından alınan güç için sınır değerleri verir. Standart proses sistemlerinin performansını doğrudan etkileyebilecek güç miktarı ile ilgilenir. Çalışma koşulları için sınır değerleri veya sınır değer setlerini belirler. (International Electrotechnical Commission, 2022)

2.8.3.12 IEC 60654-3 Endüstriyel proses ölçüm ve kontrol ekipmanı için çalışma koşulları- Bölüm 3: Mekanik etkiler standardı

Endüstriyel proses ölçüm ve kontrol sistemlerinin çalışma, depolama ve nakliye esnasında maruz kalabileceği, performansı doğrudan etkileyebilecek, titreşim, şok, sismik ve mekanik stres koşullarını dikkate alır. (International Electrotechnical Commission, 2022)

2.8.3.13 IEC 60654-4 Endüstriyel proses ölçüm ve kontrol ekipmanı için çalışma koşulları- Bölüm 4: Aşındırıcı ve yıpratıcı etkiler standardı

Karada yerleşik ve açık deniz endüstriyel proses ölçüm ve kontrol sistemlerinin veya sistem parçalarının işletme sırasında, kuruldukları ancak etkin olmadığı dönemlerde, depolama veya nakliye sırasında maruz kalabilecekleri aşındırıcı ve aşındırıcı endüstriyel ortamı dikkate alır. Ele alınan çevresel etkiler, süreç ölçüm ve kontrol sistemlerinin veya bu tür sistemlerin parçalarının performansını doğrudan etkileriyle sınırlıdır. Birçok çevresel koşulun sınıflandırılması zordur, bu nedenle çevreyi karakterize etmek için nitel bir tanımlama kullanılır. (International Electrotechnical Commission, 2022)

2.8.3.14 2006/42/EC Avrupa Birliği makine direktifi

Makineler, değiştirilebilir ekipmanlar, güvenlik bileşenleri, kaldırma aksesuarları, zincirler, halatlar ve dokumalar, çıkarılabilir mekanik aktarım cihazları, kısmen tamamlanmış makineler için genel temel sağlık ve güvenlik gerekliliklerini tanımlar. Doğrudan makine kullanımından kaynaklanan çok sayıda kazanın sosyal maliyeti, makinelerin doğası gereği güvenli tasarımı ve yapımı ve uygun kurulum ve bakım ile azaltılabilir. İmalatçıların bu temel gerekliliklere uygunluğu kanıtlamalarına yardımcı olmak ve temel gerekliliklere uygunluğun denetlenmesine izin vermek için, makinelerin tasarımı ve yapımından kaynaklanan risklerin önlenmesi için standartlara sahip olması gerekir. Makine imalatçısı veya yetkili temsilcisi, makineler için geçerli olan sağlık ve güvenlik gerekliliklerini belirlemek için bir risk değerlendirmesi yapmalıdır. (The European Parliament and of the Council, 2022)

2.8.4 Bakım fazı

Bakım fazında yapılacak çalışmalar enerji tüketim değerlerinde oluşabilecek artışlarının önüne geçmek için fırsatlar sunar. Kestirimci bakım çalışmaları ile arızaların önceden tespit edilebilir olması malzeme, makine ve ekipmanların tolerans değerleri içerisinde

çalışmalarını temin edecektir. Fırsatçı bakım yaklaşımı ile duruş maliyetleri, malzeme maliyetleri ve enerji maliyetleri gibi unsurlar için en uygun zamanda bakımların yapılması sağlanarak tasarruf etme imkânı sunar.

Bakım Fazı içerisinde ele alınabilecek uluslararası standartlara ait örnekler aşağıda sıralanmıştır:

2.8.4.1 ISO 50004 Standardı

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması için bakım ve iyileştirilmeler için rehberlik sunar. Enerji yönetim sistemi enerji performansında sürekli iyileştirme sağlamak için nasıl sistematik bir yaklaşım izleyeceğini göstermek için pratik araçlar, yöntemler, stratejiler ve örnekler sağlar. Enerji yönetimi, bir kuruluşun genel iş süreçleriyle, operasyonlar, finans, kalite, bakım, insan kaynakları, satın alma, sağlık ve güvenlik ve çevre politikası ile entegre edildiğinde sürdürülebilir ve etkilidir. Enerji yönetimini günlük bakım süreçleri bütünleştirerek, operasyonel verimliliği artırmak, olası arıza-duruş maliyetlerini azaltarak iş süreçleri üzerinde olumlu etki elde edilebilir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.2 ISO 17359 Durum izleme ve teşhis standardı

Makinelerin çalışma koşullarını ve işlevlerini takip etmek için kullanılabilecek durum izleme prosedürlerine dair çerçeveyi sunar. Makineye ait tipik ölçüm parametreleri olan titreşim, sürtünme, sıcaklık, basınç, debi, kirlilik, güç, akım, gerilim ve hız gibi parametreleri kullanarak durum izleme ve teşhisi için yöntemler sunar. Durum izleme sistemi kurgulanırken ele alınması gereken genel prosedürleri sağlar, izlenecek temel adımlar hakkında bilgi verir. Durum izleme varlık yönetimi ile ilişkilidir. Makinelerin temel arıza kaynaklarına dair oluşan semptomları tespit etmeye ve tanımlamaya yönelik kriterlerin belirlenmesinde yardımcı olur. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.3 ISO 18435 Endüstriyel otomasyon sistemleri ve entegrasyon- Tanılama, yetenek değerlendirme ve bakım uygulamaları entegrasyonu standardı

Bakım prosedürlerinin üretim, kontrol ve diğer operasyonlarla beraber kullanılmasını amaçlayan bir çerçeve sunar. Otomasyon sistemlerinin entegrasyonu ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken yöntemler birinci bölümde ele alınır. Bir otomasyon uygulamasının diğer uygulamalara entegre edilmesi noktasında kritik yönleri içerir. İkinci bölümde ise uygulama etkileşim matrisi öğesi ve uygulama etki alanı matrisi öğesi yapılarının oluşturulması, ilişkilerin kurulması ile ilgili detayları tanımlar. Tüm bu tanımlamalar yapılırken odak noktası, üretim operasyonları ve bakım operasyonlarıdır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.4 ISO 13373 Makinelerde durum izleme ve teşhisi- Titreşim durumu izleme standardı

Makinelerde oluşan titreşimin ölçümü ve ölçüm verilerini toplama işlevleri için yönergeler sunar. Yapılan ölçüm prosedürleri ve uygulamaları için tutarlılığın temin edilmesini amaçlar. Makinelerin titreşim koşulları, yatak üzerinden veya döner aksamlar üzerinden titreşim ölçümleriyle izlenebilir. Standart ölçüm yöntemleri ile ilgili genel olarak, ölçüm parametreleri, dönüştürücü seçimi, dönüştürücü konumu, dönüştürücü eki, veri toplama, makine çalışma koşulları, titreşim izleme sistemleri, sinyal koşullandırma sistemleri, veri işleme sistemleri ile arayüzler, sürekli izleme ve periyodik izleme gibi konular için tavsiyeler sunan temel bir belgedir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.5 ISO 13374 Makinelerde durum izleme ve teşhisi- Veri işleme, iletişim ve sunum standardı

Makine durumu izleme ve tanılama bilgilerinin sunumu ile ilgili yazılım spesifikasyonlarını içeren genel yönergeleri belirler. Kullanımda olan makinelerin durum

izlemesi ve teşhisi için yazılmış çeşitli bilgisayar yazılım programları, tak-çalıştır olarak çalıştırılamaz. Bunların entegrasyonu için kapsamlı çalışma yapılmalıdır. Bu durum sistemleri bütünleştirmeyi ve kullanıcılara makinenin durumuna ilişkin birleşik bir görünüm sağlamayı zorlaştırır. Standardın amacı, makine durumu izleme verilerinin özel donanım veya protokoller olmaksızın çeşitli yazılım paketleri tarafından işlenmesine, iletilmesine ve görüntülenmesine izin vermeye yönelik gereksinimleri sağlamayı amaçlar. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.6 ISO 13381 Makinelerde durum izleme ve teşhisi- Kestirim standardı

Kestirim süreçlerinin geliştirilmesi ve uygulanması için rehberlik sağlar. Makine durumu izleme sürecinin normal koşullardan sapmalar ve sorunların tespiti, arıza ve nedenlerinin teşhisi, gelecekte oluşabilecek arızaların tahmini, eylem tavsiyesi, işlem sonrası inceleme olmak üzere farklı aşamalardan oluşur. Kestirim kavramının paydaşları için ortak dili oluşturur. Gerekli veri, süreç ve uygulamaların belirlenmesinde rol oynar. Makine sağlığı kestirimi, gelecekte makine arızalarının tahmin edilmesini gerektirir. Bu amaçla istatistiksel ve referans değer yaklaşımlarına ihtiyaç duyulur. Performans değişimi yaklaşımı, çevrimsel ömür kullanımı ve kalan faydalı ömür modelleri standart içerisinde ele alınan konular arasındadır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.7 ISO/IEC/IEEE 14764 Yazılım yaşam döngüsü süreçleri ve bakım standardı

Satın alma ve çalıştırma süresince bakım sürecinin nasıl başlatılabileceğini tanımlar. Bakım süreçlerini ayrıntılı olarak açıklar ve bakım türleri için tanımlar oluşturur. Yazılım ürünlerinin sürdürülebilirliği için bakım hizmetine ihtiyaç duyulur ve bakım stratejileri geliştirilmesini gerekli kılar. Standardın kullanıcıları yöneticiler, bakım ekipleri, kalite yöneticileri, yazılımları satın alanları kapsamaktadır. Standart, uyarlanabilir bakım, katkılı bakım, düzeltme, düzeltici bakım, acil bakım, sürdürülebilirlik, genişletme, değişiklik isteği, mükemmel bakım, önleyici bakım, sorun raporu, yazılım sürdürme gibi konuları ele alır. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.4.8 ISO/IEC 29155 Standardı

Bilgi teknolojisi projeleri için geliştirme veya bakım verimliliği gibi konular için performans kıyaslaması ile veri toplama yöntemleri ve yazılım sınıflandırması için çerçeve sunar. Standard bilgi teknolojileri proje performanslarını başarı ile mukayese edebilmek için tanımlama, seçme, uygulama ve geliştirme süreçleri için gerekli bileşenlerden oluşur. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.5 Kullanımdan kaldırma fazı

Tesislerde kullanılan makine ekipmanları, sistemler, malzemeler ve bizzat tesisin kendisi kullanım ömrünün sonuna ulaştığında kullanılacak yöntemler ve uygulanacak olan süreçlerin çevre etkilerinin en az olması enerji performansının ve tüketimlerinin en az seviyede olması arzu edilmektedir.

