

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**ENERJİ PERFORMANS DEĞİŞKENLERİNİN ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR SEKTÖREL UYGULAMA**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Haluk Ali GÜNEŞ

İstanbul, 2025

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**ENERJİ PERFORMANS DEĞİŞKENLERİNİN ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR SEKTÖREL UYGULAMA**
Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Haluk Ali GÜNEŞ

Öğrenci No
2220006013

ORCID ID
0000-000-5367-5584

Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Devrim RODOP

Eş Danışman
Prof. Dr. Semra BİRGÜN

İstanbul, 2025

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Enerji Performans Değişkenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Bir Sektörel Uygulama**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 17.06.2025

Haluk Ali GÜNEŞ

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

17/06/2025

Enstitümüz *Endüstri Mühendisliği* Anabilim Dalı *Endüstri Mühendisliği* Programı Yüksek Lisans öğrencilerinden 2220006013 numaralı *Haluk Ali GÜNEŞ*'in "İstanbul Beykent Üniversitesi Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak Enstitümüze teslim ettiği "*Enerji Performans Değişkenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Bir Sektörel Uygulama*" konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 27/05/2025 tarih ve 2025/23 sayılı toplantısında seçilen ve On-Line toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, İstanbul Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 29. maddesinin 3. fıkrası gereğince Zoom programı aracılığıyla on-line olarak aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında "*OYBİRLİĞİ*" ile "*KABUL*" kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 2 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi De*** RO***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Dr. Öğr. Üyesi Gü*** ÜN***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Doç. Dr. Y1*** ŞA***
(Kocaeli Üniversitesi)

Adı ve Soyadı : Haluk Ali GÜNEŞ.
Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Devrim RODOP
Eş Danışmanı : Prof. Dr. Semra BİRGÜN
Derecesi ve Tarihi : Yüksek Lisans (Tezli), 2025
Alanı : Endüstri Mühendisliği.
Anahtar Kelimeler : Enerji verimliliği, EnPG (enerji performans göstergesi), ÇKKV (çok kriterli karar verme)

ÖZ

ENERJİ PERFORMANS DEĞİŞKENLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR SEKTÖREL UYGULAMA

Çalışmanın temel amacı, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi içinde enerji verimliliğini etkileyen ilgili değişkenlerin enerji performansını ne derecede ve ne yönde etkilediğinin araştırmasını yapmaktır. Bu çerçevede, enerji yönetim sistemi yaklaşımı ve enerji verimliliği hesaplanmasında ele alınan değişken faktörler araştırılarak, enerji verimliliği hesaplamasına etkisi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile model kurulmuş ve ampirik olarak test edilmiştir.

Çalışma, İzmir’de faaliyet gösteren ve Tekstil alanında üretim yapan bir işletmede elde edilen enerji verileri üzerinde yapılmış, enerji performansını etkileyen veya etkileyeceği düşünülen ilgili değişkenler tespit edilmiş ve bu değişkenler için ÇKKV yöntemleri ile model kurularak test edilmiş, en fazla etkisi olandan başlayarak bir sıralama sağlanmıştır. ÇKKV yaklaşımlarının enerji performansı için stratejilerin seçiminde doğru sonuçlar verebileceği görülmüştür.

Name and Surname : Haluk Ali GÜNEŞ
Supervisor : Dr. Devrim RODOP
Co-Supervisor. : Prof. Dr. Semra BİRGÜN
Degree and Date : Master's (Thesis), 2025
Major : Industrial Engineering
Keywords : Energy efficiency, EnPI (Energy Performance Indicator), MCDM (Multi-Criteria Decision Making)

ABSTRACT

EVALUATION OF ENERGY PERFORMANCE VARIABLES WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD A SECTORAL APPLICATION

The main purpose of the study is to make an assessment regarding the use of Multi-Criteria Decision Making techniques in order to investigate to what extent and in what direction the relevant variables affecting energy efficiency within ISO 50001 Energy Management System affect energy performance. In this context, the energy management system approach and the variable factors considered in the calculation of energy efficiency were investigated, and a model was established and empirically tested with MCDM methods for its effect on energy efficiency calculation.

The study was conducted on energy data obtained from a company operating in Izmir and producing in the textile sector, and the relevant variables affecting or thought to affect energy performance were determined and a model was established and tested for these variables using MCDM methods, and a ranking was provided, starting from the most effective. It has been seen that MCDM approaches can provide accurate results in selecting strategies for energy performance.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ

ABSTRACT

TABLolar LİSTESİ	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iii
KISALTMALAR	iv
SÖZLÜK.....	v
GİRİŞ	1

1. ISO 50001:2018 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ (EnYS)

1.1. ISO Tanımı	4
1.2. Versiyon Yaklaşımı	4
1.3. Bağlam.....	5
1.4. Enerji Performansı Planlama	6

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

2.1. Karar verme – Çok kriterli karar verme tanımı.....	7
2.2. Çok kriterli karar verme yöntemleri.....	8
2.3. Ağırlıklandırmada Kullanılan Çok kriterli Karar Verme Yöntemleri	9
2.4. AHP Yöntemi.....	10

3. ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ HAKKINDA YAPILMIŞ ÇKKV

ÇALIŞMALARININ ARAŞTIRILMASI

4. BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE ENERJİ PERFORMANSININ İLGİLİ

DEĞİŞKENLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. ISO 50001:2018 Standart gerekleri	18
4.2. Sektörel yaklaşım ve işletme verileri, ÖEK'lerin belirlenmesi	19
4.3. İlgili Değişkenlerin Belirlenmesi, İşletmede Var Olan Uygulamanın Gözlenmesi	25
4.4. ÇKKV Modelinin Uygulanması.....	29
4.5. Duyarlılık Analizi.....	38
SONUÇ	41
KAYNAKÇA.....	43

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. İşletmenin Doğal Gaz ÖEK belirleme Tablosu (2024) (<i>İşletme verisi</i>).....	19
Tablo 2. İşletme Elektrik ÖEK belirleme Tablosu (2024) (İşletme verisi)	21
Tablo 3. İşletmenin Motorin ÖEK belirleme Tablosu (İşletme Verisi)	22
Tablo 4. ÖEK Belirleme Talimatları Tablosu (İşletme verisi)	23
Tablo 5. Enerji Kaynakları TEP/ TJ Belirleme Tablosu	24
Tablo 6. İlgili Değişkenler Tablosu (İşletme Verisi).....	26
Tablo 7. İşletme SPSS Ekranı Örnek Gösterimi (İşletme Verisi)	27
Tablo 8. İlgili Değişkenler Seçimi Sıralama Tablosu.....	29
Tablo 9. Yönetim Yöntemleri Seçimi Sıralama Tablosu	29
Tablo 10. Kriter Karşılaştırma Karar Matrisi	33
Tablo 11. Alternatiflerin Karşılaştırma Karar Matrisleri.....	33
Tablo 12. Normalize Edilmiş Kriter Karar Vektörleri.....	34
Tablo 13. Çarpım Matrisi	36
Tablo 14. Tutarlılık Analizi (Karar Matrisleri)	37
Tablo 15. Tutarlılık Analizi (Kriterler).....	38
Tablo 16. Duyarlılık Analizi (Senaryo 1)	39
Tablo 17. Duyarlılık Analizi (Senaryo 2)	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1. AHP Karar Modeli	11
Şekil 2. İşletmenin Doğal Gaz ÖEK'leri grafiksel gösterimi (İşletme verisi).....	20
Şekil 3. İşletmenin Elektrik ÖEK'leri grafiksel gösterimi (İşletme verisi)	21
Şekil 4. AHP Modeli	31



KISALTMALAR

Annex SI	: Hls Doküman Oluşturma İçin Model Alınan Şablon
Cen/Ceneleg	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
Çkkv	: Çok Kriterli Karar Verme
Enp	: Enerji Performansı
Enpg	: Enerji Performansı Göstergesi
Enrç	: Enerji Referans Çizgisi (Baseline)
ENVER	: Enerji Verimliliği Portalı
EnYS	: Enerji Yönetim Sistemi
ETKB	: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
Hls	: (High Level Structure) Iso'nun Yönetim Sistemleri Standartları İçin Oluşturduğu Doküman Ve İçerik Yapısı.
ISO	: International Standart Organization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
Öek	: Önemli Enerji Kullanımı
Tep	: Ton Eşdeğer Petrol
Tj	: (Tera Joule) Uluslararası Birimler Sisteminde Bir Enerji Birimi
Tse	: Türk Standartları Enstitüsü
Spss	: (Statistical Package For Thye Social Sciences) İstatistiksel Veri Analizi Yazılımı
Ya	: Yöneylem Araştırması

SÖZLÜK

Çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV): Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Karar Biliminin bir alt dalını oluşturan ve farklı yaklaşımları bünyesinde barındıran bir yöntemler bütünüdür. ÇKKV, karar sürecini kriterlere göre modelleme ve karar vericinin süreç sonunda elde edeceği faydayı en büyükleyecek şekilde analiz etme sürecine dayanır.

Enerji hedefi: Enerji performansı iyileştirmesinin ölçülebilir amacıdır

Enerji performansı: Sağlanan enerji verimliliğinin, referans alınan bir çizgiye göre iyileştirildiğinin gösterilebilmesidir.

Enerji referans çizgisi: Enerji performansının karşılaştırılmasına temel oluşturan referans/referanslardır.

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. Diğer bir tanıma göre, performans, hizmet, mal, ürün veya enerjinin bir çıktısı ile bir enerji girdisi arasındaki oran veya bir başka nicel ilişkidir. (ISO 50001:2018 madde 3.5.3)

İlgili değişken: Enerji performansını önemli ölçüde etkileyen ve düzenli olarak değişen nicel bir faktördür.

Normalleştirme: Enerji performansının eş değer koşullar altında karşılaştırılabilmesini açıklamak için verilerin değiştirilmesidir

Önemli enerji kullanımı: Önemli miktarda enerji tüketimi ile sonuçlanan ve/veya enerji performansı iyileştirmesi için kayda değer potansiyel sunan enerji kullanımıdır.

Statik Faktör: Enerji performansını önemli ölçüde etkileyen ve düzenli olarak değişmeyen tanımlanmış faktördür.

Yönetim sistemi: Enerji Yönetim Sistemi (EnYS), bir kuruluşun enerji amaç ve hedeflerini belirlemesini, enerji performansını iyileştirmek için gerekli çalışmayı yapmasını ve sisteminin bu dokümanın gerekliliklerine uygunluğunu göstermesini sağlar.

GİRİŞ

Bu bölümde, ISO yönetim sistemleri standartları, ISO tanımı, ISO 50001:2018 Enerji yönetim sistemi ve Enerji verimliliği kavramları ile Enerji verimliliği için hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Enerji Yönetim Sistemi, bir ISO Standardı olarak ve Telif hakları korumalı bir doküman olarak, CEN/CLC/JTC 14 “Enerji Yönetimi, Enerji Hesap Tetkikleri, Enerji Tasarrufu” (Energy Management, Energy Audits, Energy Savings”) Teknik komitesinin katkılarıyla ISO/TC/301 Enerji Yönetimi ve Enerji Tasarrufu (Energy Management, Energy Saving) Teknik komitesi tarafından hazırlanmıştır. CEN-CENELEC İç Tüzüğü’ne göre bu Avrupa Standardı’nın ulusal standart olarak uygulamaya alınmasından sorumlu ulusal standart kuruluşlarının ülkeleri alfabetik sırayla; Almanya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Makedonya, Malta, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, Türkiye ve Yunanistan’dır. Standardın Türkçesi TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından yayınlanmış olup dokümanın telif hakkı TSE’ye aittir. Bu standardı kendi iş yerinde kurarak uygulamaya almak isteyenler TSE web sayfasından (TSE, 2025) satın alarak kullanmalarına izin verilmiş olan dokümanı indirebilmektedir.

ISO 50001:2018 Standardı, enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimini kapsayacak bir şekilde enerji performansının sağlanması ve sürekli iyileştirilmesi için gerekli olan proseslerin ve sistemlerin kurgulanması ve bunların işletilmesi için şartları ortaya koymaktadır. Enerji Performansı esasen enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi ile ilişkili bir kavramdır. Bu standardı uygulayan bir işletmede en genel ifade biçimiyle, ürettiği ürün başına harcanan enerji olarak düşünülebilir. Örneğin, yılda 1.000 ton un üreten bir değirmen, yılda 1.000 kW/h da enerji harcadıysa, Enerji Performansı (EnPG) 1 kW/1 ton un olarak ifade edilebilir. Farklı enerji kullanan un üretimleri olması durumunda bunların bazılarının 2 kW/1 ton un, bazılarının da 0,5 kW/ 1 ton un kullanıyor olmaları da mümkündür. Toplam tüketim / toplam üretim bize ortalama bir oran sağlar ama bunun kesin olma ihtimali yoktur. Bu çalışmada ele alınan amaç, enerji performansının bir zaman dilimine dayalı bir referans çizgisine (EnRÇ=baseline) göre ölçülen sayısal değerinin,

bir sonraki zaman dilimine göre kıyaslanmak amacıyla ölçülmesi halinde, tüm ilgili değişkenlerin aynı kalamayacağı varsayımına göre “normalleştirilmesi” için kullanılabilecek yöntemlerin bir araştırması ve uygun bir ÇKKV metodunun bir işletme örneğinde uygulanmasıdır.

ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi Standardı, Annex SL (uluslararası ISO yönetim sistemlerinin yüksek seviyeli yapı olarak ifade edilen ortaklaştırılmış gereklilikleri için model) şablonuna uygun olarak 10 maddeli bir standart halinde yayınlanmıştır. Standardın ilk 3 maddesi; 1 Kapsam, 2 Bağlayıcı Atıflar, 3 Terimler ve Tanımlar doküman hakkında bilgilendirme yapmakta ve standardın amaçları doğrultusunda doküman içinde kullanılan terminolojiyi ifade etmektedir. Madde 4 ile Madde 10 arasındaki bölüm ise ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemini kurarak işletmekte olan kuruluşlar için şartları ifade etmektedir.

Madde 4 kuruluşun bağlamının yani amaçlanan çıktıya ulaşmayı etkileyebilen iç ve dış hususlarının belirlenmesini, yasal ve düzenleyici gerekler dahil olmak üzere EnYS ile ilgili tüm tarafların ihtiyaç ve beklentilerinin tayin edilmesini, kapsam ve sınırların belirlenmesini ve bir yönetim sistemi oluşturulmasını belirtmektedir.

Madde 5 Liderlik ve Taahhüt başlığı altında, üst yönetimin liderlik ve bağlılığını ne şekilde gösterebileceğine dair şartları belirtmekte, politika, kurumsal görev sorumluluk ve yetkiler için tanımları yapmaktadır.

Madde 6 risklerin ve fırsatların belirlenmesi ve bunların yönetimi, amaçlar ve hedeflere ulaşma için planlama, enerji gözden geçirmesi, enerji performans göstergeleri, enerji referans çizgisi ve enerji verilerinin toplanmasının planlanması gibi Annex SL’e ek maddeleri de içermektedir. Bu standart, enerji yönetim sisteminin performansının iyileştirilmesinin yanı sıra enerji performansının da iyileştirilmesini şart koşmaktadır.

Madde 7 kaynaklar, yetkinlik, farkındalık, iletişim ve dokümante edilmiş bilgi şartlarını belirtmektedir.

Madde 8 operasyonel planlama ve kontrol, enerji kullanan tesislerin verimli tasarımı ve tedarik süreçlerinde enerji verimliliğinin sağlanması için şartları belirtmektedir.

Madde 9 performans değerlendirmesi, enerji performansının ve EnYS'nin izlenmesi, ölçümü, analizi ve değerlendirmesi, iç tetkikler ve yönetimin gözden geçirmesine dair gereklilikleri belirtmektedir.

Madde 10 ise uygunsuzlukların kontrolü ve düzeltici faaliyetler ile sürekli iyileştirmeye dair şartları ifade etmektedir.

ISO 50001:2018 standardında madde 3.5 enerjiye ilişkin terimler başlığı altında; “performans, hizmet, mal, ürün veya enerjinin bir çıktısı ile bir enerji girdisi arasındaki oran veya başka bir nicel ilişki” (madde 3.5.3) olarak tarif edilmiş ve “enerji performansının eş değer koşullar altında karşılaştırabilmesini sağlayacak değişiklikleri açıklamak için verilerin değiştirilmesi” de normalleştirme (madde 3.4.10) olarak belirtilmiştir.

Enerji referans çizgisi (EnRÇ), kuruluş tarafından tanımlandığı şekilde, belirtilen bir zaman dilimine ve/veya koşullara ait verilere dayalıdır (ISO 50001:2018 madde 3.4.7 not.1)

1. ISO 50001:2018 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ (EnYS)

Çalışmanın bu başlığı altında ISO organizasyonu ve standartları hakkında bir özet bilgilendirme yapılarak standartların kullanılma amaçları ve hedeflerine değinilmiştir. Çalışmanın konusu olan ve bir ISO Standardı olarak yayınlanmış Enerji Yönetim Sistemi ve bu sistemin uygulanma alanları hakkında bilgilendirme sunulmuştur.

1.1. ISO Tanımı

ISO; adı “International Organization for Standardization” olan Uluslararası Standartlar Örgütünün kısaltmasıdır. Merkezi Cenevre’de bulunmaktadır ve bu organizasyon içinde ülkelerin temsilcileri bulunmaktadır. ISO tarafından yayınlanan standartlar, amaçlanan konularda etkin bir yönetim sistemi oluşturmak için rehber doküman niteliğindedir. Halen, HLS (yüksek seviyeli yapı) olarak tanımlanan Annex SL formatında, yayınlanmış olan standartlar bütünleşik yönetim sistemi oluşturmak için kolaylık sağlamıştır. Bu yapıda 10 maddeli bir sistem, her bir standart için aynı başlık altında gereklilikleri tanımlamıştır. Ancak her bir madde için gereklilikler, ilgili standardın amaçlanan çıktısına uygun olmalıdır. Örneğin, ISO 9001:2105 kalite yönetim sistemi için amaçlanan çıktı müşteri memnuniyetinin ve ürün uygunluğunun sağlanması iken ISO 14001:2015 için çevrenin korunması, atıkların azaltılması ve kirliliğin önlenmesidir. ISO 45001:2018 iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi için iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi, sağlıklı bir işyeri işletilmesi iken ISO 50001:2018 enerji yönetim sistemi için enerji verimliliğinin sağlanmasıdır.

1.2. Versiyon Yaklaşımı

Standartlar, son versiyonları ile birlikte anılmaktadır. Annex SL yapısı da BS 22301:2012 iş sürekliliği yönetim sistemi ile başlamış olmakla birlikte ISO 27001:2013 bilgi güvenliği yönetim sistemi 2013 yılında bu yapıda yayınlamış ilk ISO standardı olarak alınmış, sonrasında ISO 9001 ve ISO 14001 2015 yılında yaptıkları revizyonlar ile, ISO 45001 ve ISO 50001 de 2018 yılında revize edilerek Annex SL yapısında kavuşmuşlardır.

Halen, ISO 27001:2022 Bilgi güvenliği yönetim sistemi, ISO 22301:2019 iş sürekliliği yönetim sistemi, ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemi, ISO 14001:2015 çevre yönetim sistemi, ISO 45001:2018 iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi, ISO 50001:2018 enerji yönetim sistemi aynı yüksek seviyeli yapı (HLS) Annex SL şablonuna uygun olarak yayınlamış, güncel ve uygulanmaktadır.

1.3. Bağlam

Standartların amaçlanan çıktılarına uygun olarak her bir gerekliliğin ifadesi bağlam yaklaşımı altında ifade edilmektedir. Örneğin ISO 9001 için amaçlanan çıktıda müşterinin memnuniyeti ve ürün ve teslimat kalitesinin tam olarak müşterinin şartlarına uygunluğu önemli olacaktır. Bu nedenle, çok enerji harcayan bir üretim modeli olması veya müşteriye çok enerji harcayan bir metot ile gönderilmesi önemli olmayacaktır. ISO 50001 enerji yönetim sisteminin amacı ise, aynı miktarda ürünü yaparken daha az enerji kullanmaktır. Bu nedenle üretim esnasında daha az enerji harcayan üretim modellerinin hayata geçirilmesi, müşteriye tesliminde seçilen ulaştırma kanallarının enerji verimli ve daha az enerji harcayan yöntemlerden seçilmesi ve hatta tüm ilgili değişkenlerin (enerji performansını önemli ölçüde etkileyen ve düzenli olarak değişen nicel bir faktör- ISO 50001:2018 standardı madde 3.4.9) belirlenerek bunlar üzerinde verimlilik sağlanması gibi konulara odaklanması önemli olacak, müşterinin enerji verimliliğini olumsuz etkileyecek talepleri önemli olamayacaktır. Makine kapasitesi, makinenin modeli, binanın fiziki şartları, ürün şartları, kritik işletme parametreleri gibi değiştirilemeyecek statik faktörler bulunuyor olmakla birlikte, çalışan sayısı, fiilen çalışılan saat, makinenin üretim hızı, hava sıcaklığı gibi ilgili değişkenler de bulunmaktadır. Bu ilgili değişkenlerin neler olduğunun belirlenmesi ve değişkenlerin ölçülen enerji performansına etkisini de belirleyerek normleştirilmede dikkate alınması önemli olacaktır. Tabii ki enerji verimliliğini sağlamak üzere yatırım yapılarak, tasarım yapılarak ve üretim modelleri değiştirilerek statik faktörlerin de değiştirilmesi mümkündür ve ISO 50001 standardı bunu teşvik etmektedir, ancak, statik faktörlere sıra gelmeden ve büyük yatırım bütçelerine gerek olmadan da ilgili değişkenler üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile aslında enerji verimliliği sağlamak mümkündür. Bu sebeple standart ÖEK'lerin (önemli enerji kullanan süreç ya da tesisler) belirlenmesini istemektedir. Toplam enerji

tüketimine oranla önemli miktarda enerji kullanan süreçlerde yapılacak küçük iyileştirmelerin toplama oransal etkisi büyük olacaktır. Bu bağlamda, bakım süreçlerinin etkinliği, enerji kayıp ve kaçaklarının önlenmesi, çalışma saatlerinin düzenlenmesi, üretim miktarlarının artırılması, hatalı üretimin azaltılması ve bu sayede enerjiyi tüketmiş olduğu halde satılabilir ürün haline gelmemiş olmasının önlenmesi, düzeltme sebepli enerji tüketimi gibi bir dizi önlemlerle enerjinin tasarruf edileceği açıktır. Tasarruf edilen enerji kullanılmamış enerjidir, enerji verimliliği içinde kullanılmayan, yeniden kullanılan, dönüştürülen vb. tüm tasarruf edilen enerjiler de önemlidir.

1.4. Enerji Performansı Planlama

ISO 5001:2018 standardı, madde 6 başlığı altında, 6.1 riskleri ve fırsatları belirleme, 6.2 amaçlar hedefler ve bunlara ulaşmanın planlanması maddelerine ek olarak, 6.3 enerji gözden geçirmesi, 6.4 enerji performans göstergeleri (EnPG), 6.5 enerji referans çizgisi (EnRÇ=baseline), 6.6 enerji verilerinin toplanmasının planlanması maddelerini de belirtmiş ve Önemli Enerji Kullanımları (ÖEK) için ÖEK'lere ait değişkenler, ÖEK'lere ve kuruluşa ilişkin enerji tüketimi, ÖEK'lere ilişkin çalışma kriterlerinin belirlenmesini ve dikkate alınması şartını ifade etmiştir. Buradan, enerji verimliliğini sağlamada ve aslında dönemsel olarak verileri kıyaslamak ve bir enerji verimliliğinin sağlandığı ve/veya sürdürüldüğünden emin olmak için en kritik konunun ilgili değişkenlerin verilere etkisinin ne olduğunun belirlenmesi ve ayıklanması için metodun sağlanması olduğu anlaşılmaktadır. Regresyon analizi, normalleştirme için kullanılan metotlardan biridir.

Regresyon analizinde R²'nin 1'e yakın çıkması, 0,90'dan büyük olması seçilen değişkenin anlamlı bir etkisi olduğunu ifade etmektedir. Bu R²'nin 0,30 – 0,10 aralığında olması ise seçilen değişkenin sonuca bir etkisinin olmadığını göstermesi nedeniyle o değişkenin hesaba alınmasına gerek olmadığını da tanımlamaktadır.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Çalışmanın bu başlığı altında Çok Kriterli Karar Verme teknikleri hakkında bir özet bilgilendirme yapılarak bu tekniğin kullanıma alanlarına değinilmiştir. Bu bağlamda ÇKKV temel kavramları hakkında kısa bir değerlendirme yapılmış, yöntemler hakkında literatür taraması ile derlenen bilgiler kısaca özetlenmeye çalışılmıştır.

2.1. Karar verme – Çok kriterli karar verme tanımı

Karar verme, karar vericinin veya karar vericilerin tercihleri doğrultusunda alternatifler kümesinden bir alternatifin belirlenip seçilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Ecer, 2020). Karar bilimi ya da Yönetim bilimi olarak da adlandırılan Yöneylem Araştırması (YA) üretim sistemleri, sosyal programlar ve savunma gibi örgütsel sistemlerin yönetimine bilimsel bir yöntemin uygulanmasıdır. YA, ele alınan örgütsel sistemlerin performansına ayrı ayrı değil bütünsel olarak odaklanan bir matematik bilimidir (Ecer, 2020).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Karar Biliminin bir alt dalını oluşturan ve farklı yaklaşımları bünyesinde barındıran bir yöntemler bütünüdür. ÇKKV, karar sürecini kriterlere göre modelleme ve karar vericinin süreç sonunda elde edeceği faydayı en büyükleyecek şekilde analiz etme sürecine dayanır (Yıldırım, 2023).

Genellikle yönetsel bir karar vermek için, önce bir sorun belirlenmeli ve bu sorunun çözümü için olası seçenekler bilinmeli, bunlar arasından en uygun olanın seçilmesi için bir metot oluşturulmalı ve bu metot kullanılarak değerlendirme yapılarak amaca en uygun seçeneğin hangisi olduğuna karar verilmelidir.

Yönetim bilimi literatüründe son yıllarda giderek artan bir ilgi gören Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) alanı, bir karar durumu ile ilgili olarak birbiri ile çatışan birden fazla kriteri karşılayan olası optimal çözüme ulaşmaya çalışan yaklaşım ve yöntemleri bünyesinde barındırmaktadır (Eroğlu 2022).

Aslında karar verme, çelişkili kriterleri ve seçenekleri içeren durumları yönetme ve çözme amaçlıdır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), önceden belirlenmiş kriterlere göre en uygun seçeneği belirlemeye yönelik bir optimizasyon çalışması olarak tanımlanabilir.

