

Adana İlinde Bir Tekstil İşletmesindeki Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı Uygulamalarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Analizi

Duygu Durdu KOÇ¹ ORCID 0000-0002-4400-5714

Aslı ABDULVAHİTOĞLU*² ORCID 0000-0002-3603-6748

Adnan ABDULVAHİTOĞLU³ ORCID 0000-0002-2659-6709

¹Ulusoy Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Adana

³Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi, Kolluk Uygulamaları Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 21.08.2023

Kabul tarihi: 25.12.2023

Atıf şekli/ How to cite: KOÇ, D.D., ABDULVAHİTOĞLU, A., ABDULVAHİTOĞLU, A., (2023). Adana İlinde Bir Tekstil İşletmesindeki Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı Uygulamalarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 875-885.

Öz

Küresel düzeyde, ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma çabalarında enerji önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle enerji üretim sektörüne yapılan yatırımların, sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesine katkısı, ülkelerin uluslararası konumları açısından belirleyici bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Bu çerçevede, ülkelerin yerel ve yenilenebilir enerji kaynaklarını en üst düzeyde kullanma amacıyla gerçekleştirecekleri yatırımlar, ekonomik büyüme, kesintisiz enerji temini, çevre duyarlılığı ve verimlilik kriterlerini etkileme zorunluluğunu içermektedir. Mevcut üretim tesislerinde ise artan enerji maliyetleri, katılan emisyon standartları ve sürdürülebilir üretim ilkesinin yaygınlaşması firmaları bazı tedbirler almaya zorlamaktadır. Bu bağlamda birçok sektörde olduğu gibi tekstil sektörü de, temiz üretim ve enerji verimliliği uygulamalarına yönelmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, kaynağında bütüncül bir strateji ile enerji tüketimi azaltılarak, hem enerji kaynaklarının korunması hem de yeşil hedeflerin gerçekleştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Mevcut literatürde, tekstil sektöründe enerji verimliliği ve temiz üretim konularında sınırlı sayıda ölçekli çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, Adana Organize Sanayi Bölgesinde Faaliyet gösteren entegre bir tekstil tesisi örneği üzerinde uygulanan en uygun enerji verimliliği projeleri ile enerji kaynaklarından doğalgaz tüketiminin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu şekilde, incelenen tekstil tesisinin sürdürülebilir tekstil üretimi ve temiz üretim hedeflerine katkı sağlaması beklenmektedir. Gerçek boyutlarda gerçekleştirilen bu enerji verimliliği çalışmasında, çok kriterli karar verme süreçlerini kullanarak yürütülen projelerin ağırlıkları veya önem dereceleri belirlenerek, önem derecesi yüksek hedeflere öncelik verilmesi önerilmiştir. Böylece optimum verimliliğin sağlanmasına yönelik bir yol haritası sunularak, sektörün sürdürülebilir vizyonunu güçlendirmeye potansiyel sağlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Tekstil sektörü, ÇKKV, Standart sapma, MAUT

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Aslı ABDULVAHİTOĞLU, aabdulvahitoglu@atu.edu.tr

Analysis of European Union Green Deal Implementations in a Textile Enterprise in Adana Province Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Abstract

At the global level, energy plays a crucial role in countries' pursuit of their sustainable development goals. Specifically, the significance of investments in the energy production sector, contributing to the formulation of sustainable energy policies, is acknowledged as a decisive criterion for countries' international standing. Within this context, countries' investments in harnessing local and renewable energy resources to the fullest extent not only entail the responsibility to impact economic growth but also ensure uninterrupted energy supply, foster environmental awareness, and meet efficiency criteria. Amidst prevailing production facilities, escalating energy expenses, tightening emission standards, and the widespread adoption of sustainable production principles compel companies to undertake proactive measures. Like numerous other sectors, the textile industry is increasingly gravitating toward cleaner production and energy-efficient practices. This strategic approach aims to safeguard energy resources while concurrently advancing green objectives, achieved by curbing energy consumption at its source. The existing literature offers a limited number of studies on energy efficiency and clean production in the textile sector. This study seeks to diminish natural gas consumption through optimal energy efficiency projects implemented within an integrated textile facility in the Adana Organized Industrial Zone. Consequently, the examined textile facility is anticipated to make tangible contributions to the aspirations of sustainable textile production and cleaner industrial practices. Within the scope of this energy efficiency study, conducted in practical dimensions, the recommendation is to prioritize targets of utmost importance. This prioritization is achieved by determining weights or levels of significance for the undertaken projects via multi-criteria decision-making processes. The overarching objective is to furnish the sector with the potential to reinforce its sustainable vision, thereby presenting a comprehensive roadmap to attain optimal efficiency.

Keywords: Energy efficiency, Textile sector, MCDM, Standard deviation, MAUT

1. GİRİŞ

Hızla gelişen ve küreselleşen dünya nüfusun hızlı artışı evde ve endüstriyel faaliyetlerde tüketilen enerji miktarının sürekli olarak yükseldiği gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum enerjiyi dünya çapındaki kalkınmanın temel itici gücü yapmaktadır. Dolayısıyla ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişki her geçen gün daha fazla artarak ve karmaşıklaşarak devam etmektedir [1]. Tüm dünyada sanayi sektöründeki temel ihtiyaçlar arasında üst sıralardaki yerini koruyan enerji talebi, istihdam yaratmaya ve sürdürmeye yardımcı olması nedeniyle, son yıllarda yüksek ekonomik büyüme gösteren ve gelişmekte olan ülkelerde zaruretin ötesine geçmektedir [2]. Bu husus, farklı sektörlerde enerji kullanımındaki hızlı artışın yol açtığı ozon tabakasında inceltme, küresel ısınma, iklim değişikliği vb. bir dizi sorunun ortaya çıkmasına da neden olmaktadır [3].