Bu kapsamda ömür sonu fazında ele alınabilecek olan konulara aşağıda yer verilmiştir:

2.8.5.1 Söküm ve yıkım için tasarım

Yaşam çevrimi değerleme bakış açısı için söküm ve yıkım aşaması yeşil tasarımın önemli bir parçasıdır. Yapının ömrünün sonra ermesi ile bileşenlerinin yeniden kullanılabilme imkânı vardır. Tasarım esnasında yapının parçaları kolay sökülebilir ve taşınabilir olmalıdır. Basit ve standart bağlantı noktalarına sahip olması önerilir. Tasarımda potansiyel tehlike oluşturacak materyaller ve malzemeler kullanılmamalıdır. Uyarlanabilir ve gelecekte faydalı olacak malzemeler kullanılabilir. Karmaşık tasarımlar yerine sade ve basit olan tercih edilmelidir. Tasarımlar zorlu lojistik gereksinimlere ihtiyaç duymamalıdır. Ömür uzatmak için uyarlamalara ve tadilatlara izin vermelidir. (Designing Buildings, 2022)

2.8.5.2 Hurdaya çıkarma

Endüstriyel tesislerde, atık kriterlerinin geliştirilmesi, yasal zorunluluklar, çevre ve sağlık gibi konular bir bütün olarak ele alınmalıdır. Hurda kaynaklarının detaylı analizleri yapılarak malzeme türüne bağlı geri dönüşüm süreçleri uygulanmalıdır. Potansiyel çevre etkileri de göz önünde bulundurularak ekonomik değer oluşturma yolları aranmalıdır. Tüm bu süreçlerde ihtiyaç duyulacak enerji tüketiminin ne olacağı tasarım aşamasında belirlenmelidir. (International Organization for Standardization, 2022)

2.8.5.3 BREEAM İnşaat atıkları yönetim standardı

İnşaat atıklarının etkin yönetimi ve azaltılması yoluyla kaynak verimliliğini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Sahada çalışmaya başlamadan önce kaynak yönetimi planlaması yapılmalı ve saha atık yönetimi planı yapılmalıdır. Yıkımdan önce detaylı saha denetimleri gerçekleştirilmeli, sahadaki tüm materyal tipleri ve miktarları ile potansiyel uygulamaların neler olacağı listelenmelidir. Tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların tipleri tespit edilmeli ve bu atıklar en aza indirilmelidir. Atık miktarlarını tahmin etme, izleme, ölçme ve raporlama prosedürleri geliştirilmelidir. Sonuçlar BREEAM puanlama ve raporlama aracında raporlanmalıdır. (Designing Buildings, 2022)

2.8.5.4 Döngüsel ekonomi

Yaşam döngüsünü uzatmak maksadı ile mevcut malzeme ve ürünleri mümkün olduğunca uzun süre kullanmayı, paylaşmayı, yeniden kullanmayı, onarmayı, yenilemeyi ve geri dönüştürmeyi içeren bir üretim ve tüketim modelidir. Uygulama israfı önlemeyi amaçlamaktadır. Ürünlerin ömür sonuna yaklaşmaları durumunda materyallerinin ekonomi içerisinde yeniden değerlendirilebilir olması amaçlanır. Döngüsel ekonomide her şeyin sürekli olarak yeniden kullanılmak ve geri dönüştürülmek üzere tasarlandığı bir yapı mevcuttur. Atık azaltımı, eko tasarım ve yeniden kullanım gibi önlemler ekonomik

olarak tasarruf sağlarken sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olmaktadır. (European Parliament, 2022)

2.8.5.5 Ömür sonu potansiyeli

Ömür sonu, bir ürünün veya malzemenin kullanım aşamasının son aşamalarını ifade eder. Kullanılan malzemelerinin ömürlerinin sonuna geldiklerinde arıtılması ve atıkların bertarafı, karbon emisyonlarının düşürülmesi, çöp depolama alanlarının en aza indirilmesini mümkün kılar. Malzemelerin, materyallerin binaların kullanım ömrü sonu potansiyeli açısından birkaç alternatif sıralanabilir;

- Yenileme: Temizlik, dekorasyon ve yeniden donatma yoluyla iyileştirme sürecidir. Ayrıca, bir binayı daha enerji verimli ve sürdürülebilir kılmak amacıyla güçlendirme unsurlarını da içerebilir.
- Güçlendirme: Üretim sırasında mevcut bulunmayan bileşen veya özelliğin mevcut materyale eklenmesi, ilk durumunda mevcut olmayan bir şeyin eklenmesi anlamında kullanılmıştır. Binalara ısı yalıtımı yapılması ve çift cam uygulaması gibi
- Yeniden Kullanım: Ürünlerin veya bileşenlerin yeniden kullanımları için bir yerden sökülüp çıkarılarak başka bir yerde kullanımını ifade eder.
- Geri Dönüşüm: Yeniden kullanımı mümkün olmayan materyallerin tedarik zincirine ham madde olarak girişine olanak sağlayacak ayrıştırma işlem görme süreçlerini ifade eder.
- Atık Yakma: geri dönüştürülemeyecek durumda olan materyallerin elektrik üretmek maksatlı atık yakma tesislerinde yakıt olarak kullanımını ifade etmektedir. (Designing Buildings, 2022)

3. YÖNTEM

Orta ölçekli tesislerde yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi uygulaması araştırmasını gerçekleştirmek üzere öncelikle literatür taraması yapılmakla birlikte konusunda uzman kişilerin yaşam çevrimi ve enerji yönetimi konuları hakkında görüşleri alınmıştır. Tesislerdeki mevcut durumu tespit etmek üzere açık uçlu tesis değerlendirme formları hazırlanmıştır. Yaşam çevrimi fazlarının her biri değerlendirmeye alınmıştır. Yaşam çevriminin kavramsal fazında kuruluşun enerji verimli bir tesis olabilmesi için dikkat edilmesi gereken konuların neler olduğu tespit edilmiştir. Tasarım süreçlerinde en etkin enerji verimliliğini elde etmek üzere gerçekleştirilecek adımların neler olduğu belirlenmiştir. İmalat-işletme süreçlerinde enerji kullanım prosedürlerinin varlığı ve bu prosedürlerin pratik hayatta uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Bakım fazında proaktif bakım yöntemleri ve kestirimci bakım uygulamaları ile arızalar gerçekleşmeden önce ön görülmesi ve kesintisiz çalışmanın sağlanması konuları ele alınmıştır. Planlı bakımlar ile mevcut ekipmanların ömürlerinin uzatılması konusu ele alınmıştır. Tesislerin veya ekipmanların kullanım ömürleri sonunda kullanım dışı bırakılmaları, geri dönüşümü gibi konular ele alınmıştır. Güvenilir, uzun hizmet ömürlü ekipman kullanımı, ısı ve elektrik enerjisinin etkin kullanımı, yeniden işlem görmeyi engelleyici süreçler geliştirme gibi konular, imalat süreçleri içerisinde enerji verimliliğini etkileyen nedenler arasında ele alınmıştır.

3.1 Araştırma Modeli

Yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi uygulamalarını inceleyebilmek üzere uluslararası makaleler ile literatür taraması yapılmıştır. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI), Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Proses Endüstrilerinde Otomasyon Teknolojisi Kullanıcı Derneği (NAMUR), Türk Standartları Enstitüsü (TSE) gibi ulusal ve uluslararası standartlar incelenmiştir.

Enerji yönetimi ve yaşam çevrimi konusunda uzman kişilerle Delphi tekniği ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan görüşmeler sonucunda, çalışmada kullanılan açık uçlu tesis değerlendirme formu hazırlanmıştır. Üzerinde mutabık kalınan bu formlar ile bünyesinde enerji yönetiminden sorumlu personel bulunduran orta ölçekli tesisler ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

3.2 Evren ve Örneklem

Bünyesinde enerji yöneticisi barındıran, enerji yönetiminden sorumlu bakım ve işletme yöneticileri ile yapılan görüşmelerde orta ölçekli tesis olma vasfına sahip yurtiçi endüstriyel tesisler çalışma evreni olarak değerlendirilmiştir. Örneklem olarak oransız eleman örneklemesi yapılarak farklı sektörlerde faaliyet gösteren tesislere ulaşmak hedeflenmiştir.

3.3 Veriler ve Toplanması

Yapılan çalışmada Delphi tekniği ile oluşturulmuş açık uçlu tesis değerlendirme formları kullanılmıştır. Yüz yüze gerçekleştirilen görüşmelerde kullanılan bu formları dolduran enerji yöneticisi, enerji yönetiminden sorumlu bakım ve işletme yöneticilerinin verdikleri bilgiler doğrultusunda veriler elde edilmiş ve toplanmıştır.

3.4 Verilerin Çözümlenmesi ve Yorumlanması

Yapılan görüşmelerde enerji yönetiminden sorumlu enerji yöneticisi, bakım ve işletme yöneticilerinin bireysel olarak doldurdukları formlardan elde edilen ham veriler işlenerek Microsoft şirketinin bir ürünü olan Excel yazılım programında tasnif edilmiştir. Tasnif edilen bu sonuçlar sınıflandırılarak ilgili tablolar hazırlanmış ve yorumlanmıştır.

3.5 Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi Uygulama Modeli Önerisi

Enerji yönetimi konusu ele alınırken tesislerde mevcut bulunan ekipmanların, makinelerin veya birimlerin müstakil olarak enerji verimli olmaları enerji verimliliği çalışmalarının tam olarak yapılabildiği anlamına gelmemektedir. Enerji verimliliği konusunu bir bütün halinde ele alabilmek için daha kapsamlı bir bakış açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda yaşam çevrimi perspektifi ile enerji yönetimi konusu ele alınarak bütüne dair enerji verimliliği çalışması gerçekleştirilebilir. Kavramsal fazdan başlayarak, tasarım, işletme, bakım ve kullanımdan kaldırma fazlarının tümünde enerji yönetimi konusunu ele alıyor olmak sosyal ve çevresel maliyetleri minimize etmeye yardımcı olarak sürdürülebilir bir ekosistem oluşturmaya olanak sunar. Üretilecek değeri oluşturmak üzere yapılacak faaliyetler kavramsal fazda ve tasarım fazında doğru bir şekilde ele alınmaz ise bu fazlarda oluşacak olan aksaklıkların telafisi, işletme ve bakım fazlarında mümkün olmaz. Gereksiz iş tekrarları, uygun olmayan ekipman ve iş süreçlerinin olması emek ve sermaye israfının yanında enerji israfını da beraberinde getirecektir.

Yapılan çalışmada yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi için literatür tarama çalışmaları ile uzman görüşleri dikkate alınarak hazırlanmış ve aşağıda verildiği üzere bir metodoloji önerilmiştir.

Tablo 1. Yaşam Çevrimi Perspektifine Göre Enerji Yönetimi Uygulama Modeli Önerisi

Kavramsal Faz	**Tasarım Fazı**	**İmalat-İşletme Fazı**	**Bakım Fazı**	**Kullanımdan Kaldırma Fazı**
Yeşil Bina	Eko Tasarım	Enerji Yönetimi	Düzenli Bakım	Söküm İçin Tasarım
Yeşil Tedarik Zinciri	Tesis Tasarımı ve Yerleşimi	Dijital İkiz	Önleyici Bakım	Geri Dönüşüm
Sıfır Enerjili Bina	Proses Tasarımı	OEE- Toplam Ekipman Etkinliği	Kestirimci Bakım	Yeniden Kullanım
Temiz Enerji Temini	Otomasyon ve Scada Sistemleri	İşleme Merkezleri	Fırsatçı Bakım	Hurdaya Çıkarma
Güneş Enerjisi	Robot – Cobot Kullanımı	Isıl İşlem	Durum İzleme ve Teşhis	
Rüzgâr Enerjisi	Enerji verimli Ürün Tedariği	HVAC		
Jeotermal Enerji	Makine ve Ekipman Ebatlandırma	Aydınlatma		
Isı Pompası	Nominal ve Pik Yük Hesabı	Basınçlı Hava ve Kompresörler		
Kojenerasyon	Gürültü	Motorlar		
Trijenerasyon	Sıcaklık	Hidrolik Sistemler		
Biyokütle	Aydınlatma	Redüktörler		
Enerji Üretimi ve Depolama	Ergonomi	Fanlar		
	Breeam	Konveyörler		
Enerji Verimli Tesisat Yönetmeliği	LEED	Trafolar		
	DNGB	Enerji ve Kumanda Kabloları		
	WELL	Enerji Ölçümü		
	PLM	Harmonik		
	Simülasyon	Kompanzasyon		
		Talep Tanıtı		
		Motor Yol Verme-Sürücüler		
		Ölçme Sistemleri-Metroloji		
		Büyük Veri Analitiği		
		Nesnelerin İnterneti		
		Bina Isı İzolasyonu		
		Proses Ekipman İzolasyonu		

3.5.1 Kavramsal faz içerisinde ele alınan konular

Yapılacak olan yatırımın ortaya çıkaracağı değeri belirleyecek temel konuların belirlendiği bu faz, üzerinde dikkatle düşünülmesi gereken bir aşamadır. Enerji kullanımını minimum seviyede tutmayı sağlayacak uygulamaların geliştirilmesi için fırsatlar sunmaktadır. Kullanılacak olan enerji türlerinin seçimi, bu enerjinin dışarıdan mı temin edileceği yoksa kendi iç kaynakları ile mi üretileceği konuları bu aşamada belirlenir. Alınan doğru kararlar enerji verimliliği konusunda elde edilecek olan başarının kaderini belirlemekte önemli rol oynar. Yapılacak olan hataların ise telafisi çoğu zaman maliyeti artırıcı bir unsur oluşturmakta, bazen de mümkün olmamaktadır. Bu faz içerisinde ele alınacak olan kavram ve konular aşağıda verilmiştir:

Yeşil bina kavramı, sürdürülebilir bir çevre oluşturmak üzere binaların yaşam çevrimleri boyunca ihtiyaç duydukları kaynakların etkin ve verimli yönetimini içeren bir kavram olarak ortaya çıkar. Sadece maliyet ve fayda olarak konuyu ele almaz yaşam konforunu da göz önünde bulundurur. Enerji, su ve diğer kaynakların kullanımını, atık ve kirletici miktarlarını azaltan, insan ve çevre sağlığını ele alan bir bakış açısına sahiptir.