Çok kriterli karar verme (MCDM), seçim sürecinde birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak en iyi alternatifi belirlemeyi amaçlayan temel karar verme problemlerinden biridir (Taherdoost ve Madanchian, 2023).

Tipik bir Çok Kriterli Karar Verme problemi 3 temel bileşen içerir. Alternatifler, Kriterler, her bir kriter için oransal önem (ağırlık) (Ada ve Çakır, 2022).

ÇKKV yöntemleriyle ilgili ilk kaynak 1772 yılında yayımlanan ve Franklin'e ait olan "Letter to Joseph Priestley" yayınıdır. Onu sırasıyla De Condorcet (1785), Edgeworth (1881) ve Pareto (1896, 1906) izlemiştir. Ancak bu alandaki asıl dikkate değer gelişmeler, toplumun ve iş hayatının artan gereksinimleri nedeniyle 1960'lı yıllarda gerçekleşmiştir. O yıllardan bu yana geliştirilen çok sayıda ÇKKV metodu bulunmaktadır ve bunlar, ihtiyaç duyulan bilginin kalitesi ve miktarı, kullanılan metodoloji, kullanım kolaylığı, analiz süresi, kullanılan duyarlılık araçları ve matematiksel özellikleri bakımından birbirlerinden farklılaşırlar (Ecer, 2020).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle ilgili ilk kaynaklar genellikle karar verme süreçlerinin teorik temellerini atan akademik çalışmalardır. Bu alanda öne çıkan isimlerden biri, Thomas L. Saaty'dir. Saaty, özellikle Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle ÇKKV alanına önemli bir katkı sağlamıştır. AHP, karar verme süreçlerinde kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin sıralanması için kullanılan popüler bir yöntemdir (Durak, 2024).

2.2. Çok kriterli karar verme yöntemleri

ÇKKV yöntemleri, problemin çözüm uzayına göre ikiye ayrılır (Ecer, 2020).

- 1) Sürekli: (Multi Objective Decision-Making (MODM) – Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV)
- 2) Ayrık (aralıklı): (Multi Attribute Decision-Making (MADM) – Çok Ölçütlü Kara Verme (ÇÖKV)

ÇAKV'de sınırsız sayıda alternatif olması nedeniyle Sürekli ÇKKV olarak da isimlendirilmektedir. ÇÖKV'de ise alternatif sayısı sınırlıdır ve Kesikli ÇKKV olarak da anılmaktadır. ÇÖKV önce alternatifleri değerlendirmekte ve sıralamakta, sonra optimal olanı seçmektedir. Literatürde yaygın olarak ÇKKV ifadesi, kesikli ÇKKV

(ÇÖKV) yerine kullanılmaktadır. ÇKKV, yaklaşımı esasen, birinci adımda kriter değerleri ve ağırlıkları ile ilgili bilgileri toplamak ve ikinci adımda ise bu bilgileri matematiksel bir yaklaşımla kullanarak çözüme dair alternatifleri sıralamaktır.

2.3. Ağırlıklandırmada Kullanılan Çok kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV yöntemlerinin esasen dayandığı temel düşünce, kriter değerlerini ve ağırlıklarını birleştirerek tek bir referans noktası elde etmektir. Bu nedenle kriter ağırlıklarının belirlenmesi için doğru yöntemlerin kullanılabilmesi karar verme sürecini olumlu etkileyecektir.

Kriterler fayda kriterleri ve maliyet kriterleri gibi olabilecektir. Örneğin karlılık gibi fayda kriterleri için kriter değerinin daha büyük olması istenirken maliyet kriteri için daha küçük değer istenecektir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde öznel (sübjektif) ve nesnel (objektif) yaklaşımlar kullanılabilir.

Öznel yaklaşımlar karar vericinin sezgisini ve bireysel düşüncelerini yansıtır. Bu tür yaklaşımlarda karar verme sürecinde, sürece dahil olan uzmanlardan elde edilen bilgilere dayanılır. Bu yöntemler arasında, DEMATEL (1972), AHP (1980), MACBETH (1994), SWARA (2010), BWM (2015), FUCOM (2018) ve LBWA (2019) sayılabilir. Öznel yaklaşımlar pratikte en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Ecer, 2020).

Nesnel (objektif) yaklaşımlar ise adından da anlaşılacağı üzere karar vericilerin tercihlerini ve sezgilerin dikkate almayarak, eldeki somut verileri kullanan yöntemlerdir. Sürece dahil olan uzmanlar gibi güvenilir öznel (sübjektif) kaynakların olmadığı durumlarda eldeki verilerle nesnel (objektif) yöntemler kullanılır.

Nesnel (objektif) yöntemler arasında CRITIC (1995), CILOS (2016), IDOCRIW (2016) sayılabilir (Ecer, 2020).

Öte yandan, her kriterin farklı bir önceliği ve önem düzeyi bulunmakta olduğu, hepsinin eşit ağırlıklara sahip olduğu varsayamayacağı nedeniyle her kriter için uygun önem ağırlığını bulmak gerekir

Sıralamada kullanılan ÇKKV yöntemleri da MAUT, TOPSİS, PROMETHE, WASPAS, MAİRCA, MABAC gibi sayılabilir. Bu çalışmada AHP yöntemi seçilerek aşağıda özetlenmiştir.

2.4. AHP Yöntemi

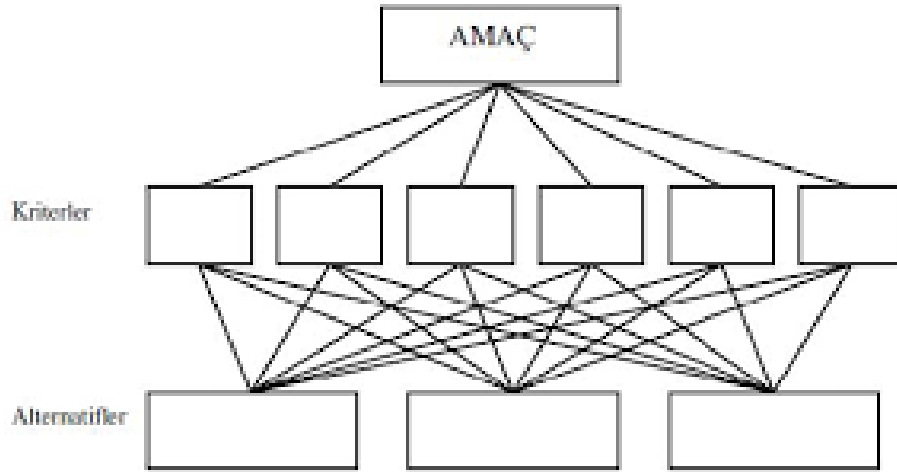
AHP (Analytic Hierarchy Process – Analitik Hiyerarşi Prosesi) Saaty (1980) tarafından literatüre kazandırılmış olan ve en fazla tanınan ve kullanılan ÇKKV yöntemlerinden birisidir (Ecer, 2020).

AHP, bir karar ağacı üstünde, önceki süreçlerde tanımlanmış olan bir mukayese ölçeği kullanılarak, karar noktalarının önem değerleri açısından niteliklerin karşılıklı mukayese edilmesine dayanan bir yöntemdir. Süreç sonucunda önem farklılıkları karar noktaları üstünde yüzdelik dağılıma dönüşür (Ada ve Çakır 2022).

AHP yöntemi hem kriter önem ağırlıklarının belirlenmesinde hem de alternatif sıralamalarının elde edilmesinde kullanılmaktadır (Taherdoost ve Madanchian, 2023).

Ancak yöntem literatürde daha çok kriter önem ağırlıklarının hesaplanmasında güvenilir bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Somut ve somut olmayan faktörleri sistematik bir şekilde organize etmekte ve karar vericilere oldukça basit bir şekilde çözüm sunmaktadır. Bu nedenle de yaygın olarak kullanılma alanı bulmaktadır.

AHP, nicel ve nitel kriterlerin ölçümü için tercih ölçeğinden faydalanan bir çerçeve sunar. Ölçek, karşılaştırmanın tüm olanaklarını kapsayan “en az değer verilen” için 1/9, “eşit” için 1 ve “aşırı önemli” için 9 aralığındadır. n kriter sayısını göstermek üzere $n.(n-1)/2$ ikili karşılaştırmaya ihtiyaç duyar. Oluşturulan matrisin köşegen elemanları 1 olup her bir gözenin simetriği, o gözenin çarpmaya göre tersine eşittir. Örnek; C1-C5 gözesi 3 değerini almışsa, bu gözenin simetriği olan C5-C1 gözesine 1/3 yazılır. İkili karşılaştırmaların ardından en büyük özdeğerler bulunur. Bu özdeğerler kullanılarak tutarlılık göstergesi elde edilir ve en sonunda tutarlılık oranına ulaşılır. Eğer tutarlılık oranı 0.10 un altındaysa elde edilen sonuçlara güvenilebilir, aksi halde 0.10’un altına düşene kadar işlem tekrarlanır (Ecer, 2020).



Şekil 1. AHP Karar Modeli

Kaynak: Saaty T.L. (1986), Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32(7), 842-843.

3. ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ HAKKINDA YAPILMIŞ ÇKKV ÇALIŞMALARININ ARAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu başlığı altında enerji ve ÇKKV hakkında bir literatür taraması yapılarak bu konuda daha önce yayımlanmış makale ve yayınlar derlenmeye çalışılmış ve bunlar hakkında özet bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Bacziewicz ve Watróbski (2022) tarafından yayınlanan makalede, 30 Avrupa ülkesinde farklı sektörlerde Yenilenebilir Enerji Kullanımının sürdürülebilir kullanımını değerlendirmek için iki ÇKKV yönteminin uygulanması gözden geçirilmiştir. Sunulan araştırmada ÇKKV yöntemlerinin Birleşik Mesafeye Dayalı Değerlendirme (CODAS) (Combinative Distance-based Assessment) ve Ağırlıklandırılmış Toplam Ürün Değerlendirmesi (WASPAS) (Weighted Aggregated Sum Product Assessment = Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Değerlendirmesi) uygulamalı yöntemleri kullanılmış, sunulan yöntemler aşağıdaki sonuçları mümkün kılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar; farklı sektörlerde yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir kullanımı açısından en iyi performansı gösteren Avrupa ülkeleri belirlenmesi ve sıralanmasını sağlamıştır. Bu çalışmaya göre; elektrik üretimi, ulaşım, ısıtma ve soğutma gibi parametreler dikkate alındığında İskandinav ülkeleri ve Avusturya zirvede yer almaktadır.

Majeed ve arkadaşlar (2023) tarafından yayınlanmış araştırma makalesinde, yenilenebilir enerji teknolojilerine odaklanılarak, tarımsal operasyonlara güç sağlamak için kullanılabilecek alternatif enerji kaynaklarına ilişkin üst düzey bir genel bakış sunulmaktadır. Çalışmaya göre; Dünya genelinde genel ekonomi düşünüldüğünde, tarım hayati önem taşımaktadır. Gübre üretiminden ekim ve hasat için traktörlerin yakıt ikmallerine kadar üretimin her aşamasında enerjinin gereklidir, yüksek enerji fiyatları ve öngörülemeyen enerji piyasaları, girdi enerji maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir, bu nedenle enerji verimliliği yöntemlerinin doğru şekilde uygulanması ve çiftliklerin yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması tarımsal üreticilerin enerjiyle ilgili maliyetlerden tasarruf etmelerine yardımcı olabilecektir. Güneş, biyokütle, rüzgâr ve jeotermal enerji biçimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının tarım sektöründe verimli enerji yönetimi için alternatif bir enerji kaynağı olabileceği belirtilmiştir. Araştırma tarım sektöründe yenilenebilir enerji teknolojilerinin

benimsenmesiyle ilişkili potansiyel faydaları, zorlukları ve fırsatları tartışmaktadır. Araştırma, alternatif enerji kaynaklarına ve enerji yönetimindeki uygulanabilirliğine ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunarak değer katmaktadır. Her bir seçenekle ilişkili faydaları ve potansiyel zorlukları vurgulayarak, sektörde sürdürülebilir enerji uygulamalarına geçişi hedefleyen tarımsal paydaşlar ve araştırmacılar için değerli görüşler sağlamaktadır. Özetle varılan sonuç şu şekildedir. Tarımda enerji yönetimi için alternatif enerji kaynaklarına geçiş, sera gazı emisyonlarını azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve gıda üretiminde sürdürülebilirliği teşvik etmek için büyük bir vaat taşımaktadır. Ancak başarılı uygulama, çiftçiler ve paydaşlar arasında bilgi yayılımını ve kapasite oluşturmaya teşvik ederken teknik, ekonomik ve politik engellerini ele almayı gerektirir.