Yüksek enerji tüketiminin ekonomik refahın da bir göstergesi haline geldiği günümüz dünyasında verimlilik, ekonomik koşulları şekillendiren ana faktörler arasında yer almaktadır. Enerji ve hammadde kaynaklarındaki tükenme göz önüne alındığında, verimliliğin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, ekonomik büyümeyi sağlamanın en iyi yollarından biri olarak görülmektedir. Bu nedenle, enerji verimliliğinin artırılarak, enerji tüketiminin azaltılması, enerji arzı ve talebinin karşımıza çıkarttığı sorunlarla başa çıkmada ve sera gazı emisyonlarını azaltmada iyi bir strateji olarak ortaya çıkmaktadır. Böylece firmaların rekabet gücü ve vatandaşların refah seviyesi ile birlikte gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) artırılmasına da yardımcı olunmaktadır [4].

Sanayileşmiş ülkelerde imalat sanayi toplam enerji tüketiminin %54'ünü oluşturmaktadır. Bu oran içerisinde tekstil sektörünün önemli bir payı vardır

[5]. Özellikle Çin ve Türkiye gibi küresel tekstil tedarikçisi ülkelerdeki tekstil sektörü, toplam enerji tüketiminin sırasıyla %4'ünden [6] ve %10'undan [7] sorumludur.

Türk Tekstil sektörünün en büyük pazarı AB'dir. 2025 yılında AB Yeşil Mutabakatına (ABYM) uyum sağlamak amacıyla tekstil ve hazır giyim sektöründe enerji tasarrufunu teşvik eden, çevre dostu teknolojilere yönelik kullanımın artırılması ve iklim değişikliğine uyum sağlayacak projelerin desteklenmesi bu noktada büyük önem arz etmektedir. Tekstil üretim süreçlerinde detaylı temiz üretim ve enerji verimliliği uygulamaları ile enerji tüketimi ve hava emisyonları kaynağında azaltılabilmektedir. Bu nedenle diğer enerji yoğun endüstriyel sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de enerji verimliliği ve temiz üretim uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji, tekstil üretim süreçlerinde en önemli süreç girdilerinden [8] ve maliyet bileşenlerinden [6,9] biridir. Enerji genel olarak elektrik ve ısı enerjisi olarak iki temel formda kullanılmaktadır. Elektrik motorlarını, aydınlatmayı, kompresörleri, pompaları, dokuma ve eğirme makinelerini vb. cihazları çalıştırmak için hemen hemen tüm tekstil üretim süreçlerinde enerji kullanılmaktadır [6]. Tekstil üretim süreçlerinde ısıl enerji ihtiyacı doğrudan doğalgaz veya fosil yakıtlardan üretilen buhar ile karşılanmaktadır [10].

Denizli ilinde bulunan bir pamuklu/polyester kumaş terbiye-boyama tekstil fabrikasında Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol ve Endüstriyel Emisyon Direktifi'ne göre temiz üretim değerlendirme çalışmaları yapmıştır. İyi yönetim uygulamaları, su ve enerji tüketimi optimizasyonu-minimizasyonu teknikleri, kimyasal tüketimi optimizasyonu ve ikamesi gibi belirlenen 22 Mevcut En İyi Tekniğin uygulanmasıyla teknik ve çevresel performanslar, potansiyel faydalar ve tasarruflar belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler, önerilen 22 Mevcut En İyi Tekniğin uygulanmasından sonra, bu tekniklerin gelecekte uygulanması durumunda şu azalmaların elde edilebileceğini ortaya koymuştur: %43-51 su tüketimi, %11-26 enerji tüketimi, %16-39 kimyasal tüketimi, %42-52 atık su akış hızı, %26-48 kimyasal oksijen talep yükü, %12-32 atık baca gazı emisyonları ve %8-18 katı atık oluşumu. Önerilen

Mevcut En İyi Tekniklerin geri ödeme süreleri 1-26 ay olarak tahmin edilmiştir [7].

Tekstil sektöründe gereksiz enerjinin nasıl önleneceğine yönelik araştırmalar yapılmış ve bu kapsamda temel sorunlar belirlenerek çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışmada kullanılan enerji kaynaklarının elektrik ve termal enerji başlıkları altında incelenmesinin amacı daha detaylı bir rapor hazırlamak ve sektörde kullanılabilecek bir kaynak oluşturmaktır. Çalışmanın sonucunda sektörde kullanılan çoğu makine ve çalışma yöntemi basit özelleştirmeler ile değiştirilerek veya tasarlanan eski veya çalışma yöntemlerinin bulunmaması nedeniyle makinelerde yapılabilecek yenileriyle değiştirilerek %60'a varan enerji tasarrufu sağlanabildiği gözlemlenmiştir [11].