Yeşil tedarik sistemi, çevresel etkileri ve riskleri azaltmaya odaklanarak sürdürülebilir tedarik zinciri oluşturmayı amaçlar. Ham madde, enerji, iş gücü, üretim ekipman ve varlıklarının en etkin şekilde kullanımı ile nihai ürün ve hizmetlerin sunumunda ortaya çıkan atık miktarlarının ve çevresel risklerin olabildiğince azaltılmasını amaçlar. Geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir hammadde kullanımını teşvik eder.

Sıfır enerjili bina kavramı, tükettiği enerjiyi kendi bünyesinde üreterek karşılayan bina olarak değerlendirilebilir. Temel olarak binanın inşası esnasında yapılacak olan ısı izolasyonu, dış cephe kaplaması, binanın konumlandırılması, doğal havalandırma sistemlerinin kullanımının göz önüne alınması gibi pasif unsurların yanı sıra güneş panelleri ile ısı ve elektrik üretimi, ısı pompası ve benzeri enerji üretim metotları ile kendine yetebilen aktif sistemlere sahip yapılar oluşturmayı hedeflemektedir.

Temiz enerji temini, sera gazı emisyonlarını düşürmek ve karbon ayak izini azaltmak için tesisler tarafından fosil temelli enerji kaynaklarına göre tercih edilmesi gereken bir enerji türüdür. Tesisin konumuna göre kurulumu yapılabilecek olan güneş enerjisi, rüzgâr türbini, jeotermal, biyokütle temelli enerji kaynakları ile elektrik üretiminin yanı sıra ısı kojenerasyon tesisleri ile elektrik ve ısı enerjisi üretmek, trijenerasyon tesisleri ile elektrik, ısı ve soğutma imkânı elde etmek mümkündür. Bunların yanında ısı pompalarının kullanımı da enerji üretimi için değerlendirilebilecek konular arasında yer alır.

Üretilen enerjinin depolanması, bu enerji tesislerde tüketilebileceği gibi nominal yük değerlerinin düşük olduğu zamanlarda pik yük değerlerinde kullanılmak üzere depolanması da söz konusu olabilmektedir. Bu tip depolama teknikleri arasında kesintisiz güç kaynakları ele alınacağı gibi hidrojen temelli yakıt pilleri ile enerjinin depolanması da mümkündür. Bu sayede değişken yük profiline sahip çalışma süreçlerinde ani güç taleplerini karşılamak üzere yüksek kapasiteli alüminyum kondansatör sistemleri de bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Enerji verimli tesisat yönetmeliği, bazı önemli enerji verimliliği konularını içermektedir. Elektrik tesisatı enerji verimlilik sınıfları (EIEC) EE0 en düşük verimliliğe sahip değerden, EE5 en iyi verimlilik standardına kadar sınıflandırmayı içine alır. (ABB, 2022) Enerji tüketimini elektrikli cihazların montajları esnasında en aza indirmeyi amaçlar. Enerjiyi ihtiyaç kadar en uygun zamanda, en uygun maliyetle kullanmayı temin etmeye çalışır. Enerji şebekesinden enerji teminine, yerel elektrik üretimine, enerji depolama sistemlerine, enerjinin tüketildiği yüklere ve ölçüm sistemlerine odaklanarak enerji verimliliği yönetim sistemleri sunar.

3.5.2 Tasarım fazı içerisinde ele alınan konular

Faaliyet konusu kavramsal faz içerisinde belirlendikten sonra detaylı tasarımların yapılması bu fazda gerçekleştirilir. Bu fazda alınacak olan tedbirler enerji verimliliği konusunu üst seviyeye çıkarmakta etkin bir rol oynar. Güvenilirliği kanıtlanmış uzun

ömürlü makine ve ekipman seçimleri, tesis yerleşimi, iş akış süreçlerinin oluşturulması, malzeme, personel ve enerji akışlarının belirlenmesi bu fazda en optimum düzeyde yapılabildiği taktirde tesisin enerji verimli bir şekilde tasarlanabilmesi mümkün olacaktır. Bu faz içerisinde ele alınacak olan kavram ve konular aşağıda verilmiştir:

Eko tasarım, enerji kullanan ürünlerin pazara sunulması ile ilgili olarak sahip olmaları gereken enerji performanslarını ve dolayısıyla çevreye olan etkilerini azaltmayı içermektedir. Tesislerin tasarımı ve yerleşimlerinin planlanmasında eko tasarım konusu ele alınabilir. Binalara ait çatı, duvar, kapı ve pencere gibi unsurların izolasyonunun yanı sıra, aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma konuları bu sürece dahil edilebilir.

Tesiste yer alacak olan makine ve ekipmanların yerleşimleri, aynı zamanda iş akış süreçlerinin de belirlenmesi anlamına gelmektedir. Üretimi yapılacak ürünün ihtiyaçlarına uygun olarak iş istasyonlarının oluşturulması, duruşların azaltılması, gereksiz hareket ve birikmelerin önüne geçilmesi süreçlerinin optimizasyonu gibi konular ele alınmalıdır.

Üretim süreçlerinin otomatikleştirilmesi, proses kalitesinin artırılması ve üretim verilerinin merkezi Scada sistemleri vasıtası ile izlenebilmesi otomasyon kontrol sistemleri ile mümkün olabilmektedir. Bu otomasyon sistemleri, üretim kontrolünün yanı sıra enerji ölçümleri ile üretim süreç ve miktarlarının mukayese edilebilmesine olanak sunmaktadır. Otomasyon sistemleri ne kadar çok üretim süreçlerine dair veriyi işleyebiliyor ise o derece etkin proses kontrolü yapılabilir ve olası duruşların önüne geçilebilir.

Aynı işin gün içerisinde tekrar tekrar yapılıyor olması çalışan personelin performansını etkileyecek bir unsur olarak değerlendirilebilmekte ve bu tekrar eden rutin işlerin mekanik robotlar vasıtasıyla yapılması söz konusu olmaktadır. Aynı kalite ve tempo ile çalışabilen robotlar ağır yüklerin kaldırılmasında, parçaların bir noktadan bir noktaya taşınmasında, kaynak ve montaj hatlarında, boyahanelerde ve tehlikeli iş ortamlarında kullanımları ile iş süreçlerindeki verimi ve dolayısıyla birim enerji ile üretilebilecek değer

miktarının artışı ile enerji verimliliğini artıcı bir unsur olarak değerlendirilebilir. Robotların yanı sıra insanlar ile çalışabilen cobot adı verilen robotlar da mevcuttur. Robotların çalışma alanları içerisine insanın girmesi bir iş güvenliği riski oluşturmasına rağmen cobotlar, insanlar ile çalışmak ve insanların işini kolaylaştırıcı bir görevi yerine getirmek için tasarlanmışlardır. Birim enerji ile elde edilen çıktı miktarını artıcı etkileri nedeni ile cobotlar da enerji verimliliğini artıcı konuma sahiplerdir.

Enerji verimli ürün tedariği, dikkate alınan bir konu gibi görülse de gerçek anlamda anlaşılabilmiş bir konu değildir. Ürünlerin toplam maliyetleri satın alma maliyetlerinden farklıdır. Bir elektrik motorunun toplam maliyeti içerisinde satın alma maliyeti %4-5 arasındadır. Kalan maliyet ise işletme ve bakım giderlerini oluşturmaktadır. Güvenilirliği kanıtlanmış bir ürünün, yaşam çevrimi süresince toplam maliyeti göz önüne alınarak yapılacak olan satın almalar uzun vadede enerji verimliliğini artırıcı bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

Makine ve ekipmanların ebatlandırılması yani nominal çalışma değerlerine uygun olarak seçimlerin yapılması ve çalışma koşullarının oluşturulması enerji verimliliğine olumlu etkisi olan bir konudur. Kapasitesinin altında çalışan makine ve ekipmanlar birim enerji ile istenilen çıktıyı üretemeyeceklerinden dolayı enerji verimliliğine olumsuz etki yaparlar. Nominal çalışma değerlerinin üzerinde çalıştırılan makine ve ekipmanlarda ise potansiyel çalışma ömründen daha kısa bir süre içerisinde makine ve ekipmanlarının kullanım dışı olması, çalışma ısısında artış yaşaması ve enerjinin ısı ile kaybedilmesi, aşınmalar, metal yorgunluğu gibi dezavantajların ortaya çıkmasına sebep olabilir. Pik yüklerin tolere edilmesi ile uygun ekipman seçimi, aktarma organlarının ve redüktörlerin kullanılması yardımcı unsurlardandır.

Çalışma ortamında personeli etkileyen ve verimi düşürebilecek veya artıracak etkiye sahip bazı unsurlar da vardır. Tesisteki gürültü miktarı, aydınlatma şiddeti, sıcaklık ve çalışmayı kolaylaştırıcı ergonomik tasarımlar, birim çıktı miktarını artıcı unsurlar olarak enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahip konular arasında değerlendirilebilir. Bu

bağlamda tesis tasarımları ile ilgili olarak Breeam, DGNB, WELL, LEED gibi binalara ait performans kriterlerinin hem fiziki şartlar hem de insan ve çevre etkisi üzerine etkilerini birlikte değerlendirecek uluslararası standartlar mevcuttur.

Tasarım fazında ele alınabilecek bir diğer konu ise ürün yaşam çevrimi (PLM) yönetimidir. Bir ürüne ait tüm süreçlerin tasarımdan, geliştirilmesine, üretiminden, pazara sunulmasına, servis ve destek hizmetlerinden, kullanımdan kaldırılmasına kadar geçen tüm süreçlerin yönetimini içine alan bir yapısı vardır. Ürüne ait değer zincirini tümleşik olarak görmeyi sağlar, tasarımcılara ürün geliştirmeleri esnasında ihtiyaç duydukları verilerin akışını sağlayan bir yönetim sistemidir.

Tasarımı yapılan ürün ve sistemlerin simülasyonlarının yapılması, önemli konular arasındadır. Simülasyonlar elde mevcut bulunmayan fiziki koşulların, bilgisayar yazılımı ortamlarında modellenmesi olarak düşünülebilir. Bu sayede uygun tasarımların fonksiyon testleri ve gerekli düzeltmeleri ve geliştirmeleri düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir.