İncekara'nın (2020) araştırma makalesinde; bir endüstriyel tesisin ISO 50001 enerji yönetim sistemi uygulaması değerlendirilmiş, tesiste önemli enerji tüketen ekipmanların performans indikatörleri ve ekipmanların enerji verimliliği incelenmiş, Bulanık AHP, Bulanık VİKOR ve Bulanık TOPSİS yöntemlerinden faydalanılarak tesiste Önemli Enerji Kullanımları (ÖEK'ler) irdelenmiştir. Endüstriyel Tesislerde enerji verimliliğini arttırarak küresel ısınma ve sera gazı sorunlarına çözüm getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ele alınan petrokimya tesisinde önemli enerji kullanan ekipmanlar; kazanlar, ısıtma soğutma sistemleri, pompalar ve kompresörler olarak belirlenmiştir. Karar verici pozisyonunda olan 28 yönetici ile görüşülerek hazırlanan kriterlerle bunların önem ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenirken alternatiflerin sıralaması ise Bulanık TOPSİS yöntemi ile yapılmıştır. Sonuç olarak, bir enerji yönetim sisteminin kurulması ve uygulanmasının enerji verimliliğini sağlama ve enerji yoğunluğunu azaltmayı garanti altına alacağına dair kanaat beyan edilmiştir. Ancak, bu çalışmada, ölçülerek elde edilen enerji verileri gibi somut değerler değil de katılımcıların anketi dikkate alınmış olduğu için bütün bu yöntemler katılımcıların belirtmiş olduğu kriterler üzerinden bir sonuç üretmiştir ve bu çalışma hem EnYS hem de EnYS kurmak ve işletmek ile ilgili olarak beklentileri analiz etmek için çok değerlidir. Bu çalışmadaki yöntem bunu bir başka alanda ilerleterek ve gene ÇKKV yöntemlerini kullanarak, ilgili değişkenlerin fiili olarak enerji verimliliğini ölçmede ne kadar etkili olduğunu belirlemeye yöneliktir.

Mardani ve arkadaşları (2017) tarafından yayınlanmış araştırma makalesinde hızla değişen kurumsal, ekonomik, sosyal, ekolojik, politik, teknik koşullar nedeniyle hem ulusal hem de yerel hükümetler için kritik bir endişe kaynağı olan enerji yönetimi ile ilgili sorunlar için karar alma yaklaşımlarının uygulanması hakkında bir inceleme sağlamak amacıyla, 1995'ten 2015'e kadar geçen 20 yılda 72 önemli dergide yayınlanmış 196 makale seçilmiş ve incelenmiştir. Makaleler Web of Science veri tabanından seçilmiş ve PRISMA adı verilen meta-analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Yayınlanan tüm makaleler çevresel etki değerlendirmesi, atık yönetimi, sürdürülebilirlik değerlendirmesi, yenilenebilir enerji, enerji sürdürülebilirliği, toprak yönetimi, yeşil yönetim konuları, su kaynakları yönetimi, iklim değişikliği, stratejik çevresel değerlendirme, inşaat ve çevre yönetimi ve diğer enerji yönetimi olmak üzere 13 farklı alanda kategorize edilmiştir. Hibrit ÇKKV ve Bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılmış ve karar alma yaklaşımlarını uygulayan ilk alan çevresel etki değerlendirmesi olarak sıralanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, karar alma yaklaşımlarının karar vericilere ve paydaşlara çevresel karar alma sürecindeki belirsizlik durumlarında bazı sorunları çözmede yardımcı olabileceğini ve bu yaklaşımların, önceki araştırmacılar arasında çevresel karar alma sürecinin çeşitli adımlarında bu yaklaşımları kullanmaya yönelik artan bir ilgi gördüğünü kabul etmektedir.

Cutore ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında İtalyan topluluğu bağlamında yenilenebilir enerjinin yönetimi ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada, enerji uzmanlarını ve şehir plancılarını İtalyan düzenleyici çerçevesi altında REC'lerin (Renewable Energy Community) kapasite boyutlandırması ve akış yönetiminde yönlendirmek için bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Merkezi ve merkezi olmayan yapılandırmalar için fiziksel ve sanal paylaşım şemaları karşılaştırılmış ve ayrıca depolama sistemleri kapsanmıştır. Sonuçlar, REC katılımcılarının ekonomik faydalarının, merkezi bir dağıtım yapılandırmasında sanal şema altında paylaşılan enerji miktarıyla arttığını göstermektedir. Özel olarak oluşturulmuş sürdürülebilirlik göstergeleri, geleneksel senaryoya kıyasla %34'e kadar önemli karbon emisyonu azalmasını vurgulamıştır.

Öztel ve arkadaşları (2018) tarafından yayınlamış çalışmada, TOPSİS yöntemi Entropi ağırlıklandırma ile birlikte kullanılarak Akenerji firmasının yıllık sürdürülebilirlik raporlarından elde edilen veriler ile sürdürülebilirlik performansı değerlendirilmiştir. Ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla şirketin performansı yıllara göre karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda, ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik performansları arasında uyumsuzluk olduğu görülmüştür. Ekonomik başarının yüksek olduğu yıllarda çevresel ve sosyal başarının düşük gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Thollander ve Ottoson'ın (2010) çalışmalarında, iki farklı İsveç enerji yoğun endüstrisindeki enerji yönetimi uygulamalarını tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Endüstriler; kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi ile döküm endüstrisidir. Sonuçlar, incelenen fabrikaların üçte birinin ve incelenen dökümhanelerin yaklaşık beşte ikisinin, enerji verimli bir yaklaşımı olmadığını göstermiş, fabrikaların yaklaşık beşte biri ve dökümhanelerin yaklaşık yarısının uzun vadeli bir enerji stratejisinden yoksun olduğunu belirlemiştir. Çalışmada, incelenen fabrikaların %40 ı ve dökümhanelerin %25 inin enerji yönetimi uygulamaları söz konusu olduğunda başarılı olarak kategorize edilebileceği görülmüştür. Enerji yönetiminin, incelenen dökümhane gibi enerji yoğun endüstrilerde bile tam olarak önceliklendirilmezse büyük olasılıkla daha az enerji yoğun endüstriyel sektörlerde veya ülkelerde de önceliklendirilmeyeceğini, bunun da endüstriyel sektörde daha temiz, daha çevre dostu üretim açısından büyük bir kullanılmamış potansiyelin olduğunu göstermekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Shulze ve arkadaşlarının (2016) çalışmasında, endüstride enerji yönetimiyle ilgili mevcut akademik dergi yayınlarının sistematik bir incelemesi sunulmuş, bir enerji yönetiminin beş temel unsuru, literatürde strateji/planlama, uygulama/işletim, kontrol, organizasyon ve kültür olarak tanımlanmış ve her bir temel unsurla ilgili özel bulgular sentezlenmiştir. Mevcut enerji verimliliği potansiyelini etkili bir şekilde kullanmak için kapsamlı bir yaklaşımın gerekli olduğunu gösteren bir enerji yönetiminin kavramsal çerçevesi geliştirilmiştir. Bütünleştirici bir kavramsal çerçeve geliştirirken genel bir yaklaşıma ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Örneğin, enerji yönetimini farklı üretim sistemlerine göre ayıran Bunse ve arkadaşlarının (2011) aksine, şirket büyüklüğü, üretim sistemi türü, bölgeler vb. gibi farklı koşul faktörlerini açıkça hesaba katmamıştır, ancak, üretim türü gibi koşul faktörlerinin bir endüstriyel

şirkette enerji yönetiminin nasıl yapılması gerektiğini büyük ölçüde etkilediğini vurgulamıştır. Örneğin, enerji yoğun endüstrilerin enerji kullanımı üretim süreçlerinde gerçekleşirken, enerji yoğun olmayan endüstrilerde enerji kullanımı destek süreçlerinde (soğutma, ısıtma vb.) yoğunlaşmıştır.

Vakili ve arkadaşları(2021) tarafından yayınlanan çalışmada, bir Türk tersanesinin enerji açısından verimli hale gelmesi için öncelikler bir anket ve görüşme yoluyla belirlenmiş, Enerji Yönetimi Çerçevesinin belirlenmesi Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Bulanık Tercih Sıralaması dahil olmak üzere Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Enerji yoğun bir sektör olan gemi inşası, sera gazları da dahil olmak üzere önemli miktarda hava emisyonu üretir. Nakliyeden kaynaklanan sera gazı azaltımlarına yönelik araştırmaların çoğu, operasyonel aşamadaki emisyonların azaltılmasına odaklanır. Ancak, gemi operasyonu sırasındaki emisyonlar azaldıkça, gemilerin inşa ve söküm aşamaları, gemilerin yaşam döngüsü etkisinin değerlendirilmesinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada tersanenin karar vericilerinin faaliyetleri dahilindeki enerji sektörleriyle ilgili rasyonel ve optimize edilmiş kararlar almasını desteklemek üzere Çok Kriterli Karar Alma yöntemleri uygulanmıştır.

Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP: Fuzzy Analitic Hierarchy Process) yöntemi ana disiplinler ve kriterler için niteliklerin ağırlıklandırılmasını belirlemek için kullanılmıştır. AHP, sosyal, politik, ekonomik ve teknolojik sorunlar gibi farklı disiplinlerdeki ve farklı türdeki sorunları analiz etmek için kullanılabilen bir araçtır. Ayrıca hem nitel hem de nicel analiz için deneyimden türetilen bilgiyi karar almaya aktarabilir Bazı literatürler, geleneksel AHP yönteminin hala insan zihniyetini doğru bir şekilde yansıtamadığını ve alternatiflerin karşılaştırılmasında karar vericinin görüşünü ifade edemediğini, yargılar için dengesiz bir ölçek kullandığını, belirsizliğin ve kesin olmayan çiftler arası karşılaştırma sürecinin üstesinden gelemediğini savunmaktadır. Tüm bu sınırlamaları ele almak için FAHP yöntemi geliştirilmiştir. FAHP yöntemi, karar vericiye sabit değerli değerlendirmeler yerine aralıklı

değerlendirmeler sağlama konusunda daha fazla güven verir. Vakili bu çalışmada bu nedenlerle FAHP yöntemini kullanmıştır.

Omar ve arkadaşlarının (2019) çalışmasında konut enerji yönetimi kontrol algoritmalarını karşılaştırmak ve sıralamak için Analitik Hiyerarşi Sürecini kullanan esnek bir değerlendirme çerçevesi önerilmiştir. Çerçeve, tercihleri temsil eden öznel kullanıcı girdisi ile enerji tüketimi, maliyet ve konforla ilgili algoritma performansından elde edilen nesnel verilerin birleşiminden bir sıralama türeten hibrit bir mekanizmadır. Analitik Hiyerarşi Süreci, alternatifleri sıralamak için kullanılan tek bir genel puanla sonuçlanmış ve yaklaşım, değerlendirme sürecini altı konut enerji yönetimi kontrol algoritmasına uygulayarak gösterilmiştir. Enerji yönetimi kontrol algoritmasını; hedef, kriterler ve alternatifler olmak üzere üç seviyeli hiyerarşiye bölerek yapılan çalışmada kriterler enerji, maliyet ve konfor olarak ele alınmıştır. Kullanılan ÇKKV yöntemi AHP'dir. Sonuç olarak konforsuzluk maliyetini en aza indirmek olan alternatif 3 (konfor kriteri) en yüksek sırada yer almıştır.

4. BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE ENERJİ PERFORMANSININ İLGİLİ DEĞİŞKENLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde İzmir’de yer alan bir tekstil işletmesinin işletmekte olduğu Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) ve enerji verimliliği beklentileri nedeniyle sağladıkları uygulamalar gözden geçirilmiş, ISO 50001 standart gereklerinin ne seviyede karşılandığı, enerji performansının ölçülmesi ve izlenmesi için mevcut organizasyonu, enerji verilerinin toplanması ve işlenmesi için neler yapıldığı değerlendirilmiştir. Değerlendirme ve gözden geçirme, fabrikada enerji yönetiminden sorumlu karar vericiler ve doğrudan süreci işleten uzman teknik ekiple birlikte yapılmıştır. Karar vericiler ve teknik uzmanlar enerjinin korunması ve enerji verimliliğinin sağlanmasında yüksek seviyede bilgiye ve sezgiye sahiptirler. Öte yandan ISO 5000:2018 Enerji Yönetim Sistemi standardının enerji performansı ve yönetim sisteminin performansı için beklentileri ve uygulama gerekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada bu gereklerin de ne şekilde karşılanmakta olduğu ile ilgilenilmiştir.

4.1. ISO 50001:2018 Standart gerekleri

ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi standardı gerekleri nedeniyle, işletmede ÖEK’ler belirlenmelidir. Makine kapasitesi, makinenin modeli, binanın fiziki şartları, ürün şartları, kritik işletme parametreleri gibi değiştirilemeyecek statik faktörlerin yanı sıra, çalışan sayısı, fiilen çalışılan saat, makinenin üretim hızı, hava sıcaklığı gibi ilgili değişkenler de bulunmakta olup bu ilgili değişkenlerin neler olduğunun belirlenmesi ve değişkenlerin ölçülen enerji performansına etkisini de belirleyerek normalleştirilmede dikkate alınması önemli olacaktır. Enerji verimliliğini sağlamak üzere yatırım yapılarak, tasarım yapılarak ve üretim modelleri değiştirilerek statik faktörlerin de değiştirilmesi mümkündür. Ancak statik faktörlere sıra gelmeden ve büyük yatırım bütçelerine gerek olmadan da ilgili değişkenler üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile enerji verimliliği sağlamak mümkündür. ÖEK’lerin belirlenmesi bu sebeple önemlidir. Toplam enerji tüketimine oranla önemli miktarda enerji kullanan (ÖEK) süreçlerde yapılacak küçük iyileştirmelerin toplama oransal etkisi büyük olacaktır. Bu bağlamda; bakım süreçlerinin etkinliği, enerji kayıp ve kaçaklarının önlenmesi, çalışma saatlerinin düzenlenmesi, üretim miktarlarının arttırılması, hatalı üretimin azaltılması ve bu sayede enerjiyi tüketmiş olduğu halde satılabilir ürün haline

gelmemiş olmasının önlenmesi, düzeltme sebepli enerji tüketimi gibi bir dizi enerjinin tasarruf edileceği açıktır. Tasarruf edilen enerji kullanılmamış enerjidir ve enerji verimliliği kavramı içinde kullanılmayan, yeniden kullanılan, dönüştürülen vb. tüm tasarruf edilen enerjiler de önemli bir yer tutar.