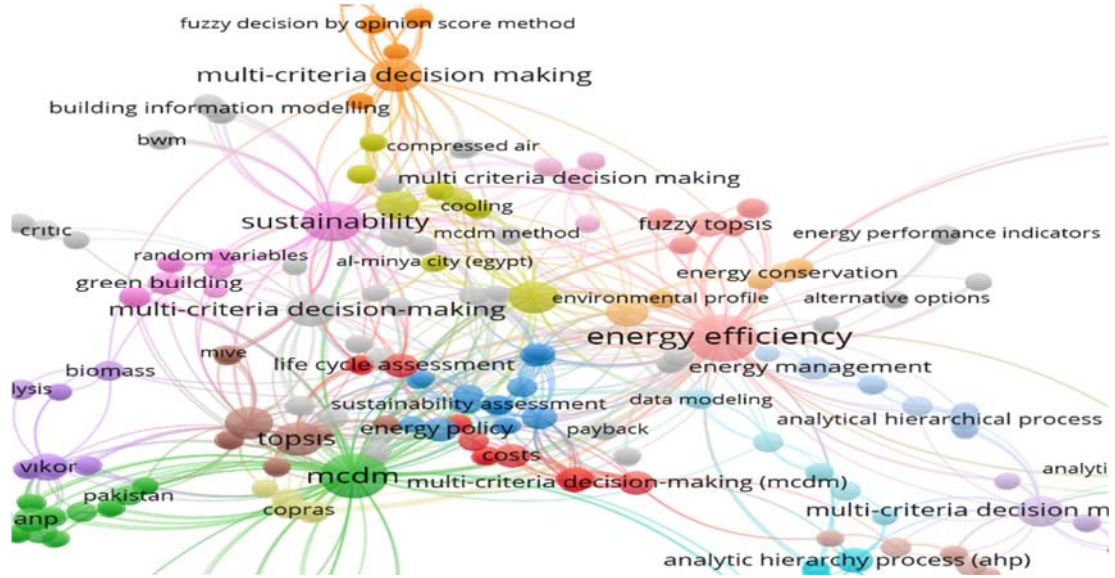
Entegre bir yünlü tekstil tesisinde enerji verimliliği çalışmaları yapılmıştır. Sonuç olarak, proses optimizasyonu, proses bazlı enerji izleme ve kontrol sisteminin kurulması, atık ısının geri kazanımı, buhar kazanlarının optimizasyonu, modifikasyon radyo frekanslı (RF) kurutucuların kurulumu, havalandırma-nemlendirme sistemindeki fan motorlarının modifikasyonu, kompresörlerin doğru konumlandırılması, kompresör izleme sistemi kurulumu ve hava emisyonu arıtma sistemi tekniklerin uygulanmasıyla elektrik, termal enerji ve hava emisyonlarının sırasıyla %8-27, %12-28 ve %23-45 oranında azaltılabileceği bulunmuştur. Mali analize dayalı olarak, öncelikli enerji verimliliği tekniklerinin geri ödeme sürelerinin genellikle 36 aydan kısa olduğu tespit edilmiştir [12].

Bugünün küreselleşen ekonomisi ile rekabet koşulları daha zorlu bir hale gelmiştir. Endüstriyel şirketler için enerji maliyetleri, rekabet gücü üzerinde giderek daha fazla etkili olmaya başlamış ve enerjinin etkili bir şekilde kullanılması büyük bir önem taşımaktadır.

Enerjinin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için en önemli adımlar, ölçüm yapma, analiz etme ve tasarruf noktalarını belirlemedir. Bu nedenle enerji analizleri, endüstriyel işletmeler için atılacak ilk adım olmalıdır. Bu analizler sayesinde işletmelerin enerji sistemleri değerlendirilmekte, enerji

verimliliği projeleri önerileri sunulmakta ve kayıp-kaçak durumlarına çözümler getirilmektedir. Yazar tarafından Web of science core collection ile yapılan literatür analizi sonucunda enerji verimliliği

ile ilgili özellikle farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmaların yoğunlaştığı noktalar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Enerji verimliliği çalışmalarının yoğunlaştığı noktalar

Ülkemiz, enerji kaynaklarını etkili ve çevre dostu bir biçimde kullanarak, enerjinin üretiminden son tüketimine kadar her aşamada verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı içerisinde bu amaç öne çıkmış ve her endüstri alt sektöründeki enerji yoğunluğunun en az %10 düşürülmesine yönelik eylem planları belirlenmiştir. 2 Mayıs 2007'de yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu [13], ülkemizde enerji verimliliği alanında ilk adımı atmıştır ve bu süreci takiben 27 Ekim 2011'de Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair yönetmelik hayata geçirilmiştir. En son olarak, 25 Ocak 2020'de güncellenen bu yönetmelik kapsamında:

- i. Yıllık toplam enerji tüketimi 1.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ve üzeri olan endüstriyel işletmelerde dört yılda bir
- ii. Toplam inşaat alanı 20.000 metrekareden fazla olan hizmet sektörü binalarında ise yedi yılda bir enerji etüdü yaptırılması gerekmektedir [14].