3.5.3 İmalat-İşletme fazı içerisinde ele alınan konular

İmalat-işletme fazı içerisinde enerji yönetimi, kullanılan ekipman ve makinelerin etkin kullanımı ile ilişkilidir. İşletme prosedürleri ve rutin iş akışları için operatörler ile üretim planlamacıları arasında ortak dil geliştirilmelidir. Bu sayede yanlış anlaşılmaların önüne geçme imkânı elde edilerek gereksiz duruşlar azaltılabilir, hatalı ürün üretimi düşürülebilir, boşta bekleme süreleri azaltılabilir, gecikmeler ve benzeri durumların oluşmasının önüne geçilebilir. Bu önlemlerin tümü, birim enerji ile üretilen çıktı miktarını artırıcı bir etkiye sahip olduğundan enerji verimliliğini artırıcı bir unsur olarak da değerlendirilebilir. Bu faz içerisinde ele alınacak olan kavram ve konular aşağıda verilmiştir:

Enerji Yönetimi, enerji talebinin karşılanabilmesi için enerjinin üretilmesi, depolanması, dağıtımının yapılması, planlanması ve işletilmesi unsurlarını göz önüne alarak çevresel etkileri en aza indirmek ve sürdürülebilir bir ekosistem oluşturmayı amaçlar. Tesislerde

enerji tüketiminin ana unsuru makine ve ekipmanlarda kullanılan enerjiden kaynaklanır. Aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma ve ofislerde tüketilen enerji ise nispeten daha az maliyet oluşturur. Önceliklere göre yönetim bakış açısına göre oluşturulacak pareto analizleri ile en yüksek enerji tüketimi olan makine ve ekipmanlardan başlanıp, önceliklendirme yapılarak enerji verimliliği politikaları geliştirilebilir. Isıl işlem gerektiren süreçlerde enerji tüketimleri yüksektir. Ön ısıtma sistemlerinin kurulumu, atık ısı geri kazanım sistemlerinin kurulması gibi önlemler ile ısı enerjisi olarak kaybedilen enerjiden faydalanma yöntemleri geliştirilerek üretilen değer miktarında artış elde edilebilir. Aynı şekilde tesislerde işleme merkezlerinde de yüksek enerji tüketimi söz konusudur. İşleme merkezlerine parça bağlama süreçleri duruşlara neden olur, bu duruş sürelerini kısaltıcı tedbirler, toplam ekipman etkinliğini (OEE) artırıcı bir unsur olarak ortaya çıkar. OEE, makinelerin iş yapmak üzere hazır bulunmalarını yani çalışabilir olma sürelerini artırmayı, makineleri normal hızda, aynı performansta çalıştırmayı ve makineleri kusurlu üretim yapmaktan alıkoymayı içerir. Bu bağlamda işleme merkezlerinin boşta çalışma sürelerinde azalma sağlayacak çalışmalar hem OEE değerlerini artıracak hem de harcanan enerji miktarının azaltılması ile verimliliği artırıcı bir etki yapacaktır. İşleme merkezlerinde, yük rampalarının değişimi de enerji tüketimine etki eder. Farklı yük rampaları ile talaş kaldırma işlemleri farklı seviyelerde enerji tüketimlerine neden olacağından istatistiksel modelleme ile en uygun yük rampalarının ürünlere uygulanması durumu söz konusu olabilir. Kullanılan ham maddenin kalitesi de tüketilen enerji miktarında artışa neden olabilir. Bu nedenle tedarik zinciri, işletme aşamasında da etki oluşturan bir unsur olarak değerlendirilebilir.

Tesislerde, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) konusu da enerji yönetimi konusu içerisinde ele alınması gereken konular arasındadır. Tesislerin ısıtma enerjisini düşürmek için sıcaklık kontrol sistemlerinin kullanılması gereklidir. Endüstriyel binalarda ve depolama alanlarında gereksiz ısıtma yapılabilmektedir. Tesisin ısıtma performansının tespiti sonrasında farklı ısı bölgelerine ayrılarak bölgesel iklimlendirme sistemleri devreye alınabilir. Bu sayede ihtiyaçtan daha fazla enerjinin tüketilmesinin

önüne geçilebilir. Tatil günlerinde ve tesislerin kapalı olacağı dönemlerde, zaman kontrolü ile iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimleri düşürülebilecektir. Aydınlatma kontrolü de iklimlendirme konusu ile ele alınabilecek bir konudur. Makine ve ekipmanların bulunduğu alanlarda iş güvenliği bakış açısı ile aydınlatma şiddetinin nispeten yüksek olması gerekli iken depo alanlarında bu değer daha düşük olabilir. Ofis aydınlatma sistemleri de ihtiyaca göre konfor göz önüne alınarak enerji verimliliği bakış açısı ile ele alınabilir. Varlık yokluk sensörlerinin kullanımıyla personelin bulunmadığı alanlarda aydınlatma sistemlerinin kapatılması söz konusu olabilir. Işık şiddetini ölçen sensörler ve ışık şiddeti ayarlanabilir led armatürlerin kullanımı ile aydınlatma şiddetinin kontrolü yapılabilir. Bina otomasyonu sistemleri konusuna yapılacak olan yatırımlar ile enerji verimliliğinde artış elde etme imkânı söz konusudur. Pasif enerji verimliliği artırma önlemleri arasında bina çatı, dış cephe ve pencere izolasyonları da ele alınabilir. Ortamlar arası ısı akışlarının önüne geçilerek enerji kayıplarının önlenmesi mümkündür. Tesis içerisinde yer alan proses ekipmanları için izolasyon konusu da ele alınmalıdır. Buhar, sıcak su, soğuk su ve proses kimyasallarının bir noktadan başka bir noktaya taşınması için kullanılan boru hatlarında ceket tipi izolasyon malzemelerinin kullanılması mevcut enerjinin korunması ve kayıpların önüne geçilmesi için önemlidir.

Basınçlı hava kullanım ihtiyacı tesislerde kompresörlerin kullanımını ortaya çıkarmaktadır. Tesiste ihtiyaç duyulan toplam basınçlı hava ihtiyacı, süreçlerin analiz edilmesi ve ortalama talebin belirlenmesi ile tespit edilebilir. Anlık yüksek basınçlı hava kullanımlarını karşılayabilmek için havanın depolanabileceği tanklar kullanılır. Bu sistemlerin verimli çalıştırılabilmesi için kullanılan filtrelerin ve kurutucuların bakımları yapılmalı, yağlama sistemleri kontrol edilmeli dağıtım noktaları için uygun ekipman kullanılmalı, hava kaçaklarının önüne geçilmelidir. Basınçlı hava sistemlerinde kaçakların tespit edilmesi zor bir süreçtir. Bu kaçakları tespit etmek için veri kaydetme sistemleri kullanılabilir. Hava akış miktarları, basınç ve sıcaklık parametreleri izleme sistemlerinde kullanılabilir. Sızıntıları tespit etmek için yüksek frekanslı ultrasonik sensörler de bir çözüm olarak ortaya çıkar. Ortalama bir tesiste, basınçlı hava

sistemlerinin kapasitesinin %20'si kaçak olarak kaybedilmekte olmasından dolayı enerji tasarruf potansiyeli yüksek olan bir konudur. Tesiste mevcut bulunan kompresörlerin kapasitelerine bağlı olmakla birlikte, kompresörlerde açığa çıkan ısı enerjisinin geri kazanımı yöntemi ile elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Bu sayede toplam enerji verimliliği artırılmış olur.

Tesislerde enerji tüketiminin önemli bir bölümü elektrik motorlarında tüketilir. Elektrik motorlarının işletme ömürleri 15 yıl ile 25 yıl arasında olabilir. Motor verimlilikleri, elektrik enerjisinin mekanik enerjiye çevrim oranı üzerinden belirlenir. Motorlar için IEC normuna göre verimlilik standartları belirlenmiştir. IE1 Standart verimliliği temsil eder. IE2 yüksek verimliliği, IE3 üstün verimliliği temsil eder. IE4 süper üstün verimliliği ve IE5 ise ultra üstün verimliliği temsil eder. Bu bağlamda kullanılan motorun verimlilik grubuna bağlı olarak %40'a varan bir enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Motorlar ile yükler arasındaki oran da enerji verimliliğine etki eder. Motor nominal gücü ile yük arasındaki oran %65 ile %100 arasında olacak şekilde ürün seçimi yapılması, motorun istenilen performansta çalışmasına katkıda bulunur. Eğer daha düşük bir yük ile motor çalıştırılırsa boşta çalışma kayıplarından dolayı daha verimsiz bir kullanım ortaya çıkar. Yüklerin ihtiyaç duyacağı pik akımları karşılayabilmek için motor seçiminde teknik dokümanlar incelenerek yük profiline en uygun motorun seçimi sağlanmalıdır. Aktarma organları olarak motorlar ile redüktörler de kullanılırlar. Bağlantı tipi, yük motor, redüktör ekseninde hizalama, uygun ekipman seçimi, düzgün montaj, yağlama, kir ve korozyona karşı bakım, ısı ve vibrasyon kontrolü, sargı yalıtımı izleme gibi tedbirler ile motor ve aktarma organlarından en etkin bir şekilde faydalanmak mümkündür. Elektrik motorları, hidrolik sistemleri hareket ettirmek, konveyör hatların çalıştırmak, fan ve pompa sistemlerini çalıştırmak için kullanılabilirler. Tüm bu uygulamalarda enerji verimliliğini gözetebilmek için uygun motor yol verme sistemi seçilen uygulama için kullanılmalıdır. Değişken frekanslı motor yol verme cihazlarına genel olarak motor sürücü adı verilir. Bu sürücüler ile değişen yük profillerine karşılık gelecek miktarda elektrik enerjisini mekanik enerjiye verimli bir şekilde dönüştürmek mümkündür. Farklı

proseslerin ihtiyaç duyduğu enerji miktarlarını etkin bir şekilde karşılama imkânı sunan motor sürücüleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tesislere enerjinin ilk olarak girdiği yer güç trafolarıdır. Güç trafolarının seçimi tesislerin ihtiyaç duyacağı kurulu güce göre belirlenir. Çalışma sıcaklıkları trafoların verimliliklerini etkiler. Sıcaklık artışının anlamı verim düşümüdür. Bu sebeple trafo sargı sıcaklıklarını izlemek ve sıcaklık kontrolü yapmak, trafonun verimli çalışması için önem arz eder. Tesiste tüketilen enerji kapasitif ve endüktif yükler olarak tüketilirler. Kapasitif ve endüktif yüklerin takibi kompanzasyon sistemi adı verilen özel sistemler ile kontrol edilir. Kapasitif ve endüktif yüklerin devreye girip çıkmaları, elektrik sistemlerinden harmonik adı verilen ve şebeke frekansında meydana gelen bozulmalara yol açar. Harmonikler boşa tüketilen enerjiye neden olmalarının yanında mevcut makine ve ekipmanların çalışmasına da olumsuz yönde etkide bulunacaklarından, harmoniklerin filtrelenmesi için kontrol sistemleri kullanılmalıdır. Enerji genellikle tesise girdiği noktada ölçülür. Tüketim noktalarında da enerji ölçümleri yapılabilirse enerji kayıplarının nerelerde oluştuğunu tespit etmek mümkün olur. Elektrik panolarında, güç ve kumanda kablolarında oluşabilecek enerji kayıplarının tespit edilmesi durumunda, uygun kesit ve kapasiteye sahip ürünler ile değişimlerin yapılması enerji verimliliğini artıracaktır. Talep tarafı enerji tüketimi konusu, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı dönemlerde oluşan talebin daha düşük enerji talebi olduğu dönemlere kaydırılarak enerji talebinde gün içerisinde bir denge oluşturmayı amaçlar. Bu nedenle, talep tarafı yük dengesini sağlamak üzere elektrik tedarikçisi firmalar, farklı fiyatlandırma politikaları ile bu dengeyi sağlamaya çalışırlar. Aynı şekilde tesisler de enerji tüketim değerlerini dengelemek ve enerji maliyetlerini kontrol altına almak için üretim palanlarını, enerji tüketim değerleri ve enerji maliyetlerine göre uyarlayarak maliyet avantajı oluşturabilirler.