Yapılan literatür araştırmasında ilgili değişkenlere göre enerji performansının değerlendirilmesi çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada İzmir’de kumaş üretimi alanında faaliyet gösteren bir işletmede ilgili değişkenlere göre enerji performansı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle sektör gerçekleri ile işletmedeki var olan yöntem ve uygulama biçimi değerlendirilmiştir.

4.2. Sektörel yaklaşım ve işletme verileri, ÖEK’lerin belirlenmesi

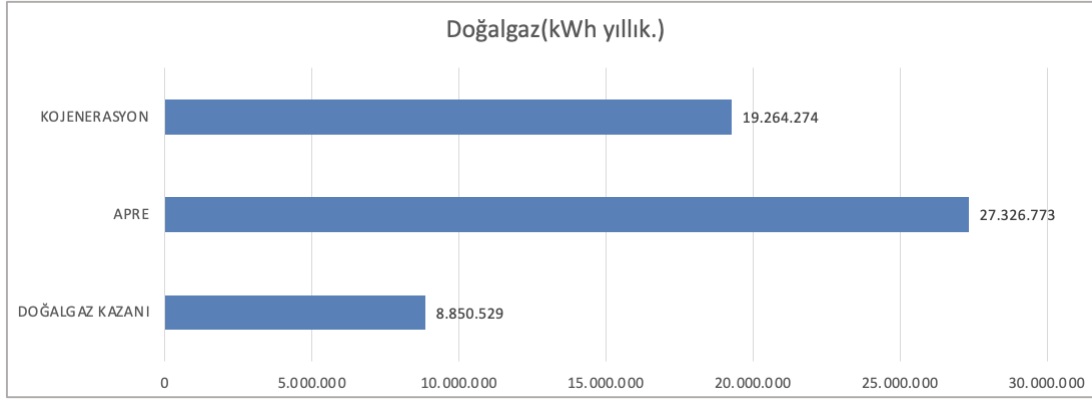
Tekstil işletmeleri, konfeksiyon dışında, kumaş dokuma ve boyama süreçlerinde kazan işletiyor olmaları nedeniyle yüksek miktarda enerji kullanmaktadır. Konfeksiyon üretimi kısmı kesme, dikiş gibi nispeten daha az enerji kullanan makineler ile yapılmaktadır. Ancak kumaş üretiminde önemli miktarda enerji tüketimi bulunmaktadır. Firma entegre bir tesis olmasına ve konfeksiyon üretimi yapılan tarafında daha fazla çalışanı olmasına rağmen, bu çalışmada ele alınan işletmesi yüksek miktarda enerji kullanan kumaş üretimi, boya ve apre süreçleridir.

Firmada kullanılan enerji türleri, Doğal Gaz, Elektrik, Motorin ve Biokütledir (pelet vb). Firma ÖEK’lerini, toplam tüketim içinde enerji kullanımlarını oranlayarak belirlemiştir. Doğal Gaz için ÖEK belirleme tablosu ve grafik gösterimi Tablo 1’de belirtilmektedir. (Tablodaki değerler tam sayıya yuvarlanan değerlerdir.)

Tablo 1. İşletmenin Doğal Gaz ÖEK belirleme Tablosu (2024) (İşletme verisi)

Doğalgaz							
No	ÖEK'nin Adı	Ana değişkenler neler?	ÖEK ölçülüyor mu? Otomatik/M anuel (Elle)	kWh/yıl	Genel Kullanım %	Kümülatif %	
1	DOĞALGAZ KAZANI		M	8.850.529	16%	16%	
2	APRE		O	27.326.773	49%	65%	
3	KOJENERASYON		O	19.264.274	35%	99%	
4	YEMEKHANE		M	170.363	0%	100%	
5	Örgü Yemekhane		M	125.208	0%	100%	
				55.737.147			

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 2. İşletmenin Doğal Gaz ÖEK'leri grafiksel gösterimi (İşletme verisi)

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

2024 verilerinin değerlendirildiği Tablo 1 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi, 55.737.147 kWh/yıl olan toplam Doğal Gaz tüketiminin 27.326.773 kWh/yıl ile %49’unu Apre bölümü kullanmaktadır. Bir diğer deyişle, ilk sıraya yerleşmiş olan ÖEK Apre bölümüdür. Aynı şekilde Kojenerasyon 19.264.274 kWh/yıl ve %35 kullanım ile ikinci sıradadır. Doğalgaz kazanı 8.850.529 kWh/yıl ile toplan tüketimin %16’sını tüketiyor olup üçüncü sırada ÖEK olarak belirlenmiştir. ÖEK olması için işletmenin ilgili prosedüründe kabul edilen kriter, toplam tüketim içinde %9 dan daha büyük bir paya sahip olması olarak tanımlanmıştır. Tablo 1’de ayrıca tüketim verilerinin ne şekilde ölçüldüğüne dair açıklama bulunmaktadır. Apre ve kojenerasyonda otomatik olarak bir ölçüm metodu bulunmakta, doğalgaz kazanı için ölçüm manuel olarak yapılmakta, kazan girişinde bulunan sayaç belirli aralıklarla okunarak bir forma kaydedilmektedir. Otomatik ölçümde ise tüketimin olduğu tesisler üzerine konumlandırılmış olan analizörler vasıtasıyla bir yazılım sistemi üzerinden anlık olarak izlenmektedir.

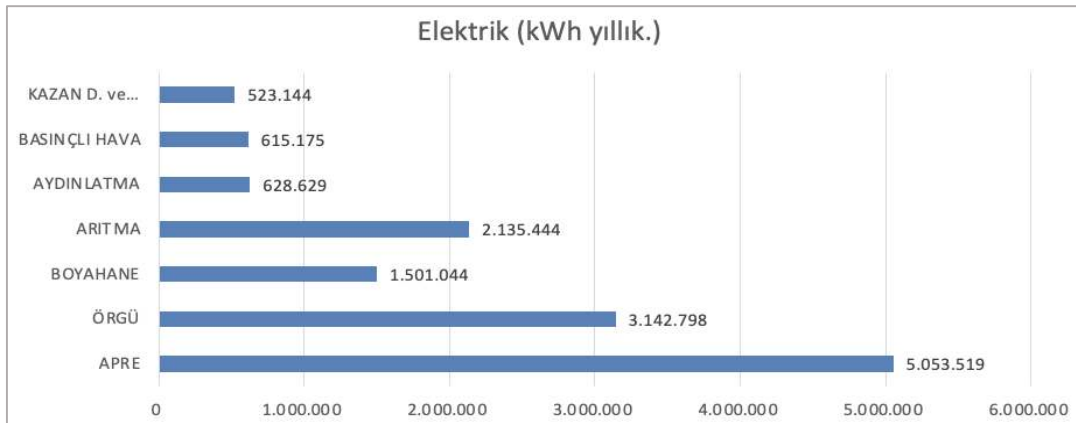
Benzer bir yaklaşımla, işletme yönetimi tarafından elektrik kullanımının toplam tüketim içindeki paylarına bakılarak Tablo 2 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi analizler yapılmış ve %9 üzerinde pay alan ilk 4 sırayı Apre, Örgü, Boyahane ve Arıtma tesisinin aldığı belirlenmiştir. Aydınlatma %4, Basınçlı hava %4, Kazan dairesi ve Su Tesisleri %3 olarak toplam tüketimden %9 dan küçük pay almaktadırlar. Ancak operasyonel olarak kolaylıkla enerji verimliliğine etki edebilecek parametreler olması nedeniyle ÖEK içinde izlenmeleri gerekli görülmüştür.

Kazan işletme saatleri, hava kaçakları ve güneşsiz saatlerin takibine bağlı olarak gereksiz yapılan aydınlatma gibi konular enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu sebeple takibi önemsenmiştir. Chiller ve Kojen bölümleri tarafından kullanılan elektrik enerjisi gibi %1 ve %2 gibi pay alan tüketiciler ise ÖEK olarak alınmamıştır.

Tablo 2. İşletme Elektrik ÖEK belirleme Tablosu (2024) (İşletme verisi)

No	ÖEK'nin Adı	Ana değişkenler neler?	ölçülüyor mu? Otomatik/ Manuel (Elle)	kWh/yıl	Genel Kullanım %	Kümülatif %	
1	APRE		O	5.053.519	30%	30%	
2	ÖRGÜ		O	3.142.798	19%	48%	
3	BOYAHANE		O	1.501.044	9%	57%	
4	ARITMA		O	2.135.444	13%	70%	
5	AYDINLATMA		O/M	628.629	4%	74%	
6	BASINÇLI HAVA		O	615.175	4%	77%	
7	KAZAN D. ve Su Tesisler		O	523.144	3%	80%	
8	CHILLER		O	118.592	1%	81%	
9	KOJEN II		O	309.349	2%	83%	
10	PAD BATCH		O	133.840	1%	84%	
11	BASKI		O	0	0%	84%	
12	SU KUYULARI		F	208.991	1%	85%	
13	YEMEKHANE		O	122.307	1%	86%	
14	İDARI BİNA		O	16.379	0%	86%	
15	DİĞER			2.415.991	14%	100%	
Toplam Tüketim (yukarıdakilerin toplamı)				16.925.202	100%		0
Faturaların Toplamı				16.925.202	100%		

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 3. İşletmenin Elektrik ÖEK'leri grafiksel gösterimi (İşletme verisi)

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi Apre Bölümü doğalgaz tüketiminde birinci sırada olduğu gibi Elektrik tüketiminde de birinci sıradadır. Genel kullanım sütununda yer alan paylar, enerji türüne göre hesaplanmış olan doğal gaz tüketiminden ve elektrik tüketiminden gelen kullanımın oranlarıdır. Tabloda kümülatif sütununda yer alan oranlar ise enerji kullanımlarının toplam içindeki paylarını göstermek üzere toplanarak bütüne ulaşmayı göstermektedir ve toplam kullanımın %80'inin seçilmiş olduğu görülebilmektedir. 2024 yılında Pelet girdisi olmamıştır. Motorin kullanımı sadece acil durum maksatlı olarak hazır bulundurulmuş jeneratör içindir ve deposuna koyulan 5 ton mazot hala durmakta olduğu için bir tüketim verisi olarak hesaplamaya katılmamıştır. Öte yandan şirket araçları için de kullanılan dizel yakıt bulunmaktadır ve buna ilişkin veriler Tablo 3 ile paylaşılmıştır. Ancak burada da karbon ayak izi hesaplamasında kullanma amacı olduğu ve kendi içinde belirlenmiş performans göstergesinin de 100 km başına kullanılan yakıt (lt motorin/100 km) olması nedeniyle, tesis sınırları içinde hesaplanan enerji verimliliği kapsamına alınmamıştır. Tablo 3 içinde dikkat çekmesi gereken bir başka veri de ana değişkenler sütunudur. Tablo 3'te ana değişken olarak araç sayısı belirtilmiştir. Araç sayısı arttıkça tüketimin artacağı ve eksildikçe de azalacağı bellidir.

Tablo 3. İşletmenin Motorin ÖEK belirleme Tablosu (İşletme Verisi)

Diesel							
İd	ÖEK'nin Adı	Ana değişkenler neler?	ÖEK ölçülüyor mu? Otomatik/M anuel (Elle)	lt/yıl	Genel Kullanım %	Kümülatif %	Enerji kullanımını kim etkiler?
1	Şirket Araçları	Araç Sayısı		46.579	67%	67%	
2	Şirket içi operasyonlar			23.187	33%	100%	

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

ÖEK'lerin belirlenmesi ile ilgili talimatlar aşağıda Tablo 4'te yer aldığı şekliyle belirlenmiştir.

Tablo 4. ÖEK Belirleme Talimatları Tablosu (İşletme verisi)

İlk adım EnYS kapsamındaki her enerji kaynağı için bir enerji balansı geliştirmektir
1- Her kaynak için (elektrik, doğalgaz) bilinen tüm kullanımları listeleyin
2- Listelenen her kaynak için enerji tüketimini ölçün ya da tahmin edin
3- Her kaynak için enerji kullanım balansını teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğu kadar %100'e yakın bir değere getirmeye çalışın
4- Kullanım listesinde en önemli olduğunu düşündüklerinizi seçin. Tüketicilerin en üst %80'i dikkate alınmalıdır
5- Seçilen ÖEK'ler EnYS faaliyetlerinin çoğunun odak noktası olacaktır

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kullanılan enerjinin belirlenmesinden sonra, enerji verimliliğinden söz edebilmek için, bu kadar enerji kullanımıyla ne kadar üretimin yapıldığının bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu da üretim (ton kumaş) başına kullanılan enerji miktarını verecektir. İşletmede bu veri aylık olarak yapılan üretim tiplerine bağlı olarak, her ay yapılan tüketim tahmini üzerinden belirlenmektedir. Her bir üretim tipi için ölçümlenerek tahminlenen enerji tüketimi öngörüsü ve gerçekleşen enerji tüketimi izlenerek sağlanmaktadır. Hedef ise

Gerçekleşen Tüketim – Tahmini Tüketim / Gerçekleşen Tüketim

Formülüyle izlenmekte olup hedef EnPG %5'dir. Yani bu formül sonucunda elde edilen sapmanın %5'i geçmemesidir. Öte yandan üretilen miktarlar her ay için tüketim verileriyle hesaplanarak o aya ait hedefler izlenmektedir. Yıl sonu kümülatif üretim toplamı ile toplam enerji kullanımı üzerinden de verimlilik hesaplanmakta ve bir önceki yıla göre mukayese edilmektedir. 2024 yılı için 7.551.408 ton kumaş olan üretime göre yıl sonu toplam kullanılan enerji performansı; 0,747 TEP/ton kumaş olarak belirlenmiştir.