Bu bağlamda Adana ilinde faaliyet gösteren Ulusoy Tekstil firması tarafından hazırlanan Zorunlu Enerji Etüt Raporunda doğalgaz tüketiminin azaltılmasına yönelik beş proje oluşturulmuş ve uygulama sonucunda önemli miktarda tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir. Ancak her projeye etki eden kriterler aynı olmasına rağmen elde edilen sonuçlar farklıdır. Burada hangi projeden hangi oranda fayda sağlandığının tespiti ve yüksek oranda fayda sağlanan projeye ağırlık verilmesi hem zamandan hem de emekten tasarruf sağlayacaktır. Böylece daha etkili sonuç alınacaktır. Bu maksatla birden fazla kriter ve beş proje bulunduğu için hangi projenin daha etkili sonuç verdiğini ve önem derecesini bulmak için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden faydalanılacaktır.

ÇÇKV Yöntemleri hayatın hemen hemen her anında kullanılmakta olup [15,16], literatürde elektrikli araç batarya seçiminde [17], motor soğutma sistemlerinde kullanılan farklı nanoakışkanları ağırlıklandırma [18], biyodizel üretimine en uygun yağlı tohum bitkisinin

seçiminde [19], enerji santrali kuruluş yeri seçiminde [20], enerji sektörü finansal performans değerlendirmesinde [21], raylı sistemler bakım verimliliklerinin önceliklendirilmesinde [22], enerji üretim yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesinde [23] ÇKKV yöntemleri kullanılarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Ancak ÇÇKV yöntemlerinden Standart Sapma ve MAUT yöntemlerinin tümleşik olarak kullanıldığı ve bir verimlilik çalışmasına konu olan projelerin karşılaştırılarak sıralandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Ulusoy Tekstilde enerji verimliliği çalışmaları kapsamında, detaylı ve yerinde incelemeler yapılarak hazırlanmış olan ana üretim ve diğer hazırlık süreçleri bazında enerji tüketimleri zorunlu enerji etüt raporunda analiz edilmiştir. Tesisin üretim süreçlerine göre spesifik elektrik, termal enerji ve hava emisyonları hesaplanmıştır. Söz konusu raporda tesiste enerji kaynaklarından doğalgaz tüketimini azaltmak için 5 enerji verimliliği tekniğinden oluşan bir proje listesi hazırlanmıştır. ÇKKV yöntemleri ile bu proje sonuçları karşılaştırılmış, standart sapma yöntemi ile kriter ağırlıkları bulunmuş ve projeler MAUT yöntemi kendi aralarında etkinliklerine göre sıralanmıştır. Böylece en verimli olarak belirlenmiş projelerin yerine getirilme öncelikleri ortaya konulmuştur. Bu çalışma, gerçek verileri kullanarak tekstil endüstrisinde enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışma olması nedeniyle bu alanda çalışan diğer araştırmacılara ve paydaşlara katkı sağlayabilir.

2. MATERYAL VE METOT

Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı (ABYM)'nin öncelikli hedefi, ilerici ve çözüm odaklı politikaların oluşturulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda değişik sera gazı salınımı azaltılması hedefleri belirlenmiştir. ABYM'nin 1990 yılına göre, 2030 yılı için belirlediği sera gazı azaltım hedefi %50, 2050 hedefi ise karbon nötr bir duruma ulaşmaktır [24]. Türkiye, küresel ölçekte sera gazı emisyonunda 15. sırayı işgal etmektedir (Çizelge 1) ve en yüksek sera gazı salınımı ısınma ve enerji kaynaklı emisyonlardan kaynaklanmaktadır [25].

Çizelge 1. 2020 yılı fosil kaynaklı CO₂ salınımı [25].

Sıra	Ülke	CO ₂ emisyon GT
1	Çin	10,04
2	ABD	4,32
3	Hindistan	2,34
4	Rusya Federasyonu	1,56
5	Japonya	1,00
6	Almanya	0,60
7	Endonezya	0,58
8	İran İslam Cumhuriyeti	0,58
9	Güney Kore	0,55
10	Kanada	0,52
11	Suudi Arabistan	0,50
12	Brezilya	0,39
13	Güney Afrika	0,39
14	Avustralya	0,38
15	Türkiye	0,37
16	Meksika	0,36
17	Birleşik Krallık	0,31
18	Vietnam	0,29
19	İtalya	0,28
20	Polonya	0,28
21	Fransa	0,27

Türkiye dahil tüm dünya karbondioksit azaltım hedeflerine ulaşmak için özellikle enerji kaynaklı emisyonlara odaklanmayı ihmal etmemelidir. Bununla birlikte, hızla devam eden sanayileşme, küresel ısınma, artan enerji kullanımı, savaş, çatışmalar vb küresel krizler göz önünde bulundurulduğunda, ABYM'nin sera gazı azaltım hedeflerine ulaşılmasının giderek zorlaştığını göstermektedir [26].

Aynı zamanda, hızla tükenen fosil enerji kaynaklarının azalması, enerji alanında sürdürülebilirliğin vurgulanmasını ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması ve sürdürülebilirlik ilkesine uygun olarak, öncelikli olarak yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına odaklanılması gerekmektedir.