Tesiste yer alan makine ve ekipman verileri ile iş süreçlerini gerçek zamanlı olarak takip etmek mümkündür. Nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının da gelişimi ile uygun ölçüm sensörlerinin kullanımı ve metroloji teknikleri ile elde edilen proses verileri büyük veri olarak kayıt altına alınabilmektedir. Bu büyük veri analitiği ve istatistik yöntemleri

kullanılarak prosesler geliştirilebilir. Hammaddelerde oluşan kalite farklılıklarını ortadan kaldıracak olan, farklı katkı maddelerinin ne kadar kullanılması gerekli olduğuna dair hesaplamalar çok hızlı bir şekilde yapılarak uygulanması imkânı ortaya çıkmaktadır. Bu sistem tümleşik olarak ele alındığında mevcut tesisin sanal ortamda bir dijital ikizi oluşturularak proses kontörlü bu ortamda modellendikten sonra kontrol sisteminin fiziki ortamda harekete geçmesi sağlanabilir. (NAMUR, 2022) Farklı senaryolar oluşturularak tesislerin yaşlanma süresi tespit edilebilir, arıza durumları daha oluşmadan tespit edilebilir, ürün geliştirme ve modellemeler yapılabilir. Yeni tesis kurulumları esnasında dijital ikizden elde edilen veriler ile daha etkin devreye alma ve test süreçleri geliştirilebilir.

3.5.4 Bakım fazı içerisinde ele alınan konular

Bakım fazı yaşam çevrimi aşamaları içerisinde önemli bir konuma sahiptir. Tesislerin, makine ve ekipmanların beklenen çalışma ömürlerini artıcı bir etkisi mevcuttur. Toplam verimli bakım yönetimi politikaları ile istenmeyen duruş sürelerinin önüne geçilerek birim enerji ile üretilen çıktı miktarını artırarak enerji verimliliğinde artış elde etmek mümkündür. Bu faz içerisinde ele alınacak olan kavram ve konular aşağıda verilmiştir:

Düzenli bakım, belirli periyotlarda makine ve ekipmanların bakımlarının yapılması anlamına gelir. Bir arıza oluşmasa bile makine veya ekipmana bakım yapılır. Bu sayede istenmeyen duruşların önüne geçmek amaçlanır. Bu tür bir bakım yönteminde kullanılan yedek parça kalitesi ve bakım personelinin bilgi, beceri ve kabiliyetleri önemlidir. Bakım için bir duruş planlanması gerekli olduğundan duruş maliyetleri söz konusudur.

Önleyici bakım, beklenmedik arızaların ortaya çıkmasını engellemek ve duruş maliyetlerini azaltmak için geçmiş arıza tecrübelerinden yararlanılarak oluşturulan bakım yönetim sistemi olarak ele alınabilir. Bakım kayıtlarının düzenli tutulması ve raporlanması önemli bir konudur. Üretici tavsiyeleri ve tesis tecrübesi birlikte ele alınarak proaktif bir politika geliştirilir. Yapılan bakımlar için duruş maliyetleri, bu yöntem için de geçerlidir.

Kestirimci bakım, arıza oluşmadan evvel arızayı tespit etmeye yönelik çalışmaların yapıldığı bakım yöntemidir. Kestirimci bakım için düzenli ölçümlerin yapılması gerekir. Elektrik panolarında, kablolarda, motor, fan, redüktör, kompresörlerde ve benzeri yerlerde termal kameralar ile ölçümler yapılarak veriler kaydedilebilir. Motor ve redüktörler için vibrasyon ölçüm sensörleri kullanılarak motor mili, rulman durumu, montaj ayakları gibi konularda bilgi sahibi olmak mümkündür. Hidrolik ve pnomatik sistemler için de veri temin eden sensörler mevcuttur. Online ölçüm sistemleri kurularak anlık ekipman durumu kontrol edilebileceği gibi örnekleme yöntemi ile veriler kayıt altına alınabilir. Kestirimci bakım arıza oluşmadan evvel arıza hakkında bilgi sahibi olmaya fırsat sunduğundan dolayı bakım süreçlerinin planlanması, yedek parça temini gibi konularda esneklik sunar. Tesis için en uygun zamanda bakımın yapılması sağlanabilir.

Fırsatçı bakım yöntemi, mevcut bakım politikalarını tamamlayıcı bir bakım politikası olarak ele alınabilir. Herhangi bir sebeple meydana gelen bir duruş veya bakıma elverişli ortamın mevcut bulunması durumunda bakım işlemlerinin yapılmasını ifade eder. Bakım için ilave bir duruş maliyeti oluşturmadan, en elverişli şartlar altında bakım aktivitelerinin gerçekleştirilmesini öncelikler. Uygun yedek parça, makine ekipmanı ve bakım ekiplerini bakım için hazırda tutma durumu söz konusudur. Bakım duruş maliyetleri diğer yöntemlere göre nispi olarak daha azdır.

Durum izleme ve teşhis, nesnelerin interneti (IoT) kavramının yayınlaşması ile daha sık gündeme gelmekte ve uygulama alanı bulmaktadır. Makine ekipman ve iş süreçlerine ait durum, verilerin veri kayıt cihazları ile kayıt altına alınması ve makine öğrenmesi veya istatistik modelleme yöntemleri ile analiz edilerek çıktılar üretmeye yardımcı olur. Bu çıktılar, bakım süreçlerinin planlanmasının yanında iş süreçlerinin geliştirilmesinde de kullanılabilirler.

3.5.5 Kullanımdan kaldırma fazı içerisinde ele alınan konular

Tesiste yer alan makine ve ekipmanların veya bizzat tesisin kendisinin kullanım ömrü sona erdiğinde oluşan bir maliyet söz konusudur. Bu maliyet, kullanımdan kaldırmadan kaynaklı, üretim yapılamayacak oluşu nedeni ile ortaya çıkan maliyetleri ve ayrıştırma maliyetlerini içerir. Bu maliyelerin içerisinde hiç kuşkusuz enerji maliyetleri de söz konusudur. Tasarım aşamasında, kullanımdan kaldırma fazı göz önüne alınarak yapılan kolay demontaj imkânı sunan tasarımlar, ayrıştırma maliyetlerini azaltıcı bir unsur oluşturur. Söküm işlemine tabi tutulacak olan tesislerin, makine ve ekipmanların ömür sonu potansiyelleri değerlendirilerek, yeniden kullanımı mümkün mü? Yenileme yapılabilir mi? Yoksa geri dönüşüme mi tabi tutulacağı belirlenerek hareket edilir. Metal, plastik, kâğıt gibi materyaller en kolay dönüştürülen materyaller arasında yer alır. Çevreye zararlı maddelerin ayrıştırması ise yasal düzenlemeler bağlamında gerçekleştirilmelidir. Atık ayırma, depolama, ayrıştırma, filtrasyon ve yakma gibi süreçler söz konusudur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

Orta ölçekli tesislerde yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi uygulaması araştırması çalışmasını gerçekleştirmek üzere Alüminyum, Ambalaj ve Paketleme, Demir Çelik, Döküm, Gıda İmalatı, Hijyen Ürünleri, Kimya, Orman Ürünleri, Otomotiv Yan Sanayisi ve Plastik sektörlerinde faaliyet gösteren on iki endüstriyel tesis ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilerek açık uçlu tesis değerlendirme formları kullanılarak yapılmıştır. Görüşme yapılan tesislerde enerji yönetimi konusu farklı yönetim kademeleri tarafından ele alındığı görülmüştür. Tablo 2'de belirtildiği üzere çalışmaya katkı sağlayan tesislerden üç tanesi Enerji Müdürlüğü seviyesinde, beş tanesi Enerji Yöneticisi seviyesinde, bir tanesi Teknik Müdürlük seviyesinde ve üç tanesi de Bakım Müdürlüğü seviyesinde enerji yönetimi konusunu ele almaktadır.

Tablo 2. Enerji Yönetiminden Sorumlu Birimlerin Sınıflandırılması

Enerji Yönetimi Sorumlusu	**Tesis Sayısı**
Enerji Müdürlüğü	3
Enerji Yöneticisi	5
Teknik Müdürlüğü	1
Bakım Müdürlüğü	3

Çalışmaya katılan tesislerde enerji yönetimi ve çevre yönetimi konusu Tablo 3'teki uluslararası standartlar ile takip edilmektedir. Tesislerin dokuzu ISO 50001 Enerji yönetim sistemleri- Kullanım kılavuzu ile gereklilikler standardını uygulamaktadır. Bir tanesi ISO 50002 Enerji denetimleri- Kullanım kılavuzu ile gereklilikleri standardını

uygulamaktadır. İki tanesi ISO 50004 Enerji Yönetim Sistemleri için uygulama, bakım ve iyileştirme için rehberlik standardını uygulamaktadır. Bir tanesi ISO 50008 Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu- Enerji performansı için bina enerji veri yönetimi standardını uygulamaktadır. Bir tanesi ISO 50015 Kuruluşların enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanması standardını uygulamaktadır. Bir tanesi ISO 17741 Projelerin enerji tasarruflarının ölçülmesi, hesaplanması ve doğrulanması için genel teknik kurallar standardını uygulamaktadır. Bir tanesi ISO 17743, Enerji tasarruflarının hesaplanması ve raporlanması için geçerli metodolojik bir çerçevenin tanımı standardını uygulamaktadır. Bir tanesinde ISO 14001 Çevre Yönetim Standardının uygulandığı görülmüştür.

Tablo 3. Tesislerde Takip Edilen Standart Türleri

Takip Edilen Standartlar	**Tesis Sayısı**
ISO 50001 Enerji yönetim sistemleri- Kullanım kılavuzu ile gereklilikler	9
ISO 50002 Enerji denetimleri- Kullanım kılavuzu ile gereklilikler	1
ISO 50004 Uygulama, bakım ve iyileştirme için rehberlik	2
ISO 50008 Enerji yönetimi ve enerji tasarrufu- Enerji performansı için bina enerji veri yönetimi	1
ISO 50015 Kuruluşların enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanması	1
ISO 17741 Projelerin enerji tasarruflarının ölçülmesi, hesaplanması ve doğrulanması için genel teknik kurallar	1
ISO 17743 Enerji tasarruflarının hesaplanması ve raporlanması için geçerli metodolojik bir çerçevenin tanımı	1
ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemleri	1

Katılımcı firmalara sorulan "Tesislerinizde enerji-çevre ilişkisi nasıl ele alınıyor?" sorununa verilen cevaplar Tablo 4'te belirtilmiştir. Çalışmaya katılan on iki firma yasal mevzuatları takip ediyoruz cevabını vermiştir. İki firma kojenerasyon tesisleri ile enerji üretimi ile birlikte ısı enerjisi üretimi de yaptıklarını bu sayede emisyon değerlerini düşürmeye çalıştıklarını belirtmişlerdir. Çalışmaya katılan dört firma karbon emisyonlarını düşürme çabası içerisinde olduklarını belirmiştir. İki firma enerji tasarruflu ekipman temin etmeye çalıştıklarını belirtirken, iki firma atık ısı geri kazanım tesislerinin mevcut bulunduğunu söylemiştir. Bir firma ise güneş ve rüzgâr temelli yenilenebilir enerji santrali yatırımlarının mevcut olduğunu belirtmiştir.