TEP (ton eşdeğer petrol) birimi ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) tarafından takip edilen ortak birim olduğu ve işletmelerin de ETKB tarafından açılmış ENVER portaline enerji tüketimlerini bu birim ile girmek zorunda oldukları için mutlaka çevirmek zorunda oldukları bir değer birimidir. Ayrıca, işletmeler çeşitli denetim kuruluşları (uygunluk değerlendirme kuruluşları) tarafından da denetlenirken başka birimlere de çevirmeye gerek duymaktadırlar. Örneğin Almanya merkezli kuruluşlar Giga Joule (GJ) isterken İngiltere (UK) Terra Joule birimi ile takip etmek istemektedir. Enerji kaynaklarının birim çevrimine ilişkin veriler kalorifik değerlerine göre Tablo 5'te sunulmuştur. Formüllü bir Excel tablosu olup, ilgili enerji kaynağının

katsayısı kalorifik değerinden gelmektedir ve ilgili satırda girilen miktar katsayısı ile çarpılarak TEP değerini göstermekte, tablonun alt satırlarında da TEP ve TJ değerleri toplam olarak görülmektedir. Tablo 5, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından herkesin kullanımına açık olarak yayınlanmıştır

Tablo 5. Enerji Kaynakları TEP/ TJ Belirleme Tablosu

Enerji kaynakları TEP/ TJ belirleme tablosu				
Miktar	Birim	Enerji Kaynağı	Katsayı	TEP Değeri
	ton	Taşkömürü	0,610	0,00
	ton	Kok Kömürü	0,720	0,00
	ton	Briket	0,500	0,00
	ton	Linyit teshin ve sanayi	0,300	0,00
	ton	Linyit santral	0,200	0,00
	ton	Elbistan Linyiti	0,110	0,00
	ton	Petrokok	0,760	0,00
	ton	Prina	0,430	0,00
	ton	Talaş	0,300	0,00
	ton	Kabuk	0,225	0,00
	ton	Grafit	0,800	0,00
	ton	Kok tozu	0,600	0,00
	ton	Maden	0,550	0,00
	ton	Elbistan Linyiti	0,110	0,00
	ton	Asfaltit	0,430	0,00
	ton	Odun	0,300	0,00
	ton	Hayvan ve Bitki Artığı	0,230	0,00
	ton	Ham Petrol	1,050	0,00
	ton	Fuel Oil No: 4	0,960	0,00
	ton	Fuel Oil No: 5	1,003	0,00
	ton	Fuel Oil No: 6	0,986	0,00
	ton	Motorin	1,020	0,00
	Litre	Motorin	1,196	0,00
	ton	Benzin	1,040	0,00
	ton	Gazyağı	0,829	0,00
	ton	Siyah Likör	0,300	0,00
	ton	Nafta	1,040	0,00
	m ³	Doğal Gaz	0,825	0,00
	ton	Kok Gazı	0,820	0,00
	m ³	Kok Gazı	0,403	0,00
	ton	Yüksek Fırın Gazı	0,054	0,00
	m ³	Yüksek Fırın Gazı	0,069	0,00
	m ³	Çelikhane Gazı	0,150	0,00
	m ³	Rafineri Gazı	0,878	0,00
	m ³	Asetilen	1,423	0,00
	m ³	Propan	1,020	0,00
	ton	LPG	1,090	0,00
	m ³	LPG	2,700	0,00

kWh	Elektrik	0,086	0,00
kWh	Hidrolik	0,086	0,00
kWh	Jeotermal	0,860	0,00
TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ (TEP)			0,00
TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ (Kilo Joule)			0,00
TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ (Terra Joule)			0,00

Kaynak: www.enerji.gov.tr

İşletmede 2024 yılı için Enerji performansı (EnP) 0,747 TEP/ton kumaş (31,7 GJ/ton kumaş) olarak gerçekleşmiştir. Kuruluştaki tek bir EnP olması şart değildir. Hatta firmalar, farklı üretim alanları veya süreçleri itibarıyla farklı EnP'ler belirleyerek, her biri için de farklı iyileştirme gerekleri üretebilmektedirler. İyileştirme projeleri bazen hava kaçaklarının önlenmesi gibi operasyonel kontrolleri gerektirmekte bazen de enerjinin yeniden kullanımı veya tasarrufu gibi, örneğin, ısının geri kazanımı, sağlanan bir ısının bir başka prosese aktarımı gibi tasarımları gerektirmektedir. Bunların yanı sıra, bakımların zamanında yapılması, yetkin personel kullanımı, çalışma saatlerinin düzenlenmesi, izolasyonun sağlanması gibi çok çeşitli faaliyetler enerji verimliliğinin sağlanmasında kullanılmaktadır. İşletmenin örme alanında Enerji performansı 2023'te 0,666 TEP/ton kumaş ilen 2024'te 0,346 TEP/ton kumaş olarak önemli bir verimlilik sağlanarak gerçekleştirilmiş, halen 2025 ilk üç çeyrek sonunda da 0,306 TEP/ton kumaş olarak sürdürülmektedir.

4.3. İlgili Değişkenlerin Belirlenmesi, İşletmede Var Olan Uygulamanın Gözlenmesi

Enerji verimliliğini etkileyen ilgili değişkenlerin normalleştirilmeye katılması için işletmede IBM SPSS modülü kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle ilgili değişkenlerin neler olduğu belirlenmiştir. İlgili değişken, ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi içinde “Enerji performansını önemli ölçüde etkileyen ve düzenli olarak değişen nicel bir faktör (ISO 50001:2018 madde 3.4.9)” olarak ifade edilmiştir. Normalleştirme tanımı da gene aynı standartta “Enerji performansının eş değer koşullar altında karşılaştırılabilmesini açıklamak için verilerin değiştirilmesi (ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi madde 3.4.10)” şeklinde verilmiştir. Bu aşamada, belirlenmiş ilgili değişkenlerin normalleştirilmesi için bir metot kullanılmalıdır. İşletmede IBM SPSS modülü ile programa normalleştirme yaptırılmıştır.

Alınan ilgili değişkenler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. İlgili Değişkenler Tablosu (İşletme Verisi)

No	Önemli Enerji Kullanımı	Enerji Girdisi	Çıktıya Etki Eden Değişkenler	Ölçüm Aletleri	Çalışma ve performans izleme için gerekli ideal ölçüm aletlerine olan yokluk / boşluk	Ölçüm Planı	Gerekli Aralık	Mühendislik Birimleri	Veri nasıl toplanacak?	Veri hangi sıklıkla toplanacak?
2	Toplam Apre Elektrik	Elektrik	Padbatch Boyama Üretim Padbatch Merserize Üretim Padbatch Üretim Baskı Üretim Fikse Var/Yok Üretim Sanfor Var/Yok Üretim Easy Care Var/Yok Üretim Reçine Var/Yok Üretim Su İtici Var/Yok Üretim Ter Emici Var/Yok Üretim Continü Tumbler Var/Yok Üretim Jet Boya Üretim Numune Sayısı Padbatch Ağırlıklı Gramaj Ortalama Padbatch Ağırlıklı En Ortalama Padbatch Ağırlıklı Metretül Jet Ağırlıklı Gramaj Ortalama Jet Ağırlıklı En Ortalama Jet Ağırlıklı Metretül Sadece Ram Üretim Apre Üretim Makine Sayısı	Enerji Analizörleri, Elektrik Sayaçları	YOK	MEVCUT	AYLIK	kWh	SPSS Sistemi	Günlük/Aylık
3	Örgü Elektrik	Satın Alınan Elektrik GES Elektrik Üretimi	Örgü Üretim Örgü 2 İplik Futter Üretim Örgü 3 İplik Futter Üretim Örgü Interlok Üretim Örgü Pike Üretim Örgü Ribana Üretim Örgü Süprem Üretim Örgü Havlu Üretim Örgü Vanize Süprem Üretim Ortalama Gramaj	Enerji Analizörleri, Elektrik Sayaçları	Enerji İzleme Sistemi	MEVCUT	AYLIK	kWh	Manuel	Günlük/Aylık
4	Boyahane Elektrik	Elektrik	Jet Yıkama Üretim Jet Kasar Üretim Jet Çift Boya Naylon Üretim Jet Çift Boya Pes Üretim Jet Pamuk Boya Üretim Jet Viskon Boya Üretim Jet Tek Boya Naylon Üretim Jet Tek Boya Pes Üretim Jet Indanthren Üretim Jet Ortalama Süre Jet Boya Üretim Jet Boya Tamir Numune Sayısı	Enerji Analizörleri, Elektrik Sayaçları	YOK	MEVCUT	AYLIK	kWh	SPSS Sistemi	Günlük/Aylık

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 6’da görüldüğü gibi örnek alınan işletmede, Apre bölümü toplam elektrik kullanımı ile ilgili olarak ele alınan ilgili değişkenler, padbach boyama üretim, merserize üretim, baskı üretim, fikse üretim, sanfor üretim, easy care üretim, reçine üretim, su itici üretim, ter emici üretim gibi üretim aşamalarına odaklanılarak belirlenmiştir. Örnek alınan işletmede kullanılan analiz programı SPSS, SAP ERP sisteminden verileri çekmektedir. Alınan ilgili değişkenler ürünlerin proses aşamalarıdır. Her kumaş her aşamadan geçmediği için, geçtiği aşamalara ve bu aşamalarda kullandığı enerjiye odaklanılmıştır. Örneğin; fikse işlemi var ise fikse operasyonunda kullanacağı enerji var demektir. Baskı üretim varsa baskı operasyonunda kullanacağı enerji var demektir. Veriler enerji sayaçları ile otomasyon sistemi üzerinden günlük ve aylık olarak izlenmekte ve SAP üzerinden alınan üretim verileri ile SPSS sisteminde analiz edilmektedir. SPSS modülü ekranı, Özgül Apre elektrik ve Doğalgaz için Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. İşletme SPSS Ekranı Örnek Gösterimi (İşletme Verisi)

OZGUL_APRE_ELEKTRIK						
File Generate View Preview						
Model Graph Summary Settings Annotations						
Sort by: Use Ascending Descending Delete Unused Models View: Training set						
Use?	Graph	Model	Build Time (mins)	Correlation	No. Fields Used	Relative Error
☒		XGBoost Tree 1	< 1	0.999	27	0.013
☒		CHAID 1	< 1	0.999	7	0.003
☒		Generalized Linear 1	< 1	0.962	27	0.074

OZGUL_APRE_DOGALGAZ						
File Generate View Preview						
Model Graph Summary Settings Annotations						
Sort by: Use Ascending Descending Delete Unused Models View: Training set						
Use?	Graph	Model	Build Time (mins)	Correlation	No. Fields Used	Relative Error
☒		XGBoost Tree 1	1	0.992	26	0.062
☒		Generalized Linear 1	1	0.948	26	0.102
☒		Regression 1	1	0.943	23	0.111
☒		Linear 1	1	0.896	6	0.197
☒		CHAID 1	1	0.764	5	0.416

Kaynak: İşletmeden alınan veriye dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

İşletme tarafından bu uygulamada ele alınan değişken ürün çeşitleri olmuştur. Çünkü İşletmenin elinde detaylı ürün reçeteleri ve hem her bir ürün için hem de her bir süreç aşaması için enerji verilerini toplayabilme, ölçebilme, analiz edebilme imkanları vardır. Böyle olması her zaman mümkün olmayabilir ve tek ilgili değişken üretime ait değişik süreçler ve ürüne ait detaylı üretim reçeteleri de olmayabilir. Nitekim aynı örnek işletmede bazı enerji kullanan alanlarda farklı değişkenlerin daha fazla etkili olduğuna dair tespitler de bu çalışma esnasında yapılabilmektedir. Örneğin, arıtma tesisinde kullanılan enerji için hava sıcaklığının etkisi, Sanfor alanında makinelerin çalışmasından kaynaklı fabrika ortamının iç ısısının görece yüksek ya da düşük olmasına bağlı olarak klima kullanımının ısıtma gerektiren gün sayısı ve soğutma gerektiren gün sayısı ile ilişkisi, çalışılan gün sayısı veya saati (toplam yıllık çalışma saatine oranlı olarak da olabilir). Tabi ki toplam üretilen ürün miktarı için harcanan toplam enerjinin ölçülmesi sebebiyle üretim fireleri de önemli bir değişkendir. Bu örnekten yola çıkılarak, enerji verimliliği için genel bir tahminleme yapabilmek üzere, ısıtma gerektiren gün sayısı, soğutma gerektiren gün sayısı, toplam üretim miktarı, üretim fire oranı, toplam çalışma saatinin ilgili değişkenler olarak ele alınabileceği görülmüştür.

Bu değişkenlerden, üst yönetim tarafından atanmış karar verici uzmanlardan oluşan EnYS ekibi tarafından belirlenenleri ile bir ÇKKV modeli kurularak alternatif çözüm aranmıştır. Karar vericiler, belirlenen kriterler arasından yapılan oylama ile seçimlerini yapmış ve Tablo 8’de yer alan kriterler aldıkları oy oranlarına bakılarak kabul yüzdelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Pareto analizi gereği %80’i sağlayan ilk 3 kriter ilgili değişken olarak kabul edilmiştir.

