

PAPER DETAILS

TITLE: Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Armatür Seçimi: Sokak Aydınlatma Örneği

AUTHORS: Ayse Çaygeçen, Hatice Özkoç

PAGES: 1-13

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4040300>

Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Armatür Seçimi: Sokak Aydınlatma Örneği

Ayşe ÇAYGEÇEN^{1*}, Hatice Hicret ÖZKOÇ²

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Muğla, Türkiye, (ORCID: 0009-0004-9009-9629), aysecaygecen99@gmail.com

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0037-4603), hatice.ozkoc@mu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 02.07.2024 ve Kabul Tarihi 04.02.2025)

(DOI: 10.35354/tbed.1509343)

ATIF/REFERENCE: Çaygeçen, A. & Özkoç, H. H. (2025). Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Armatür Seçimi: Sokak Aydınlatma Örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, 15 (1), 1-13.

Öz

Bu çalışmanın genel amacı kamusal alanlarda da kullanılabilen sokak aydınlatma armatürlerinde en yüksek performansı gösteren armatürün tercih edilmesine katkıda bulunmaktır. Bu amaç doğrultusunda, 2023 yılı güncel bir kataloğa ait sokak aydınlatma armatürlerinin performans analizinin gerçekleştirilmesi bağlamında kriter ağırlıklandırmalarında çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden CRITIC ve ENTROPİ; alternatiflerin performans sıralamalarında ise EDAS ve GİA yöntemleri tercih edilmiştir. Analiz sonuçlarında elde edilen bulgulara göre CRITIC ve ENTROPİ yöntemleri ile ağırlıkları belirlenen kriterler içerisinde en fazla önem arz eden kriterler CRITIC yönteminde ışık verimliliği, ENTROPİ yönteminde aydınlatma sistemi fiyatı olarak belirlenmiştir. Ağırlıklandırmalarda iki farklı sonuç çıkmasına rağmen iki farklı yöntem ile performans sıralamaları gerçekleştirilen armatürlerde her iki yöntemde de performansı en yüksek olan armatür A10 armatürü olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular sokak aydınlatma armatürü tercihinde ilk olarak A10 armatürü tercih edilmesi yönündedir. Yazında yer alan çalışmalar içerisinde sokak aydınlatmaların ÇKKV ile performans analizi gerçekleştirilen çalışmaların azlığı ve güncel armatür performanslarını karşılaştırmaya yönelik çalışmaların az olması ise bu çalışmanın özgün değerini artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar Verme, CRITIC, EDAS, ENTROPİ, GİA, Sokak Aydınlatma.

Luminaire Selection Using Multi-Criteria Decision Making Techniques: Street Lighting Example

Abstract

The general purpose of this study is to contribute to the preference of the luminaire with the highest performance in street lighting luminaires that can also be used in public areas. In line with this purpose, CRITIC and ENTROPİ, which are multi-criteria decision-making (MCDM) methods, were preferred for criteria weighting, and EDAS and GRA methods were preferred for performance ranking of alternatives in the context of performance analysis of street lighting fixtures belonging to an up-to-date catalogue of 2023. According to the results of the analyses, the most important criteria among the criteria whose weights were determined by CRITIC and ENTROPİ methods were determined as light efficiency in CRITIC method and lighting system price in ENTROPİ method. Although two different results were obtained in the weightings, the luminaire with the highest performance in both methods was determined as A10 luminaire. The findings obtained are in the direction that A10 luminaire should be preferred first in street lighting luminaire preference. The fact that there are few studies in the literature that analyse the performance of street lighting luminaires by using the MDCM and that there are few studies to compare the current luminaire performances increases the original value of this study.

Keywords: Decision Making, CRITIC, EDAS, ENTROPY, GRA, Street Lighting.

1. Giriş

İnsan, hayatının her alanında bazı problemlerle karşı karşıya kalır ve bu problemlerin üstesinden gelebilmek için çözüm arayışına girer. Bu gibi durumlarda her zaman tek alternatif arasından değil de, hem birçok alternatif hem de birçok kriter ekseninde değerlendirilerek karar verilmesi gerekebilir. Karar verilme ortamının bu şekilde olduğu durumlarda ise karar verici açısından zorlu bir karar süreci başlamış olacaktır. Bu zorlu sürece geçilmeden önce karar probleminin ne anlamına geldiğini inceleyelim. Karar, karşılaşılan durumlara en uygun cevabın verilmesi durumudur. Karar verme kavramı ise, birçok alternatiflerin arasından duruma uygun olarak en uygun alternatifin seçilmesi durumudur [1], [2].