Tablo 4. Tesislerin Enerji- Çevre İlişkisini Ele Alma Yöntemleri

Takip Edilen Yöntem	**Tesis Sayısı**
Yasal Mevzuatlar Takip Ediliyor	12
Kojenerasyon Tesisi Mevcut	2
Karbon Emisyon Değeri Düşürme Çalışması Mevcut	4
Enerji Tasarruflu Ekipman Seçimi Yapılıyor	2
Atık Isı Geri Kazanım Tesisi Mevcut	2
Yenilenebilir Enerji Tesisi Yatırımı Mevcut (GES-RES)	1

Hangi enerji türlerinin tesislerde kullanıldığına yönelik soruya verilen cevaplar Tablo 5'te verilmiştir. On iki firmanın elektrik enerjisi kullandığı, dokuz firmanın doğal gaz kullandığı, bir firmanın likit petrol gazı kullanıldığı, bir firmanın güneş enerjisi kullanıldığı, bir firmanın kömür kullandığı, bir firmanın mazot kullandığı, bir firmanın biyokütle kullandığı, iki firmanın kızgın yağ kullandığı ve bir firmanın talaş kullandığı görülmüştür.

Tablo 5. Tesislerde Kullanılan Enerji Türleri

Kullanılan Enerji Türleri	Tesis Sayısı
Elektrik	12
Doğal Gaz	9
LPG	1
Güneş Enerjisi	1
Kömür	1
Mazot	1
Biyokütle	1
Kızgın Yağ	2
Talaş	1

Tesislerin enerji tüketim miktarlarını tespit etmek üzere sorulan soruya verilen cevaplar Tablo 6'te verilmiştir. İki firma aylık 5000 TEP'den fazla enerji tüketmekte, iki firma 1000-5000 TEP arası enerji tüketmekte, iki firma 500-1000 TEP arası enerji tüketmekte, üç firma 500 TEP değerinden daha az enerji tüketmekte olduklarını söylemişlerdir. Üç firma ise enerji tüketim değerlerini paylaşmamıştır.

Tablo 6. Tesislerde Tüketilen Aylık Enerji Miktarı (TEP)

Tüketilen Aylık Enerji Miktarı (TEP)	Tesis Sayısı
> 5000 TEP	2
1000 - 5000 TEP arası	2
500 - 1000 TEP arası	2
< 500 TEP	3
Bilgi paylaşmayan firma sayısı	3

Tablo 7'de belirtildiği üzere enerji ölçüm ve izleme yöntemleri için üç firma merkezi Scada izleme sistemine sahip olduklarını söyleşmiştir. Üç firma anlık sayaç izleme sisteminin var olduğunu, altı firma ise enerji sayaçlarının ilgili personel tarafından belirli periyotlarda manuel olarak ölçümlerinin yapıldığını belirtmişleridir.

Tablo 7. Tesislerde Enerji Ölçme ve İzleme Sistemleri ve Yöntemleri

Enerji Ölçme ve İzleme Yöntemleri	Tesis Sayısı
Merkezi Scada İzleme Sistemi ile	3
Anlık Sayaç İzleme Sistemi ile	3
Sayaçların Personel Tarafından Periyodik Okunması ile	6

Tablo 8'de verildiği üzere enerji tüketimlerinin ölçüm periyotları altı firmada anlık olarak yapılmaktadır. Üç firmada günlük tüketimler takip edilmekte, bir firmada haftalık değerler takip edilmekte ve iki firmada aylık veri değerlendirme yöntemi kullanılmaktadır.

Tablo 8. Tesislerde Enerji Ölçme Periyodu Yöntemleri

Enerji Ölçme Periyodu	Tesis Sayısı
Anlık Tüketim İzleme	6
Günlük Tüketim İzleme	3
Haftalık Tüketim İzleme	1
Aylık Tüketim İzleme	2

Tablo 9'da yapılan ölçümlerin saklanması yöntemi konusunda yedi firma değerleri server veri tabanlarında, dört firma bilgisayarda excel tabloları halinde, enerji takip formları şeklinde sakladıklarını belirtirken bir firma ise özel bir veri saklama yönteminin bulunmadığını ifade ettiğini görmekteyiz.

Tablo 9. Enerji Ölçüm Verilerini Saklama Yöntemleri

Enerji Ölçüm Verilerini Saklama Yöntemi	Tesis Sayısı
Server- Veri Tabanında	7
Enerji Takip Formu- PC'de Excel Tablosu Olarak	4
Saklanmıyor	1

"Elde edilen enerji yönetimi sonuçlarının değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve gerekli düzenleme çalışmalarını kim tarafından yapılmaktadır?" sorusuna verilen cevaplar Tablo 10'da verilmiştir. Beş firma konunun tepe yönetim tarafında ele alındığını, üç firmada enerji müdürlüğü tarafından değerlendirildiği, beş firmada enerji yöneticisi tarafında ele

alındığı ve iki firmada teknik müdürlük tarafından, üç firmada ise bakım müdürlüğü uhdesinde konunun takip edildiği belirtilmiştir.

Tablo 10. Enerji Ölçüm Verilerini Takip Eden Departmanlar

Enerji Ölçüm Verilerini Takip Eden Departman	Tesis Sayısı
Tepe Yönetim	5
Enerji Müdürlüğü	3
Enerji Yöneticisi	5
Teknik Müdürlük	2
Bakım Müdürlüğü	3

"Enerji verimliliğinin etkinliği ve tasarruf miktarlarının nasıl takip edildiği" sorusuna verilen cevaplar arasında projeler için fayda-sonuç analizlerinin yapıldığı, OEE genel ekipman etkinliği takibinin yapıldığı, verimlilik artırıcı çalışmalar öncesi ölçülen değerler ile sonrası arasında mukayeselerin yapıldığı, üretim periyotlarında tüketilen enerji miktarlarının birbirleri ile mukayeselerinin kullanılan Scada yazılımları ile yapıldığını, makine ve ekipman bazlı enerji tüketimlerinin takip edilerek benzer işi yapan makine ve ekipmanların enerji analizörleri ile tüketimlerinin ölçülmesi yöntemi ile performanslarının takip edildiği ifade edilmiştir.

"Yaşam çevrimi değerleme aşamalarına uygun olacak şekilde enerji verimliliği konusunu, tasarım, imalat, işletme, bakım ve kullanımdan kaldırma süreçleri için nasıl değerlendiriliyor, ölçümler yapılabiliyor mu?" sorusuna verilen cevaplar arasında yeni tesislerin kurulumları için hazır senaryolarının mevcut bulunduğu, fizibilite ve amortisman hesaplama raporlarının hazırlandığı, mevcut tesisler için her birimin konuyu kendisinin takip ettiğini, maliyet unsuru oluşturan tüm kalemlerin değerlendirmeye tabi

tutulduğu, enerji tüketimi yüksek olan ürünlerin daha verimli ekipmanlar ile yatırım bütçeleri dahilinde değiştirildiği şeklinde cevaplar verilmiştir.

4.2 Tartışma

Yaşam çevrimi perspektifinde enerji yönetimi uygulaması araştırması yaptığımız bu çalışmada Alüminyum, Ambalaj ve Paketleme, Demir Çelik, Döküm, Gıda İmalatı, Hijyen Ürünleri, Kimya, Orman Ürünleri, Otomotiv Yan Sanayisi ve Plastik sektörlerinde faaliyet gösteren on iki firma temsilcileri yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Bu firmalarda Enerji Yönetimi kavramı farklı yönetim kademelerinde ele alınarak çalışmalar sürdürülmektedir. Tesislerden sekiz tanesinde enerji müdürlüğü veya enerji yöneticiliği pozisyonu ile enerji yönetimine has personel tarafından konu takip edilirken, dört tesiste teknik müdürlük ve bakım müdürlüğü seviyesinde konu ele alınmaktadır. Enerji yönetimi konusu, tesislerin artan enerji maliyetleri ve maliyetleri düşürmeleri sonucunda elde edecekleri rekabet avantajları ön plana çıkacağından tesisler tarafından dikkatlice takip edilmekte olduğu şeklinde yorumlanabilir. Enerji verimliliği kavramı birim enerji miktarı ile üretilen çıktı miktarı ve değerini artırmak olarak tanımlanabileceğinden tesislerde kullanılan enerji tasarrufu terimi aslında çıktı miktarını sabit tutarak enerji miktarını azaltmak anlamında negatif bir kavram olarak ele alınmaktadır. Halbuki tesislerin var oluş amaçları çıktı üretmek ve katma değer oluşturmaktır. Bu bağlamda enerji tasarrufu teriminden ziyade enerji verimliliği artışı terimini kullanmak motivasyon artırıcı bir unsurdur. Enerji-çevre ilişkisi konusu ise daha çok yasal düzenlemelerin kapsamında ele alınmaktadır. Çalışmaya katılım sağlayan tesislerde, yaşam çevrimi perspektifi ile enerji yönetimi konusu her ne kadar farkında olmadan bazı yaşam çevrimi fazları (işletme ve bakım fazları) için ele alınmış olsa da bilinçli şekilde tümleşik bir bakış açısı tespit edilememiştir.

Tesislerde kullanılan enerji türleri ele alındığında, kullanım alanlarına göre enerji verimliliği projelerinin geliştirilebilmesine yönelik potansiyelin olduğu gözlemlenmiştir.

Tesislerin tümünde beklendiği üzere elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Doğal gaz ise dokuz tesiste yakma ve ısıtma süreçleri için kullanılan bir enerji türüdür. Bu iki enerji türüne ilave olarak likit petrol gazı, kömür, mazot, kızgın yağ ve talaş kullandığı görülmüştür. Temiz enerji türlerinden güneş enerjisi ve biyokütle temelli enerji kullanımı mevcut olan tesisler de bulunmaktadır. Doğalgaz, kömür, talaş gibi yakma proseslerine sahip tesisler için atık ısı geri kazanımı projeleri geliştirilerek enerji tasarrufu elde etme imkânı mevcut bulunmaktadır. Kullanılan elektrik enerjisinin tüketim noktalarının yoğunluklarına göre yapılacak analizler ile işletme süreçlerinde tüketim gerçekleştiren makine ve ekipmanların enerji miktarlarının izlenmesi mümkün olacaktır. Aylık, haftalık ve günlük enerji izleme yöntemlerine nazaran anlık enerji izleme sistemlerinin kurulması işletme süreçlerinde enerji tüketimlerini gerçek anlamda takip edebilme imkânı sunarak boşta çalışma süreleri içerisinde tüketilen enerjinin boşa harcanmasının önüne geçme imkânı sunacaktır. Üretim yönetim metotları ile enerji yönetim politikalarının birlikte kullanılması ile üretimin enerji fiyatlarının düşük olduğu saat dilimlerinde artırılması, enerji maliyetlerinin yüksek olduğu saatlerde ise üretimin azaltılması veya bakım faaliyetlerinin planlanması, ürün değişimlerinin gerçekleştirilmesi gibi operasyonel süreçlerin enerji odaklı olarak planlanması mümkün olacaktır. Bu bağlamda enerji yönetimi konusunun tesiste yer alan tüm birimlerin ortak hareket etmesi ve kurum kültürü olarak benimsenmesi enerji verimli üretimin gerçekleştirilmesi için önem arz etmektedir. Yapılacak düşük bütçeli yatırımlar ile kestirimci bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine imkân sağlayacak ölçüm sistemleri, sensörler, infrared sıcaklık göstergeleri, enerji analizörleri, basınç transmiterleri, yağlama sistemleri, kontrol ekipmanları gibi arıza oluşmazdan evvel arızanın tespitine olanak sağlayacak ekipmanlarının kullanımı vasıtasıyla ne zaman arızanın oluşacağını tespit etme imkanının elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu tespitler sonrasında üretim ve bakım süreçleri için en uygun ortamda bakım faaliyetleri yerine getirilebilecektir. Tesis herhangi bir sebep ile dış veya iç nedenlerden dolayı duruş yapmak mecburiyetinde kalması halinde ise elde edilmiş olan ölçüm verilerinin ışığında fırsatçı bakım faaliyetlerinin de gerçekleştirilmesi mümkündür. İlgili uluslararası standartların ışığında geliştirilecek olan enerji yönetim

stratejileri ve politikaları ile enerji verimli ürünleri satın alınması konusu prosedürlere bağlanılabilmekte olup temin edilecek ürünleri yaşam çevrimleri boyunca enerji tüketim değerleri, satın alma maliyetleri, işletme maliyetleri, bakım ve hurdaya çıkarma maliyetleri tümleşik olarak ele alınarak gerçek satın alma maliyetini tespit edebilme kültürü bu politikalar ile elde edilebilecektir. Firmaların kendi bünyelerinde oluşturdukları enerji yönetim sistemleri ve politikalarının tesislere hizmet sunan tedarikçiler, mühendislik firmaları ve hizmet firmaları tarafından da benimsenmiş olması hem tesis için hem de tesislere hizmet veren ekosistem için enerji verimli bakış açısı sunarak bütünleşik bir sistem faydası elde etmeye olanak sunacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Özet

Çalışmaya katkı sunan firmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda enerji yönetimi konusunun ciddiyetle ele alındığı görülmüştür. Genel olarak yasal mevzuatlar çerçevesinde çevre yönetimi konusunda bir hassasiyet olmakla birlikte enerji yönetimi ve çevre ilişkisini bütünleşik anlamda ele almak için kullanılabilecek bir yöntem olan yaşam çevrimi değerleme yöntemi, tesisler tarafından tam olarak bilinmediğinden yeterince çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Münferit olarak yaşam çevrimi değerleme sisteminin farklı aşamaları için müstakil bazı uygulamalar yapılmış olsa da genel olarak bilinçli bir şekilde çalışma yapılamadığı gözlemlenmiştir.