Sonrasına aynı şekilde karar vericiler, belirlenen yönetim yöntemleri arasında bir oylama yaparak kabul yüzdelerini büyükten küçüğe doğru sıralamış bu kez %80 i sağlayan ilk 4 alternatif seçilmiştir. Tablo 9 ile alternatif yönetim yöntemleri sıralaması verilmiştir.

Tablo 8. İlgili Değişkenler Seçimi Sıralama Tablosu

Değişkenler	Kabul Yüzdesi
İklim Değişikliği	34
Çalışılan Gün sayısı	26
Üretim Firesi	23
Isıtma Gerektiren Gün Sayısı	4
Soğutma Gerektiren Gün Sayısı	4
Toplam Üretim Miktarı	5
Hava sıcaklığı etkisi	1
Çalışma saati	2
TOPLAM	% 100

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 9. Yönetim Yöntemleri Seçimi Sıralama Tablosu

Değişkenler	Kabul Yüzdesi
Organizasyonel Etkinlik	23
Bakım Süreçleri Etkinliği	26
Üretim Planlama	19
Kalite Kontrol süreçleri	16
Maliyet etkin yönetim	4
Personel Yetkinliğinin artırılması	5
Yalın Üretim süreçlerinin tasarımı	7
TOPLAM	%100

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

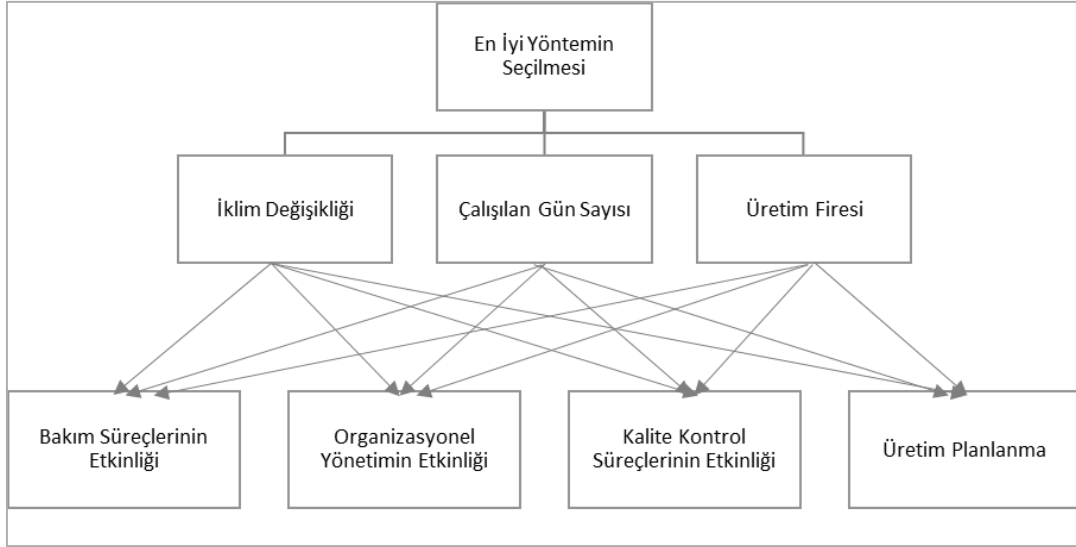
4.4. ÇKKV Modelinin Uygulanması

İşletmede Enerji yönetiminde karar vericiler ve uygulayıcılarla birlikte yapılan görüşmelerle enerji verimliliğini etkileyen ilgili değişkenler ve geliştirilen alternatif yönetim modelleri belirlenmiştir. Öncelikle Karar vericiler ve uygulayıcılardan bir EnYS (Enerji Yönetim Sistemi) Ekibi belirlenmiştir. Üst yönetimi temsil eden Genel

Müdür yardımcısı, atanmış Enerji Yöneticisi, yönetim sistemlerinin yürütülmesinden ve etkinliğinden sorumlu Yönetim sistemleri temsilcisi, arıtma tesisinden ve çevre yönetiminden sorumlu Çevre yöneticisi, bakım süreçlerinden sorumlu bakım müdürü, çalışma ortamı şartlarının uygunluğundan sorumlu atanmış İş Sağlığı ve Güvenliği müdürü, ve veri yönetiminden sorumlu veri analisti ile oluşturulan 6 kişilik bir EnYS ekibi ile seçilen ilgili değişkenler (kriterler) ile geliştirilen yönetim yöntemleri (alternatifler) için bir AHP modeli uygulanmıştır. Söz konusu karar verici ekibin uzmanlığı, deneyim ve sorumluluklarına göre karar vermeye yetkin ve yeterli oldukları varsayımı yapılmıştır.

Hedef, en iyi yönetim yönteminin seçilmesidir. Yetkin uygulayıcı ve karar vericilerden oluşan EnYS ekibi tarafından belirlenen iyi yönetim yöntemleri, bakım süreçlerinin etkinliği, organizasyonel yönetimin etkinliği, kalite kontrol süreçlerinin etkinliği ve üretim planlanmadır. Ele alınan yönetim yöntemleri (alternatifler) arasında seçilen bu 4 alternatifin yanı sıra, maliyet, personel yetkinliğinin artırılması, yalın üretim süreçleri tasarımı olmak üzere 3 alternatif daha bulunmasına rağmen EnYS ekibi tarafından anlamlı bulunarak seçilen ilk 4 ü olmuştur. Maliyet bir alternatif olarak ele alınmamıştır. Çünkü, enerji temin fiyatları nedeniyle maliyet rakamları azalabilir ama bu enerjinin verimli kullanılmakta olduğunu gösteremez. Personel yetkinliğinin artırılmasının organizasyonel yönetimin etkinliği içinde olacağı ve yalın üretim süreçleri tasarımının da kısmen üretim planlama kısmen de organizasyonel yönetim etkinliği alanına gireceğine karar verilmiştir.

Enerji verimliliğine etki eden ilgili değişkenler olarak karar vericilerle birlikte belirlenen kriterler ise, iklim değişikliği etkisi, çalışılan gün sayısı, üretim firesi etkisi olarak seçilmiştir. Bunların yanı sıra makine hızı, üretime giren hammadde karakteristiğinde değişiklikler, üretim istasyonu sayısı gibi kriterler de belirlenmiş olmakla birlikte, Makine hızının üretim prosesi içinde etkisinin olmadığı, hammadde karakteristiğinin ve üretim istasyonu sayısının ürüne bağlı kriterler arasında zaten ele alınabilmekte olduğu ve mevcut IBM SPSS analizlerinde işlenebildiği nedenleriyle EnYS ekibi tarafından seçilmemişlerdir.



Şekil 4. AHP Modeli

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

İlgili değişkenlerin (kriterlerin) belirlenme ve seçilme yaklaşımları aşağıda açıklanmıştır:

- **İklim değişikliği etkisi:** Hava sıcaklığına bağlı olarak ortam koşulları, ısıtma ve soğutma gerektireceği nedeniyle enerji tüketimini etkiler.
- **Çalışılan gün sayısı:** Çalışılan gün sayısı, kullanılacak enerji tüketim miktarını etkiler.
- **Fire oranı:** Üretimdeki kalite kaybı, ürünlerin enerji tüketmiş olduğu halde satılabilir ürün haline gelmemiş olması sebebiyle enerji verimliliğini etkiler.

Karar vericilerle birlikte belirlenen yönetim yöntemleri (alternatifler) ise;

- Bakım Süreçlerinin Etkinliği,
- Organizasyonel Etkinlik,
- Kalite Kontrol Süreçlerinin etkinliği ve
- Üretim Planlamadır.

Alternatif yönetim yöntemlerinin belirlenme yaklaşımları aşağıda açıklanmıştır:

- **Bakım süreçlerinin etkin olması** iş sürekliliğini etkiler, duruşları engeller makine verimini artırır, bu nedenle enerji verimliliğine etki eder.
- **Organizasyonel etkinlik**; etkin bir organizasyon yapısının işletilmesi, yetkin insan kaynaklarının varlığı, yönetim süreçlerinin performansının izlenmesi ve ölçülmesi ile verimliliğe etki eder.
- **Kalite kontrol süreçlerinin etkinliği**; hatalı üretimin engellenmesi, izleme ölçme cihazlarının kalibrasyonu ve takibi ile verimliliğe etki eder.
- **Üretim planlama**; enerji verimli saatlerde çalışılabilmesi, doğru zamanda doğru ürünün planlanmasıyla boşa geçen zamanı önleyerek verimliliğe etki eder.

AHP'de kriterlerin birbirlerine göre önemi karşılaştırmalı bir matrisle belirlenir.

Saaty'nin karşılaştırma ölçeğine göre;

- 1- Eşit derecede önemli
 - 3 - Biri diğerinden biraz daha önemli
 - 5 - Biri belirgin şekilde daha önemli
 - 7 - Biri diğerinden çok daha önemli
 - 9 - Aşırı derecede önemli
- olarak belirlemeler sağlanmıştır.

“Bakım” kriterinin “Organizasyonel Etkinlik” kriterine kıyasla 9 kat daha önemli olduğu düşünülüyorsa, “Organizasyonel Etkinliğin” karşılaştırma matrisinde “Bakım” kriterine göre önemi 1/9 olur.

Tablo 8’de kurulan karar modeline göre ilk seviye olan kriter karşılaştırmalarının karar matrisi verilmektedir.

Tablo 10. Kriter Karşılaştırma Karar Matrisi

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	1	5	7
ÇALIŞILAN GÜN	1/5	1	3
FİRE ORANI	1/7	1/3	1

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo11’de her bir alternatifin her bir kriterine göre değerlendirme ve karşılaştırmalarının yapıldığı karar matrisleri verilmektedir.

Tablo 11. Alternatiflerin Karşılaştırma Karar Matrisleri

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	BAKIM ETKİNLİĞİ	ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	ÜRETİM PLANLAMA
BAKIM ETKİNLİĞİ	1	3	7	5
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	1/3	1	3	5
KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	1/7	1/3	1	3
ÜRETİM PLANLAMA	1/5	1/5	1/3	1

ÇALIŞILAN GÜN	BAKIM ETKİNLİĞİ	ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	ÜRETİM PLANLAMA
BAKIM ETKİNLİĞİ	1	5	5	7
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	1/5	1	3	3
KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	1/5	1/3	1	3
ÜRETİM PLANLAMA	1/7	1/3	1/3	1

FİRE ORANI	BAKIM ETKİNLİĞİ	ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	ÜRETİM PLANLAMA
BAKIM ETKİNLİĞİ	1	3	7	7
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	1/3	1	3	5
KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	1/7	1/3	1	3
ÜRETİM PLANLAMA	1/7	1/5	1/3	1

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Daha sonra AHP çözüm yöntemine uygun olarak her bir matris için normalizasyon yapılmıştır. Kriterler kendi aralarında ve her bir kriter, belirlenen 4 alternatif yönetim yöntemine göre AHP modeline uygulanmıştır. Tablo 10’da normalizasyon yapılarak elde edilen vektörler verilmektedir.

Tablo 12. Normalize Edilmiş Kriter Karar Vektörleri

	Normalize Edilmiş Değerler
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	0,7306
ÇALIŞILAN GÜN	0,1884
FİRE ORANI	0,0810

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	Normalize Edilmiş Değerler
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646
KALTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601

ÇALIŞILAN GÜN	Normalize Edilmiş Değerler
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,6250
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,1990
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1149
ÜRETİM PLANLAMA	0,0610

FİRE ORANI	Normalize Edilmiş Değerler
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5897
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2533
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1041
ÜRETİM PLANLAMA	0,0529

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Son olarak AHP modeli alternatiflerle kriterlere uygulanmış, her bir kriterin ağırlıkları çarpılarak normalize edilen sonuçlar ile en iyi yönetim yöntemi “Bakım Süreçlerinin Etkinliği” olarak belirlenmiştir. Tablo 13’de çarpım matrisine yer verilmektedir.

Tablo 13. Çarpım Matrisi

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI	KARAR SIRALAMASI
	0,7306	0,1884	0,0810	
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665	0,6250	0,5897	0,5794
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646	0,1990	0,2533	0,2513
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088	0,1149	0,1041	0,1096
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601	0,0610	0,0529	0,0597

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

En iyi yönetim yönteminin belirlenmesi olan hedef için, “Bakım Süreçlerinin Etkinliği” 0,5794 ile ilk sırada belirlenirken “Organizasyonel Etkinlik” 0,2513 ile ikinci sırada, “Kalite Kontrol Süreçlerinin Etkinliği” 0,1096 ile üçüncü sırada yer almıştır. “Üretim Planlama” yöntemi 0,0597 ile son sıradadır ve neredeyse önemsiz bir etkiye sahiptir.

AHP Modeli için tutarlılık analizi yapılmış, sırasıyla İklim değişikliği için 0,090, Çalışılan gün sayısı için 0,059 ve Fire oranları için 0,052 bulunmuş ve 0,10 oranının altında kalmış olması nedeniyle karar matrisinin tutarlılığı teyit edilmiştir.

Tablo 14’de Tutarlılık analizi karar matrisleri için ve tablo 15’te kriterler için ayrı ayrı verilmektedir.