Bu çalışmanın odağını çok kriterli karar verme teknikleri aracılığıyla, kamusal alanlarda da kullanılabilen sokak aydınlatma bağlamında önem arz eden en yüksek performansa sahip armatürün tercih edilmesi oluşturmuştur. Ayrıca ek olarak çalışmada farklı çok kriterli karar verme yöntemleri sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, yöntemlerin karar verme sürecinde nasıl bir tutum sergilediği ve kendi aralarında ne oranda tutarlı oldukları araştırılmaya çalışılmıştır [3].

Sokak aydınlatmaları için kullanılacak olan armatür seçimi de kamu yönetimi için bir karar verme problemidir. Herhangi bir ülkenin hatta bir şehrin bile en önemli yapı taşlarından biri olan aydınlatma önemli bir mühendislik konusu olup her yönüyle detaylı bir şekilde ele alınarak incelenmelidir. Toplumsal alanlarda gündüz nasıl eylemler gerçekleştiriliyorsa aynı işlemlerin gece de yapılabilmesi için aydınlatma seçiminin doğru yapılması gerekmektedir. Doğru bir seçim yapılması halinde hem düşük güç tüketen aydınlatma armatürleri kullanılarak gerekli aydınlatma seviyeleri korunacak hem de yapılacak olan doğru aydınlatma ile tasarruf elde edilebilecektir. Performans açısından daha iyi olanın seçimi kamu kaynaklarının etkin kullanımını da sağlayacaktır. Sürdürülebilirlik açısından gelecek nesillere temiz bir doğa bırakmak için de bu konu büyük önem arz etmektedir. Bugün dünyanın toplam enerji tüketimi yaklaşık 13 milyar Termal Performans Endeksi (TPE) olmakla birlikte tüketim her yıl %2.3 oranında artış göstermektedir [4].

Bu çalışmada fayda-maliyet analizi göz önüne alınarak on farklı sokak aydınlatma armatürü Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKV) aracılığıyla performansları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Güncel bir aydınlatma kataloğundan faydalanılarak yürütülen bu çalışmanın hem gelecekteki diğer çalışmalara ışık tutacağı, hem de sokak aydınlatma armatürü seçimi yapılırken hangi kriterlerin ön planda olacağına belirlenmesi açısından önem arz edeceği düşünülmüştür.

Literatürde çok kriterli karar verme tekniklerine ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır, fakat sokak aydınlatma bağlamında ele alınan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Sokak aydınlatma bağlamında gerçekleştirilen çalışmalara bakıldığında, bu çalışmaların bazıları tasarruf sağlamak amacı ile bazıları daha yüksek verim elde etmek amacı ile bazıları ise tamamen bu konulardan bağımsız suç oranını düşürmek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Sokak aydınlatma başlı başına geniş kapsamlı bir konudur. Fakat ÇKKV yöntemleri ile analizi gerçekleştirilen sokak aydınlatma armatürlerinin performanslarını belirlemeye yönelik çalışmaların azlığı oldukça dikkat çekicidir. Çoğunlukla mühendislik alanında yapılan çalışmalardan örnekler ise takip eden kısımda verilmeye çalışılmaktadır.

Silva vd. (2010), sokak aydınlatmanın beraberinde getirdiği ciddi maliyet ve elektrik tüketiminin engellenebilmesi açısından enerji verimliliği bağlamında sokak aydınlatma performansını değerlendirebilecek yeni ve basit bir araç yapmayı hedeflemişlerdir. Sonucunda ise sentetik bir araç elde edilmiş olup bu araç Portekiz'in Viana do Castelo şehrinde bulunan bir iş parkına uygulanarak sonuçları tartışılmıştır. Galasiu vd. (2013), hücresel iş istasyonlarında merkezi olarak konumlandırılmış asma direkt-endirekt armatürlerle donatılmış derin planlı bir ofis binasında saha çalışması gerçekleştirerek aydınlatma enerjisi kullanımını azaltmak amacı ile armatürlere entegre doluluk sensörleri ve ışık sensörleri eklemiştir. Yine 2013 yılında Rüstemli vd. güneş pillerinden elde ettiği enerji ile hem sıcak su elde etmeyi hem de sokak aydınlatmayı amaçlamış olup çalışmalar sonucunda %29.02 oranında elde ettiği güç kazancı çalışmanın küçümsenemeyecek kadar küçük olmadığının bir göstergesidir.