Enerjide sürdürülebilirliğinin sağlanması için [27];

- Karbon emisyonlarını minimize etmeye,
- Çevreye verilen zararı elimine etmeye,

- iii. Enerji geçiş güvenliğini temin etmeye,
- iv. Enerji üretim maliyetlerini minimize etmeye,
- v. Yeşil teknoloji kullanımını geliştirmeye ihtiyacı duyulmaktadır.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bu çalışmaları desteklemek için ABYM'na uyum çerçevesinde desteklediği araştırma başlıklarından biri olan "Temiz ve Döngüsel Enerji" ana başlığı altında, altı ana başlık açıklamıştır. Bunlardan birisi de "Tekstil ve Deri Sektörlerinde Sürdürülebilir Üretim ve Karbon Salımı ile Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Yenilikçi Uygulamalar"dır [28].

Bu bağlamda çalışmalarını yönlendiren 1986 yılında Çukurova'da kurulmuş Ulusoy Tekstil A.Ş. Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunmaktadır. 180.000 m² açık, 90.000 m² kapalı alanda üretim yapmaktadır (Şekil 2). Ulusoy Tekstil, bünyesinde modern iplik üretim tesisleri ve boyahane ünitelerini bulunduran entegre tekstil kuruluşudur. Aylık 1000 tonun üzerinde iplik üretimi yapılmaktadır.



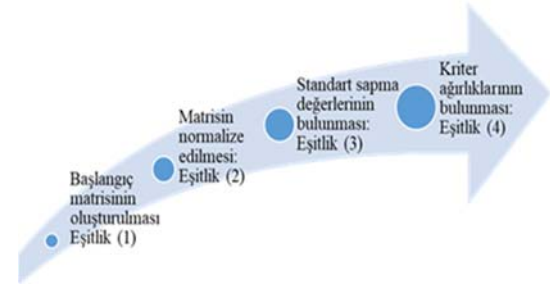
Şekil 2. Ulusoy tekstil tesisi

Fantazi İplik Boyama sektöründe faaliyet gösteren Ulusoy Tekstil firması için oluşturulan "Ulusoy Tekstil Tesisi Zorunlu Enerji Değerlendirme Raporu" temel alınarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu raporda yapılan çalışma boyahane ünitelerini bulunduran tesisinde gerçekleştirilmiştir.

2.1. Standart Sapma Yöntemi

Kriterlere ait nicel verilerin bulunduğu veya subjektif değerlerin sayısal olarak ifade edilebildiği

problemlerde, önem derecelerinin belirlenmesi maksadıyla basit ve kolay bir şekilde kullanılabilmesi ve değişik özellikteki kriterleri birlikte değerlendirebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Uzman değerlendirmesine ihtiyaç duyulmaması da bir diğer tercih sebebidir. Uygulama dört adımdan oluşmaktadır. Uygulamanın adımları aşağıda Şekil 3'de ve devamında ise kullanılan eşitlikler gösterilmiştir. [19,29-31]



Şekil 3. Standart sapma yönteminin adımları

İlk aşamada x_{ij} değerlerinden oluşturulan X başlangıç (karar) matrisi (1) numaralı eşitlikle gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik (2) vektör normalizasyonu ile X başlangıç matrisi normalize edilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

Eşitlik (3) ile her bir değişkenin standart sapması bulunur.

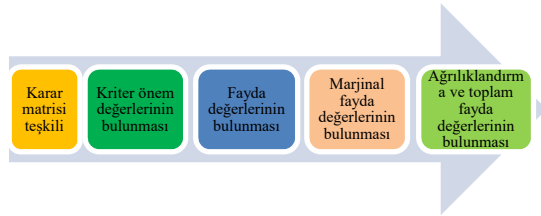
$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_{ij})^2}{m}} \quad (3)$$

Eşitlik (4) ile her bir değişkenin standart sapma değeri tüm değişkenlerin standart sapma değerlerinin toplamına bölünerek görel ağırlıklar bulunur.

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{i=1}^n \sigma_j} \quad (4)$$

2.2. MAUT (Multi Attribute Utility Theory: Çok Ölçütlü Fayda Teorisi) Tekniği

MAUT yöntemi, sezgisel bağlantı kurma ve karar verme problemlerini çözmek için kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. MAUT yöntemi uygulayıcılara, çelişen amaçlar arasından seçim yapabilme imkânı sağlayarak sezgisel ve araştırma odaklı bir yaklaşım sunar [32]. Karar vericiye, nitel veya nicel ayrımı yapmaksızın tüm faktörleri değerlendirme imkânı verir [33]. MAUT yöntemi beş aşamadan oluşmakta olup, aşamaları Şekil 4.'de, hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ise devamında belirtilmiştir [31,34,35,36].



Şekil 4. MAUT yönteminin adımları

Diğer ÇKKV tekniklerinin uygulanmasında olduğu gibi $m \times n$ ebatlarında Eşitlik (5)'te gösterilen X karar matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

X matrisi değerleri standart sapma yöntemi ile belirlenen kriter ağırlık değerleri w_j ile çarpılarak ağırlıklandırılır.