5.2 Yargı

Yaşam çevrimi perspektifinde enerji yönetimi konusu sadece yatırım yapan işletme sahiplerine fayda sağlamakla kalmayıp, sürdürülebilir bir ekosistem oluşturmak üzere çevreci bir bakış açısı da sunmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artışlar ve enerji arzındaki değişkenlikler sebebiyle nihai durumda sıfır enerjili, kendi kendine yetebilen tesisler kurulması hedefine yaklaşmak için yaşam çevrimi değerleme sistemi ekseninde enerji yönetim politikaları geliştirmek kullanışlı bir araç olarak değerlendirilebilir. Paris İklim Anlaşması hedeflerine ulaşmak ve sera gazı emisyonlarını düşürmek için çevreci enerji yönetim politikaları geliştirilmelidir. Kavramsal fazdan başlayarak tasarım, imalat-işletme, bakım ve kullanımdan kaldırma fazlarının tümünde enerji verimliliği odaklı enerji yönetim sistemlerinin oluşturulması, bu belirtilen hedeflere ulaşmak için kullanışlı bir yöntem olarak görülmektedir.

5.3 Öneriler

Covid-19 pandemisi şartlarında yapılmış olan bu çalışma, sınırlı sayıda tesis ile yüz yüze görüşme yapma durumunu ortaya çıkarmıştır. Bu zorlu şartlar altında yapılmış olan çalışmanın, ilerde yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi konusunu ele almak isteyecek araştırmacılar için bir rehber niteliğinde olacağı düşünülmektedir. İleride araştırmacılar tarafından yaşam çevrimi perspektifine göre enerji yönetimi konusunun bilinirliliğini artıracak, ekonomik, sosyal ve çevresel fayda sağlamayı amaçlayan çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

ABB. (2022). *Elektrik Sistemlerinin Verimliliği.* ABB: https://library.e.abb.com/public/b852bd8b27044ee78eb9859db4309923/Teknik%20Foy-Elektrik%20Sistemlerinin%20Verimliligi%209AKK107680A4028-TR.pdf adresinden alındı

Ahmed, R., & Stater, M. (2016). Is energy efficiency underprovided? An analysis of the theprovision of energy efficiency in multi-attribute products. *Resource and Energy Economics*, 132-149.

Bovea, M. D., Fores, V. I., & Belis, V. P. (2019). Repair vs. replacement: Selection of the best end-of-life scenario for small household electric and electronic equipment based on life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 1-14.

Brent, D. A., & B.Ward, M. (2018). Energy efficiency and financial literacy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 181–216.

Brent, D., & Ward, M. (2017). Energy efficiency and financial literacy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1-36.

Catrini, P., Cellura, M., Guarino, F., Panno, D., & Piacentino, A. (2018). An integrated approach based on Life Cycle Assessment and Thermoeconomics: application to a water-cooled chiller for an air conditioning plant. *Energy*, 1-2.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022, 1 1). *Birincil ve Nihai Enerji Yoğunluğu*. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/birincil-ve-nihai-enerji-yogunlugu-i-85811 adresinden alındı

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022, 7 15). *Sürekli İzleme Merkezi*. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: https://sim.csb.gov.tr/ adresinden alındı

Collina, C., Linnetb, A., & Sechera, A. Q. (2018). Life Cycle Engineering from the perspective of an engineering consultancy. *25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference* (s. 1-2). Copenhagen, Denmark: Elsevier.

Collinge, W., Landis, A., Jones, A., Schaefer, L. A., & Bilec, M. M. (2014). Productivity metrics in dynamic LCA for whole buildings: Using a post-occupancy evaluation of energy and indoor environmental quality tradeoffs. *Building and Environment*, 339-349.

Costantini, V., Crespi, F., & Paglialunga, E. (2018). The employment impact of private and public actions for energy efficiency:Evidence from European industries. *Energy Policy*, 250-267.

Crane, B., & Hartwell, C. J. (2019). Global talent management: A life cycle view of the interaction between human and social capital. *Journal of World Business*, 82-92.

Designing Buildings. (2022, 7 11). *BREEAM*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BREEAM adresinden alındı

Designing Buildings. (2022, 7 25). *BREEAM Construction waste management*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BREEAM_Construction_waste_management adresinden alındı

Designing Buildings. (2022, 7 14). *Design for deconstruction*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_for_deconstruction adresinden alındı

Designing Buildings. (2022, 7 29). *End of life potential*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/End_of_life_potential adresinden alındı

Designing Buildings. (2022, 7 12). *Green supply chain management*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/w/index.php?title=Green_supply_chain_management&oldid=214548 adresinden alındı

Designing Buildings. (2022, 7 12). *Minimum energy efficiency standard (MEES)*. Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Minimum_energy_efficiency_standard_(MEES) adresinden alındı

Duran, O., & Afonso, P. S. (2018). An activity based costing decision model for life cycle economic assessment in spare parts logistic management. *International Journal of Production Economics*, 1-11.

Dwaikata, L. N., & Alib, K. N. (2018). Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: Practical applications. *Journal of Building Engineering*, 303-311.

Elektrik Üretim AŞ. (2021). *Elektrik Üretimi ve Ticareti Sektör Raporu.* Ankara: Elektrik Üretim AŞ.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022, 6 10). *Enerji Verimliliği*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: https://enerji.gov.tr/enerji-verimliligi adresinden alındı

Erixno, O., Abd Rahim, N., Ramadhani, F., & Adzman, N. N. (2022). Sustainable Energy Technologies and Assessments. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 1-10.

European Parliament. (2022, 7 12). *Circular Economy*. European Parliament: https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits adresinden alındı

Fiore, S., Ibanescu, D., Teodosiu, C., & Ronco, A. (2018). Improving waste electric and electronic equipment management at full-scale by using material flow analysis and life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 928-939.

Fürsch, K.-D. (2022, 7 20). *ISO 50001 Energy management systems - Reduce energy costs and achieve a competitive advantage.* TUVSUD: www.tuvsud.com adresinden alındı

Garvey, T., Meyer, D. E., Gonzalez, M. A., Dyson, B., & Carriger, J. F. (2019). A decision analysis approach to electronics standard development informed by life cycle assessment using influence diagrams. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.

German Sustainable Building Council. (2022, 7 10). *DGNB*. German Sustainable Building Council: https://www.dgnb.de/en/ adresinden alındı

Gonzales, A. J. (tarih yok). Energy Efficiency Improvement in the cement Industry through energy management.

González, A. J., Castrillón, R., & Quispe, E. C. (2012). ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN THE CEMENT INDUSTRY THROUGH ENERGY MANAGEMENT. *IEEE*, 1-2.

Grazieschi, G., Gori, P., Lombardi, L., & Asdrubali, F. (2020). Life cycle energy minimization of autonomous buildings. *Journal of Building Engineering*, 1-14.

Guven, H., Wang, Z., & Eriksson, O. (2019). Evaluation of future food waste management alternatives in Istanbul from the life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.

Haeri, H., Perussi, M., & Stewart, J. (2018). Energy efficiency - The bird's-eye view. *The Electricity Journal*, 34-40.

Haeri, H., Perussi, M., & Stewart, J. (2018). Energy efficiency: The bird's-eye view. *The Electricity Journal*(31), 34-40.

Haeri, H., Perussi, M., & Stewart, J. (2018). Energy efficiency: The bird's-eye view. *The Electricity Journal*, 34-40.

IEC. (2022, 7 1). *IEC 60364-8-1:2019* . International Electrotechnical Commission: https://webstore.iec.ch/publication/33598 adresinden alındı

International Electrotechnical Commission. (2022, 7 12). *IEC 60654-1*. International Electrotechnical Commission: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60654-1%7Bed2.0%7Db.img.pdf adresinden alındı

International Electrotechnical Commission. (2022, 7 12). *IEC 60654-2*. International Electrotechnical Commission: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60654-2%7Bed1.0%7Db.img.pdf adresinden alındı

International Electrotechnical Commission. (2022, 7 12). *IEC 60654-4*. International Electrotechnical Commission: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60654-4%7Bed1.0%7Db.img.pdf adresinden alındı

International Electrotechnical Commission. (2022, 7 12). *IEC60654-3*. International Electrotechnical Commission: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60654-3%7Bed1.0%7Db.img.pdf adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2018, Kasım 4). *ISO 50001:2018 – Energy Management System.* www.iso.org: https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100400.pdf adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 9). *ISO/TC 180 SOLAR ENERGY.* International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_180__Solar_energy_.pdf?nodeid=970199&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 12). *ISO/TC 238.* International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_238__Solid_biofuels_.pdf?nodeid=9728785&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 22). *ISO 13373-1:2002(en).* International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13373:-1:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 22). *ISO 13374-1:2003(en).* International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13374:-1:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 15). *ISO 13381-1:2015(en).* International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13381:-1:ed-2:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 3). *ISO 15531-1:2004(en).* the International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15531:-1:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 9). *ISO 17359:2018(en)*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17359:ed-3:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 5). *ISO 18435-1:2009(en)*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18435:-1:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 5). *ISO 18435-3:2015(en)*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18435:-3:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 7). *ISO 23247-1:2021*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:23247:-1:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 3). *ISO 50004:2020(en)*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50004:ed-2:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 9). *ISO 50005:2021 Energy management systems — Guidelines for a phased implementation*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/standard/76428.html adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 15). *ISO 50015:2014* . International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50015:ed-1:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 17). *ISO/IEC 29155-1:2017(en)*. International Organization for Standardization:

https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:29155:-1:ed-2:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 11). *ISO/IEC JTC 1/SC 39*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/committee/654019.html adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 15). *ISO/IEC/IEEE 14764:2022(en)*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:14764:ed-3:v1:en adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 13). *ISO/TC 115*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_115__Pumps_.pdf?nodeid=1161970&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 12). *ISO/TC 117*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_117__Fans_.pdf?nodeid=1194603&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 6). *ISO/TC 163*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_163__Thermal_performance_and_energy_use_in_the_built_environment_.pdf?nodeid=1328347&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 7). *ISO/TC 184*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_184__Ind

ustrial_automation_systems_and_integration_.pdf?nodeid=1001423&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 10). *ISO/TC 197 Hydrogen technologies.* International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_197__Hydrogen_technologies_.pdf?nodeid=852624&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 12). *ISO/TC 22*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_022__Road_Vehicles_.pdf?nodeid=1194599&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 28). *ISO/TC 297*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_297__Waste_collection_and_transportation_management_.pdf?nodeid=21060342&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 13). *ISO/TC 301*. International Organization for Standardization: https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_301__Energy_management_and_energy_savings_.pdf?nodeid=19278553&vernum=-2 adresinden alındı

International Organization for Standardization. (2022, 7 15). *ISO/TS 23764:2021 Methodology for achieving non-residential zero-energy buildings*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/standard/76888.html adresinden alındı

International Organization for Standardization, . (2022, 7 30). *ISO 45001:2018*. International Organization for Standardization: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:en adresinden alındı

ISO 14040. (2007). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.* İsviçre: International Standard.