Tablo 14. Tutarlılık Analizi (Karar Matrisleri)

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÖZVEKTÖR	TÜM ÖNCELİKLİ VEKTÖR	LAMDA	CI TUTARLILIK ENDEKSİ	CI/RI
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5583	2,4768	4,4365	0,0810	0,0900
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2603	1,1227	4,3128		
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1153	0,4801	4,1628		
ÜRETİM PLANLAMA	0,0661	0,2682	4,0599		
Ortalama			4,2430		

ÇALIŞILAN GÜN	ÖZVEKTÖR	TÜM ÖNCELİKLİ VEKTÖR	LAMDA	CI TUTARLILIK ENDEKSİ	CI/RI
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,6085	3,8071	6,2568	0,4437	0,0592
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2038	1,5583	7,6447		
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,3485	0,7254	2,0817		
ÜRETİM PLANLAMA	0,0624	0,3335	5,3411		
Ortalama			5,3311		

FİRE ORANI	ÖZVEKTÖR	TÜM ÖNCELİKLİ VEKTÖR	LAMDA	CI TUTARLILIK ENDEKSİ	CI/RI
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5836	2,4945	4,2740	0,0476	0,0529
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2509	1,0539	4,2002		
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1094	0,4446	4,0648		
ÜRETİM PLANLAMA	0,0561	0,2261	4,0325		
Ortalama			4,1429		

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 15. Tutarlılık Analizi (Kriterler)

	ÖZVEKTÖR	TÜM ÖNCELİKLİ VEKTÖR	LAMDA	CI TUTARLILIK ENDEKSİ	CI/RI
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	0,7235	2,2726	3,1411	0,0329	0,0633
ÇALIŞILAN GÜN	0,1932	0,5878	3,0427		
FİRE ORANI	0,0833	0,2511	3,0137		
		Ortalama	3,0658		

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.5. Duyarlılık Analizi

Karar vericilerin yaptıkları seçimlerin değişecek olması halinde sıralamanın nasıl etkileneceğine dair bir duyarlılık analizi yapılarak, ağırlıkların değişmesi hali çeşitli senaryolarla test edilmiştir.

2 farklı senaryo test edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Senaryo 1:

İklim değişikliği, çalışılan gün ve fire oranı için eşit ağırlıklar uygulanmış, bakım etkinliği, organizasyon etkinliği, kalite kontrol süreçleri ve üretim planlama şeklinde olan sıralamanın değişmediği görülmüştür.

Senaryo 2:

Kriterlerin birinin en çok diğerlerini en az olduğu senaryolar denenmiştir. İklim değişikliğinin %80 diğerlerinin %10 ve %10 olduğu, sonrasında çalışılan gün sayısının %80 diğerlerinin %10'ar olduğu ve en son da fire oranının %80 diğerlerinin %10'ar olduğu senaryolar test edilmiştir. Sıralama değişmemiş, çalışılan gün sayısının artırılması halinde bakım etkinliğinin daha da yüksek bir değere çıktığı görülmüş, fire oranının en yüksek olduğu senaryoda organizasyonel etkinlik görece yükselmiş ancak her durumda sıralamada değişiklik olmamıştır. Bu da karar verici uzmanlar ekibinin bakım etkinliğini çok güçlü olarak önemli bir sırada tercih etmiş olduklarının bir sonucudur.

Senaryolara ilişkin duyarlılık analizleri Tablo 16 ve Tablo 17 ile verilmiştir.

Tablo 16. Duyarlılık Analizi (Senaryo 1)

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI	KARAR SIRALAMASI
	0,3333	0,3333	0,3333	
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665	0,6250	0,5897	0,5937
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646	0,1990	0,2533	0,2390
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088	0,1149	0,1041	0,1093
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601	0,0610	0,0529	0,0580

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 17. Duyarlılık Analizi (Senaryo 2)

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI	KARAR SIRALAMASI
	0,8000	0,1000	0,1000	
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665	0,6250	0,5897	0,5746
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646	0,1990	0,2533	0,2569
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088	0,1149	0,1041	0,1089
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601	0,0610	0,0529	0,0595

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI	KARAR SIRALAMASI
	0,1000	0,8000	0,1000	
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665	0,6250	0,5897	0,6156
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646	0,1990	0,2533	0,2110
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088	0,1149	0,1041	0,1132
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601	0,0610	0,0529	0,0601

	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	ÇALIŞILAN GÜN	FİRE ORANI	KARAR SIRALAMASI
	0,1000	0,1000	0,8000	
BAKIM ETKİNLİĞİ	0,5665	0,6250	0,5897	0,5909
ORGANİZASYON ETKİNLİĞİ	0,2646	0,1990	0,2533	0,2490
KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	0,1088	0,1149	0,1041	0,1057
ÜRETİM PLANLAMA	0,0601	0,0610	0,0529	0,0544

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

SONUÇ

Bu çalışma ile bir Enerji Verimliliği Yönetim sisteminin performansının değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin kullanılabilirliği değerlendirilmiş, bunun için Enerji Yönetim sistemi işleten örnek bir işletmenin fiili olarak kullanmakta olduğu değerlendirme yaklaşımı ve süreçleri sahada gözlemlenmiş, verileri ve SPSS kullanarak elde ettiği sonuçları değerlendirilmiştir. Enerji verimliliğine etki eden 3 kriter ve 4 alternatif yönetim yöntemi işletmenin enerji yönetim sistemini işleten karar vericiler ve uygulayıcılarla birlikte yapılan çalıştay ve görüşmelerle seçilmiş ve bu seçimlerle bir ÇKKV yöntemi uygulanmıştır.

Bu çalışmada Uluslararası bir organizasyon olan ISO tarafından yayınlanmış yönetim sistemleri ve ISO organizasyonu hakkında bir bilgilendirme sunulmuş, ISO 50001 Enerji Yönetim sisteminin gerekleri değerlendirilmiş ve örnek işletmede işletilmekte olan Enerji yönetim sisteminin de standart gereklerine uygunluğu teyit edilmiştir.

Öte yandan, Enerji ve enerji verimliliği hakkında yapılmış ÇKKV çalışmalarının araştırılması ulusal ve uluslararası açık bilimsel kaynaklardan yapılmış, elde edilen literatür taraması örnekleri özetlenmiştir. Enerji ve enerji verimliliği alanlarında farklı ihtiyaçlar için ÇKKV yöntemlerinin kullanımına dair araştırmaların varlığı görülmüştür. Enerji yönetim sistemi ile ilgili olarak az sayıda ÇKKV çalışmasına erişilmiş olmakla beraber çok değerli sonuçlar üretilmiş olduğu da görülmüştür.

Örnek alınan tekstil işletmesinde işletilen enerji yönetim sistemi için belirlenmiş ÖEK'ler, enerji verileri, ilgili değişkenler ve performansın değerlendirilmesinde kullanılan yöntem incelenmiştir. İşletme, enerji verimliliğinin sağlanmakta olduğuna dair somut kanıtları üretebilmekte ve sunabilmektedir. Alt yapı, yetişmiş insan kaynakları ve yazılım varlıkları işletmenin güçlü yönlerindendir. Her bir ürün için detaylı ürün reçetelerine sahip olmaları nedeniyle somut verilere ulaşmaktadırlar. Bu sebeple üretim planlamasına bağlı olarak net enerji harcamalarını hem tahmin edebilmekte hem de gerçekleştiğinde ölçebilmektedirler. Enerji verimliliğini etkileyen ilgili değişkenler zaman içinde belirlendikçe eklenerek fazlaca değişkenin değerlendirmeye alınması sağlanabilmiştir. Ancak çoğunlukla ürün

üzerinde uygulanan süreçlere bağlıdırlar. Ürünün geçtiği farklı süreçler nedeniyle kullandığı enerji miktarları bu nedenle verimlilik hesaplamasında etkin olarak ele alınabilmektedir.

Oysa daha genel bir yaklaşımla ve genellikle bu kadar ürün reçetesi bilgisine sahip olunamayan alanlarda da enerji verimliliğini değerlendirmek üzere bir karar mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, işletmedeki karar vericilerle birlikte yapılan bir çalıştayla ve görüşmelerle belirlenen kriterler arasından pareto analizi ile seçilen 3 temel kriter; iklim değişikliği, çalışılan gün sayısı, fire oranı ve gene aynı yetkin uzmanlardan oluşan karar vericiler ile belirlenen alternatifler arasından aynı yöntemler seçilen 4 alternatif yönetim yöntemi; bakım süreçlerinin etkinliği, organizasyonel etkinlik, kalite kontrol süreçlerinin etkinliği ve üretim planlama için AHP yöntemi kullanılarak en iyi yönetim yönteminin belirlenmesine çalışılmıştır. Sonuç olarak enerji verimliliğinde en etkin yöntemin bakım süreçleri üzerinde yoğunlaşmak olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların tutarlılık analizleri yapılarak tutarlılığın test edilmiş, sonrasında yapılan duyarlılık analizi ile her bir seçim için kriter ağırlıkların eşit olduğu ve her birinin diğerlerine göre en yüksek diğerlerinin en düşük olduğu senaryolara göre yapılmış ve sıralamanın değişmediği görülmüştür. Karar vericiler bu çalışma sonuçlarının işletme gerçeğine uygun olduğuna ikna olmuştur. Bu çalışma, ÇKKV yöntemlerinin elinde yeterli somut veriler henüz oluşmamış olan işletmelerde de genel bir yaklaşımla ve mevcut veriler dikkate alınarak kullanılabileceğini vaat etmektedir. Gelecekte bu çalışma EnYS verimliliği için seçilecek farklı kriterler ve stratejiler için genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- Baczkiwicz, A. ve Watróbski, J. (2022). A multi-criteria approach to sustainable energy management evaluation focusing on renewable energy sources. 26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems. *Procedia Computer Science*, 207(2022), 4640-4650.
- Cutore, E. , Volpe, R. , Sgroi, R. ve Fichera, A. (2023). Energy performance measurement, monitoring and control for buildings of public organizations: Standardized practises compliant with the ISO 50001 and ISO 50006. *Developments in the Built Environment*, 278, 2-13.
- Durak, İ. (2024). *Çok Kriterli Karar Verme Temel Yöntemler, Süreçler ve Hibrit Yaklaşım*. Özgür yayınları Ankara, 3-9.
- Ecer, F. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir yaklaşım*. Seçkin yayıncılık Ankara, 51-129.
- Farhad, O., Bushby, S. T. ve Williams, R. D., (2019). Assessing the performance of residential energy management control algorithms: Multi-Criteria Decision Making Using the Analytical Hierarchy Process. *National Institute of Standards and Technology*, 3-39.
- İncekara, Ç. (2020). Bulanık mantık ile sanayi sektöründe iso 50001 enerji yönetim sistemi uygulaması. *Afyon Kocatepe Üiverstesı Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 20(6), 991-1013.
- Majeed, Y., Khan, M. U., Wasem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., Sultan, M. ve Raza, A. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Elsevier, Energy Reports*, 10, 344-359.
- Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K.M. ve Khoshnoudi, M. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015, *Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216-254.

- Öztel, A., Aydın, B., Köse, M.S. (2018). Entropi tabanlı topsıs yöntemi ile enerji sektöründe kurumsal sürdürülebilirlik performansının ölçümü: akenerji örneği. *Gümüşhane Üni.Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 9(24), 20-24.
- Saaty, T.L. (1986). axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7), 842-843.
- Saaty T.L. (1990). An exposition of the ahp in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science*. 36(3), 259-268.
- Saaty T.L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty T.L. (1999). Fundamentals of The Analytic Network Process. *The International Symposium on The Analytic Hierarchy Process (ISAHP)*, 35-45.
- Saaty T.L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors theanalytic hierarchy/network process. *Review Of The Royal Spanish Academy Of Sciences Series A Mathematics*, 102(2), 251-318.
- Saaty T.L. ve Ozdemir, S.M. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38(3-4), 233-244.
- Saaty T.L. ve Shih H. S. (2009). Structures in decision making: on the subjective geometry of hierarchies and networks, *European Journal of Operational Research*, 199(3). 867-872.
- Shulze, M., Nehler, H., Ottosson, M., ve Thollander, P. (2016). Energy management in industry: a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, (112), 3692-3708.
- Thollander, P. ve Ottosson, M. (2010). Energy management practices in swedish energy- intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, (18), 1125-1133.
- Vakili, S.V., Ölçer, A.İ. ve Schönborn, A. (2021). Identification of shipyard priorities in a multi-criteria decision-making environment through a transdisciplinary energy management framework: A real case study for a turkish shipyard .

*Maritime Energy Management (MEM), World Maritime University (WMU),
211 18 Malmö, Sweden. 9-16*

İnternet Kaynakları

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022, 21 Temmuz). TEP Dönüşüm Tablosu Hesaplama Aracı. 05 Mart 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliliği-etutler> adresinden edinilmiştir.

TSE Türk Standartları Enstitüsü. Standart Satın Al Sekmesi. 05 Mart 2025 tarihinde <https://intweb.tse.org.tr/Yetki/Login/Login.aspx> adresinden bilgi edinilmiştir.



TOPLUMSAL KATKI

Enerji verimliliğinin sağlanması bir sürdürülebilirlik konusudur. Yaşadığımız çevreye saygı ve çevrenin korunması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek önemli bir seçenektir. Enerji tüketiminin azaltılması, konforu azaltmadan ve üretim miktarını azaltmadan ancak enerjinin verimli kullanılmasıyla mümkün olabilir, enerji verimliliğinin sağlanması için de ISO 50001 enerji yönetim sistemi önemli bir referans doküman olarak yol göstericidir. Bu çalışma ile enerji verimliliğinin sağlanmasına analitik bir katkı sunulmaya çalışılmıştır.