Çizelge 2. Doğalgaz tasarruf çizelgesi

Proje	Tasarruf Türü			CO2 azalma miktarı Ton/Yıl	Yatırım maliyeti/ TL.	Geri ödeme süresi/Yıl
	Miktar	TEP/yıl	TL/yıl			
Yoğuşmalı ekonomizer projesi	42745	35,3	125243	8,55	490000	3,91
Kompresör atık ısı projesi	27090	22,3	79374	5,42	198250	2,5
Borularda termal kayıplar	13720	11,3	40200	2,74	13000	0,32
Vanalarda termal kayıplar	16749	13,7	49075	3,35	13500	0,28
Yüzeylerde termal kayıplar	65003	53,3	190459	13	338072	1,78

Çizelge 2.'de belirtilen veriler ile X başlangıç matrisi oluşturulmuştur. (2) numaralı eşitlik

Her bir kriter normalize işlemi için değerlendirilir ve en iyi değer 1, en kötü değer 0 olarak kabul edilir. Müteakiben kriterlerin yönü maksimizasyon veya fayda ise (6), minimizasyon veya maliyet ise (7) numaralı eşitlik kullanılarak matris normalize edilmiş olur.

$$x_j(a_i) = \frac{x_i(a_i) - \min(x)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \text{ fayda yönlü} \quad (6)$$

$$x_j(a_i) = 1 + \frac{x_j - x_i(a_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \text{ maliyet yönlü} \quad (7)$$

$$r_{ij} = \frac{e^{(x_{ij})^2} - 1}{1,71} \quad (8)$$

$$X(a_i) = \sum_{j=1}^q x_j(a_i) \cdot w_j \quad (9)$$

(9) nolu eşitlikte;

$x(a_i)$, seçeneklerin fayda değerlerini,
 $x_j(a_i)$, her bir alternatif için her bir kriterin normalize edilmiş fayda değerini,
 w_j , standart sapma yöntemi ile elde edilmiş olan ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ulusoy tekstil firmasında yapılan çalışmalar sonucu doğalgaz tüketiminde tasarruf yapmak için 5 proje oluşturulmuş ve projelerin uygulanması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de gösterildiği gibidir.

kullanılarak elde edilen normalize edilmiş matris değerleri aşağıda Çizelge 3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Normalize edilmiş matris

Proje	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
P ₁	0,566	0,571	0,566	0,600	0,000	0,000
P ₂	0,261	0,262	0,261	0,242	0,612	0,388
P ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,989
P ₄	0,059	0,057	0,059	0,000	0,999	1,000
P ₅	1,000	1,000	1,000	1,000	0,319	0,587

Normalize edilen matris standart sapma yönteminde belirtilen Eşitlik (3) ve (4)'ün kullanılması ile elde edilen kriterlerin standart sapma değerleri ve ağırlıkları Çizelge 4 ve 5'te belirtilmiştir.

Çizelge 4. Kriterlerin standart sapması

Kriter	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
Standart sapma	0,338	0,359	0,223	0,318	0,184	0,347

Çizelge 5. Kriterlerin ağırlıkları

Kriter	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
Ağırlık	0,191	0,203	0,126	0,180	0,104	0,196

Standart sapma yöntemi ile kriterlerin ağırlık değerleri elde edildikten sonra MAUT yöntemi ile uygulanan 5 proje sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilerek projeler sıralanmıştır. Öncelikle Çizelge 6'da gösterilen MAUT başlangıç matrisi elde edilmiştir. Kırmızı renkli değerler kriterlerin en iyi, yeşil olanlar ise en kötü değerini ifade etmektedir.

Çizelge 6. MAUT başlangıç matrisi

Proje	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
P ₁	27090	22,3	79374	5,42	198250	2,5
P ₂	13720	11,3	40200	3	13000	0,32
P ₃	16749	13,7	49075	3	13500	0,28
P ₄	65003	53,3	190459	13	338072	1,78
P ₅	42745	35,3	125243	9	490000	3,91

(6) ve (7) numaralı eşitlikler kullanılarak Çizelge 7'da gösterilen MAUT normalize matris elde edilmiştir.

Çizelge 7. MAUT normalize matris

Proje	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
P ₁	0,502	0,504	0,502	0,502	0,781	0,784
P ₂	0,318	0,319	0,318	0,318	0,316	0,501
P ₃	0,161	0,161	0,161	0,161	0,021	0,064
P ₄	0,197	0,196	0,197	0,197	0,022	0,056
P ₅	0,763	0,762	0,763	0,763	0,539	0,357

Çizelge 8. MAUT marjinal fayda matrisi

Proje	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
P ₁	0,221	0,226	0,221	0,253	0,000	0,000
P ₂	0,041	0,042	0,041	0,035	0,265	0,095
P ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,970
P ₄	0,002	0,002	0,002	0,000	1,002	1,000
P ₅	1,000	1,000	1,000	1,000	0,062	0,240

Çizelge 8'de belirtilen değerler daha önce standart sapma yöntemi kullanılarak elde edilen ve Çizelge 5'te belirtilen ağırlıklar ile çarpılarak Çizelge 9'de gösterilen ağırlıklandırılmış marjinal fayda değerlerinin bulunduğu matris elde edilir. Müteakiben her projenin kriterlerine ait ağırlıklı marjinal fayda değerleri toplanarak toplam marjinal fayda değerleri elde edilir. Bu değerlerin sıralanması ile projelerin sıralaması elde edilmiştir. Projelerin sıralaması Çizelge 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. MAUT Ağırlıklandırılmış marjinal fayda matrisi