ISO15686-5:2017. (2018, 11 5). *Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 5: Life-cycle costing.* International Organization for Standardization: www.iso.org/standard/61148.html adresinden alındı

Izquierdo, J., Marquez, C. A., Uribetxebarria, J., & Erguido, A. (2019). On the importance of assessing the operational context impact on maintenance management for life cycle cost of wind energy projects. *Renewable Energy*, 1100-1110.

Javied, T., Bakakeu, J., Gessinger, D., & Franke, J. (2018). Strategic Energy Management in Industry 4.0 Environment. *IEEE*, 1-2.

Karagöl, E. T., & Tür, M. R. (2017). *Türkiye'de Elektrik Enerjisi.* İstanbul: Seta, Siyaset Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı.

Kluczek, A., & Olszewski, P. (2017). Energy audits in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 1-17.

Kosgeb. (2022, Mart 18). *Kosgeb*. Kosgeb: https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/8173/kobi-tanimi-guncellendi adresinden alındı

Mevzuat Bilgi Sistemi. (2022, Ağustos 4). T.C. CUMHURBAŞKANLIĞI MEVZUAT BİLGİ SİSTEMİ: https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.3.6948.pdf adresinden alındı

Monden, Y. (1994). *Toyota Production System.* Springer-Verlag US.

Myrodia, A., Randrup, T., & Hvam, L. (2018). Configuration lifecycle management maturity model. *Computers in Industry*, 30-47.

NAMUR. (2022, 6 15). *AK POSITION „Digital twin in process automation“ updated.* NAMUR, the "User Association of Automation Technology in Process Industries: https://www.namur.net/en/publications/news-archive/ak-position-digital-twin-in-process-automation-updated.html adresinden alındı

Neshumayev, D., Rummel, L., Konist, A., Ots, A., & Parve, T. (2018). Power plant fuel consumption rate during load cycling. *Applied Energy*, 124-135.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production.* Cambridge,: Productivity Press.

(2014). *Onuncu Kalkınma Planı Enerji Güvenliği ve Verimliliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu.* Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı.

Ozturk, M., & Dincer, I. (2019). Life cycle assessment of hydrogen-based electricity generation in place of conventional fuels for residential buildings. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-9.

Parekh, N., Kurian, J., Patil, R., & Gautam, R. (2022). Influencing factors and challenges to energy management and energy efficiency for chemical process SMEs in India. *Materials Today: Proceedings*, 2.

Rigamonti, L., Borghi, G., Martignon, G., & Grosso, M. (2019). Life cycle costing of energy recovery from solid recovered fuel produced in MBT plants in Italy. *Waste Management*, 154-163.

Shi, X., & Li, X. (2018). A symbiosis-based life cycle management approach for sustainable resource flows of industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 324-335.

Shrouf, F., & Miragliotta, G. (2014). Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management. *Journal of Cleaner Production*, 235-247.

Sources of Greenhouse Gas Emissions. (2021, 12 13). EPA United States Envirolment Protection Agency: https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions adresinden alındı

Szajdzicki, K. (2017). Measuring & Maintaining Energy Efficiency SMART approach to Implementing ISO 50001. *IEEE*, 1.

Szajdzicki, K. (2017). Measuring & Maintaining Energy Efficiency SMART approach to Implementing ISO 50001. *IEEE*.

The European Parliament and of the Council. (2022, 7 8). *2006/42/EC Directive*. European Union Law: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:en:PDF adresinden alındı

The European Parliament and of the Council. (2022, 7 4). *2009/125/EC Directive* . The European Parliament and of the Council: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0125&qid=1659263966077 adresinden alındı

The European Parliament and of the Council. (2022, 7 6). *2010/31/EU Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. International Energy Agency: https://www.iea.org/policies/8708-energy-performance-of-buildings-directive-

epbd-201031eu?q=2010%2F31%2FEU+Energy+performance+of+buildings+directive&s=1 adresinden alındı

The European Parliament and of the Council. (2022, 7 15). *2012/27/EU The EU Energy Efficiency Directive.* International Energy Agency: https://www.iea.org/policies/1118-the-eu-energy-efficiency-directive-201227eu adresinden alındı

TUİK. (2016). Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı.

TUİK. (2021, Eylül 1). *Yıllık Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2020*. Türkiye İstatistik Kurumu: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2020-37184 adresinden alındı

Tuo, J., Liu, F., Liu, P., Zhang, H., & Cai, W. (2017). Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual. *Energy*, 172-182.

Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu. (2018, 10 05). Enerji Bakanlığı: http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fenver_gelisim_rapor_2018.pdf adresinden alındı

Türkiye İstatistik Kurumu. (2022, MayısI 25). *Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistikleri, 2019.* TUİK: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kucuk-ve-Orta-Buyuklukteki-Girisim-Istatistikleri-2019-37548 adresinden alındı

U.S. Green Building Council. (2022, 7 10). *LEED*. U.S. Green Building Council: https://www.usgbc.org/leed adresinden alındı

U.S. Green Building Council. (2022, 7 8). *WELL*. U.S. Green Building Council: https://www.usgbc.org/articles/what-well adresinden alındı

Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J., & Spazzafumo, G. (2015). Life-cycle performance of hydrogen as an energy. *International Journal of Hydrogen Energy management solution in hydropower plants: A case study in Central Italy*, 16660-16672.

Walzberg, J., Dandres, T., Merveille, N., Cheriet, M., & Samson, R. (2019). Accounting for fluctuating demand in the life cycle assessments of residential electricity consumption and demand-side management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.

Xu, C., Jia, M., Long, Y., & Jia, H. (2019). Progress on environmental and economic evaluation of low-impact development type of best management practices through a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 1103-1114.

Yang, D. Y., Frangopol, D. M., & Teng, J. G. (2019). Probabilistic life-cycle optimization of durability-enhancing maintenance actions: Application to FRP strengthening planning. *Engineering Structures*, 340-3449.

Zheng, X., Easa, S. M., Yang, Z., Ji, T., & Jiang, Z. (2019). Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: Methodology and case study. *Journal of Cleaner Production*, 659-673.

Zhou, L., Li, J., Li, F., Meng, Q., Li, J., & Xu, X. (2016). Energy consumption model and energy efficiency. *Journal of Cleaner Production of machine tools: a comprehensive literature review*, 1-10.

Zhu, Y., Jiang, S., Zhao, Y., Li, H., He, G., & Li, L. (2019). Life-cycle-based water footprint assessment of coal-fired power generation in China. *Journal of Cleaner Production*, 1-11.

EK-1: Uzman Görüşü Değerlendirme Formu

Soru 1-) Tesisler enerji yönetimi tanımından ne anlamalıdır?

Soru 2-) Enerji yönetimini ele almak için gerekli temel konular nelerdir?

Soru 3-) Enerji Yönetimi konusu nereden başlar nereye kadar devam eder?

Soru 4-) Yaşam Çevrimi Değerlemesi ile Enerji Yönetimi konusu ele alınabilir mi?

Soru 5-) Yaşam Çevrimi Değerlemesi fazları nelerdir?

Soru 6-) Yaşam Çevrimi Değerlemesi fazlarında dikkat edilmesi gereken unsurlar nelerdir?

Soru 7-) Yaşam Çevrimi Maliyetinden ne anlamalıyız?

Soru 8-) Yaşam Çevrimi Değerleme Fazlarında ne tür enerji yönetim unsurları kullanılabilir?

Soru 9-) Kavramsal tasarım fazında sıfır enerjili tesis kurulumu mümkün müdür?

Soru 10-) Kavramsal tasarım fazında tedarik zincirinin kurulumunun enerji yönetimine etkisi nasıl olur?

Soru 11-) Üretim Tesisi tasarımının enerji yönetimine nasıl bir etkisi olur?

Soru 12-) Makine ve Ekipman Seçimleri, tesisi içerisinde yerleşimi, proses iş akış süreçlerinin oluşturulması konusunda enerji odaklı bakış nasıl sağlanır?

Soru 13-) Ekipman seçimi ve nominal yük hesaplamada dikkat edilmesi gereken konular nelerdir?

Soru 14-) Test prosedürleri nelerdir?

Soru 15-) Proseslerde devreye alma yönetmeleri nasıl enerji verimli hale getirilebilir?

Soru 16-) İşletme prosedürleri enerji odaklı nasıl geliştirilebilir?

Soru 17-) OEE toplam ekipman verimliliği nasıl sağlanabilir?

Soru 18-) IoT, Büyük Veri ve Dijital ikiz kavramları enerji yönetim unsuru olarak kullanılabilir mi?

Soru 19-) Enerji yönetimine bakım süreçlerinin katkıları nelerdir?

Soru 20-) Koruyucu, kestirimci ve Fırsatçı bakım kavramları Enerji yönetimi konusu ile ele alınabilir mi?

Soru 21-) Enerji yönetimi konusu kullanımdan kaldırma fazında nasıl ele alınabilir?

Ek-2: Açık Uçlu Tesis Değerlendirme Formu

Soru 1-) Firmanız enerji yönetimi konusunu nasıl ele alıyor?

Soru 2-) Takip edilen enerji yönetim standardı nedir? Detaylandırabilir misiniz?

Soru 3-) Enerji – Çevre ilişkisi nasıl ele alınıyor?

Soru 4-) Hangi enerji türlerinin kullanımı söz konusu? Aylık enerji tüketimleri nelerdir? Toplam aylık TEP değeriniz ne kadardır?

Soru 5-) Mevcut enerji türleri için izleme – ölçüm sistemi mevcut mudur? Evet ise İzleme – Ölçüm sistemleri nelerdir?

Soru 6-) İzleme – Ölçüm nasıl yapılıyor? Ölçümleri kim yapıyor? Ölçüm frekansı ve periyodu nedir?

Soru 7-) Ölçüm sonuçları nerede ve nasıl saklanıyor?

Soru 8-) Ölçüm sonuçların analizi ve değerlendirmesi kim tarafından nasıl yapılıyor?

Soru 9-) Sonuçlara göre düzenleme, geliştirme, yapılıyor mu?

Soru 10-) Enerji verimliliği, etkinliği ve tasarruf miktarları nasıl takip ediliyor?

Soru 11-) Enerji verimliliği, tasarım, kurulum, imalat, işletme, bakım, kullanımdan kaldırma süreçleri için ölçülebiliyor mu? Ölçülebiliyorsa detayları bahsedebilir misiniz?

Soru 12-) İlave etmek istediğiniz başka bir konu mevcut mudur?

ÖZGEÇMİŞ

Faruk AÇMALI

Eğitim

Y.Ls. 2012 Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği

Ls. 2000 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Lise 1995 Karabük Demir-Çelik Lisesi

İş/İstihdam

2018- Halen Yazılım ve Otomasyon Mühendisi BNF Endüstriyel Otomasyon

2013-2018 Pazarlama ve Büyük Müşteriler Yöneticisi Beckhoff Otomasyon

2005-2012 Ürün Yöneticisi Phoenix Contact

2002-2005 Elektrik Bakım Mühendisi İÇDAŞ Demir Çelik Fabrikası