Proje	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆
P ₁	0,042	0,046	0,028	0,046	0,000	0,000
P ₂	0,008	0,008	0,005	0,006	0,028	0,019
P ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,190
P ₄	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,196
P ₅	0,191	0,203	0,126	0,180	0,006	0,047

Çizelge 10. MAUT yöntemi ile projelerin sıralaması

S. Nu.	Projeler	Toplam fayda değeri	Önem sırası
1	Yoğuşmalı ekonomizer projesi	0,161374	4
2	Kompresör atık ısı projesi	0,074085	5
3	Borularda termal kayıplar	0,294487	3
4	Vanalarda termal kayıplar	0,301543	2
5	Yüzeylerde termal kayıplar	0,75337	1

Yürütülen projelerin toplam fayda değerlerine bakıldığında Çizelge 10'dan 5'nci sırada bulunan Yüzeylerde Termal Kayıpları azaltma projesinin diğerlerinden çok daha fazla fayda sağladığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Türkiye’de enerji kaynaklarının etkili ve çevre dostu bir şekilde kullanılarak enerji üretiminden tüketimine kadar her aşamada verimliliğin artırılması hedeflenen Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, Enerji Verimliliği Kanunu, ABYM vb. düzenlemeler ile önemli çalışmalar başlatılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan hükümet politikaları ile bazı düzenlemeler getirilirken, işletmeler ve girişimciler için teşvikler de oluşturulmuştur. Bu bağlamda Adana ilinde faaliyet gösteren Ulusoy Tekstil firması yaptığı çalışmaları açıkladığı Zorunlu Enerji Etüt Raporunda doğalgaz tüketiminin azaltılmasına yönelik uyguladığı beş proje ile önemli miktarda tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir. Her bir projeden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda çalışma kapsamında verimliliği sağlamak için yatırım da yapılmıştır. Dolayısıyla girdiler ve çıktılar birlikte değerlendirilmesi ile doğalgaz tüketimine en çok katkı sağlayan proje ile diğer projelerin katkı değerlerinin ortaya konması hangi projeye ağırlık verilmesi madadurumunda daha fazla fayda sağlanacağını tespitinde yöneticilere ve karar vericilere yardımcı olunması gerekmektedir. Birden fazla sonuç olması ve bunlara etki eden kriterlerin değişiklik göstermesi, ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasını ön plana çıkarmıştır.

Ulusoy Tekstil uyguladığı projeler sonucunda tamamen objektif veriler elde edilmiş olması. Bu verilerin uzman değerlendirmelerine ihtiyaç duyulmadan karşılaştırılmasını sağlayan MAUT yönteminde kullanılması ile her bir projenin toplam fayda değeri bulunması, en yüksek fayda değerine sahip projeye ağırlık verilmesi ve diğer projelerinde önem sırasına göre gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma hayatın hemen hemen her alanında kullanılan yaklaşık 170 değişik ÇÇKV yöntemlerinden diğerleriyle de yapılabilir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca sonuca etki eden değerlerin çeşitliliği artırılabilir, elde edilen sübjektif değerler uygun ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilerek yöneticilere karar desteği sağlanabilir. Böylece karar vericilerin optimum faydayı sağlayacak kararlarla emek, zaman ve maliyette tasarruf etmeleri sağlanabilir.

5. TEŞEKKÜR

Ulusoy Tekstil A.Ş. yönetimine “ULUSOY TEKSTİL TESİSİ ZORUNLU ENERJİ ETÜT RAPORU”nu paylaştıkları için teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Karim, M.Z.A., Chan, S.G., Ismail, N.H., Sharif, A., 2022. Does Energy Productivity Lead to Economic Efficiency and Lower CO₂ Emission in Malaysia? Evidence from Bootstrapped ARDL Approach. *J Sustain Sci Manag*, 17(3), 32-50.
2. Ciacco, E.F., Rocha, J.R., Coutinho, A.R., 2017. The Energy Consumption in the Ceramic Tile Industry in Brazil. *Appl. Therm. Eng.*, 113, 1283-1289.
3. Taban, M., Pourjafar, M., Bemanian, M., Heidari, S., 2012. Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing the Shadow of Khavoons in Dezful Historical Context with the Use of Image Processing. *Naqshejahan*, 2(2), 79-90.
4. Khosravi, A., 2017. Investigating the Convergence of Provincial Energy Efficiency in Iran: A Spatial Econometric Approach. *Econ. Res.*, 17(2), 177-197.
5. Industrial Sector Energy Consumption. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>. Erişim tarihi: 14.08.2023.
6. Khude, P., 2017. A Review on Energy Management in Textile Industry. *Innov. Ener. Res.*, 6, 169.
7. Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N.O., Yetis, U., Kitis, M., 2016. Sustainable Textile Production: Cleaner Production Assessment/Eco-Efficiency Analysis Study in a Textile Mill. *J. Clean. Prod.*, 138, 248-263.
8. Wang, L., Li, Y., Wanwen, H., 2017. The Energy Footprint of China’s Textile Industry: Perspectives from Decoupling and Decomposition Analysis. *Energies* 10, 1461-1472.
9. Grave, K., Hazrat, M., Boeve, S., Von Blücher, F., Bourgault, C., 2015. Electricity Costs of

- Energy Intensive Industries: An International Comparison. Ger. Minist. Econ. Aff. Energy 76. Germany. <https://isi.fraunhofer.de>
10. Hasanbeigi A., Price L., 2015. A Technical Review of Emerging Technologies for Energy and Water Efficiency and Pollution Reduction in the Textile Industry J. Clean. Prod., 95, 30-44.
 11. Yalçın, T., Arab, G., Şener, A., Gördebil, K., Akçal, E., 2020. Energy Efficiency in Textile Industry for Small and Medium-Sized Businesses. Taikomiej Tyrimai Studijose Ir Praktikoje - Applied Research in Studies and Practice, 16(1), 21-37.
 12. Ozturk, E., Cinperi, N.C., Kitis, M., 2020. Improving Energy Efficiency Using the Most Appropriate Techniques in an Integrated Woolen Textile Facility. J. Clean. Prod., 254, 120145.
 13. Enerji Verimliliği Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5627.pdf>, Erişim tarihi: 16.08.2023.
 14. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=15437&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Erişim tarihi: 16.08.2023
 15. Abdulvahitoğlu, A., 2021. AHP-TOPSIS Tabanlı Matematiksel Modelleme ile Jandarma Karakolu Kuruluş Yeri Seçimi ve CAS/CBS ile Analizi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD., 287, Adana.
 16. Abdulvahitoğlu, A., 2023. Prioritization of Risk Factors Causing Juvenile Delinquency with Swara Method: A Case Study From Türkiye. Türk İdare Dergisi, 95(496), 39-61.
 17. Abdulvahitoglu, A., Kılıç M., 2022. A New Approach for Selecting the Most Suitable Oilseed for Biodiesel Production; The Integrated AHP-TOPSIS Method. Ain Shams Eng. J., 13(3), 101604 .
 18. Abdulvahitoglu, A. 2019. Using Analytic Types of Nanofluids for Hierarchy Process for Evaluating Different Engine Cooling Systems. Thermal Science 23 (5 Part B), 3199-3208.
 19. Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A., Kılıç, M. 2022. Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1061-1076.
 20. Yücenur, G.N., İpekçi, A., 2021. SWARA/WASPAS Methods for a Marine Current Energy Plant Location Selection Problem. Renewable Energy, 163, 1287-1298.
 21. Terzioğlu, M.K. , Kurt, E.S., Yaşar, A., Köken, M., 2022. BİST100-Enerji Sektörü Finansal Performansı: SWARA-VIKOR ve SWARA-WASPAS. Alanya Akademik Bakış, 6(2), 2439-2455.
 22. Özarpa, C. , Kınacı, B.F., Avcı, İ., 2022. Raylı Ulaşım Sistemlerinde Bakım Yöntemlerinin Verimlilik Açısından Önceliklendirilmesi. Verimlilik Dergisi , (4), 643-658.
 23. Özcan, A.N., Bulut, M., Özcan, E., Eren, T., 2022. Enerji Üretim Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin İstatistiksel ve Analitik Olarak Karşılaştırması: Türkiye Örneği. Journal of Polytechnic, 25(2), 519-531.
 24. European Commission, 2019. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal. Brussels: European Commission. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01a75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF Erişim tarihi:18.08.2023.
 25. Union of Concerned Scientists, 2020, <https://www.ucsusa.org/resources/each-country-s-share-co2-emissions>. Erişim Tarihi: 18.08.2023.
 26. Vidadili, N., Suleymanov, E., Bulut, C., Mahmudlu, C., 2017. Transition to Renewable Energy and Sustainable Energy Development in Azerbaijan. Renew. Sust. Energ. Rev., 80, 1153-1161.
 27. Karakuş, D.N., An, N., Turp, M.F. ve Kurnaz, M.L., 2022. AB Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Kapsamında Temel Uygulama Yaklaşımlarına Küresel Bakış. DEÜ SBE Dergisi, 24(1), 47-67
 28. TÜBİTAK, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, <https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/21566/yesilmutabakat.pdf>. Erişim tarihi: 17.08.2023.

29. Diakoulaki, D., Avrotas, G., Papayannakis, L., 1995. Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: the CRITIC Method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
30. Jahan, A., Mustapha, F., Sapuan, S.M., Yusof I., Bahraminasab, M., 2012. A Framework for Weighting of Criteria in Ranking Stage of Material Selection Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1-4), 411-420.
31. Demir, G., Özyalçın, A.T., Bircan, H., 2021. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü. Nobel Yayıncılık, 382.
32. Kim, K.S., Song, O., 2009. A MAUT Approach for Selecting a Dismantling Scenario for the Thermal Column in KRR-1. *Annals of Nuclear Energy*, 36(2), 145-150.
33. Ishizaka, A., Nemery, P., 2012. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley&Sons Ltd. Published, Chichester/UK, 320.
34. Zietsman, J., Rilett, L.R., Kim, S.J., 2006. Transportation Corridor Decisionmaking with Multi-Attribute Utility Theory. *International Journal of Management and Decision Making*, 7(2-3), 254-266.
35. Erol, I., Sencer, S., Sari, R., 2011. A New Fuzzy Multi-Criteria Framework for Measuring Sustainability Performance of a Supply Chain. *Ecological Economics*, 70(6), 1088-1100.
36. Öztel, A., 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi İstatistik ABD, 172, Ankara.