2015 yılında Lau vd. otonom sistemli trafik bilincine sahip sokak aydınlatma şeması önermişlerdir. Önerilen şemada bir yol ağı, ağın kullanıcıları ve ağ bağlantıları olmak üzere bir iletişim sistemi geliştirilmiştir. 2016 yılında Çelik hazırladığı yüksek lisans tezinde güneş enerjisi ile beslenen LED armatüre sahip sokak aydınlatma sistemi konusunu işlemiştir.

Demirtaş ve Çelik (2017), yeni geliştirdikleri bir yazılımla elektrik tesisi kurup %42 oranında verim elde ederken, Perdahçı (2018) simülasyon tekniğinden yararlanarak led lambalara eklerle enerji tasarrufuna büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Yine aynı doğrultuda Özçelik ve Yılmaz (2019), akıllı led sistemi geliştirerek daha az enerji ile daha yüksek verim elde etmenin yollarını ararken aynı yıl içerisinde Akyazı, şebeke ile tümleşik PV panel sistemi ile yenilenebilir enerji kullanımını artırma konusunda çalışmasını gerçekleştirmiştir. Yılmaz vd. (2019) ise gerçekleştirdikleri sokak aydınlatması dönüşümü başlıklı fayda maliyet analizi üzerine yaptığı çalışmalarında sonucun 1'den büyük olduğunun yani 5 yıl içerisinde sağlanacak olan faydanın bugünkü değerinin maliyetinin bugünkü değerinden daha büyük olduğu sonucuna vararak uygulamanın ülkemizdeki sokak aydınlatmasına entegre edilebileceği kanısına varmışlardır. Yine eş zamanlı olarak Pektekin, akıllı sokak aydınlatma konusunun da ele alındığı akıllı şehre dönüştürme projesini Malatya ili örneği üzerinden vermişlerdir.

Kocaman (2020), akıllı otopark kapsamında Led lambaları ve floresan lambaları enerji verimliliği kapsamında lamba gücü, ışık akısı, renk sıcaklığı gibi etkenlerle karşılaştırarak Led lambaların düşük enerji tüketimi sağlayarak maliyetleri düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır. 2020 yılında İbrahim vd. sokak aydınlatma bazında önceki çalışmaları inceleyerek Suudi Arabistan Krallığı'ndaki Buraidah, Qassim bölgesine ek fayda yönünden iyileştirmeler sunmayı amaçlamıştır. Becerril vd. (2022) sokak aydınlatma olayına farklı bir bakış açısı getirerek çevresel tasarım yoluyla deneysel kanıtlar yardımıyla suçun azaltılması yönünde önemli gelişmeler elde etmişlerdir. Hossain vd (2022) ise nesnelerin interneti yardımıyla sokak aydınlatması için güneş rüzgâr enerjisi üretim sistemi tasarlamışlardır. Elde edilen prototip sonucu, teorik analizlerin ve sistemin etkinliğinin doğrulanmasının yanı sıra CO₂ emisyonlarının ve sokak aydınlatması için devlet sübvansiyonlarının azaltılmasına önemli bir katkıda bulunacağı yönündedir.

Nugraha ve Desnanjaya (2023), bir yıl boyunca Endonezya Bölgesi Doğu Nusa Tenggara'da bulunan kampüs içerisinde ölçümler yaparak teknik, ekonomik ve sosyal açılardan da

analizlerini gerçekleştirerek kampüs içerisine güneş enerjili sokak aydınlatma sistemi kurmuşlardır. Bajis vd. (2023) Led kullanarak hızlı frekans desteği ile sokak aydınlatma kapsamında konuya yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Sokak aydınlatmalarına dair literatür çalışmaları incelendiğinde genel olarak, enerji tasarrufu sağlayıp enerji kirliliğinin önüne geçilmesinin amaçlandığı mühendislik kökenli çalışmalar oldukları görülmektedir. Söz konusu çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada kamuya bağlı sokak aydınlatma armatürleri performans açısından incelenmiş olup; enerji tüketimi, ışık verimliliği gibi etkenler çerçevesinde 10 sokak aydınlatma armatürünün performansları ÇKKV yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, 17 Mayıs 2024'te yayımlanan 32549 sayılı Resmi Gazetede genelgede "Tasarruf Tedbirleri" konusu ele alınmıştır. Genelgede kamu kurumlarının amaçlarına uygun olacak şekilde en yüksek azami seviyede tasarruf prensiplerine uygun kullanılması üzerinde durulmuştur. Genelgede Enerji ve Su Alımları başlığı altında, "Genel aydınlatmada LED dönüşümü ve diğer tasarruf sağlayıcı tedbirler ivedilikle uygulamaya geçirilecektir" şeklinde de bir karar yayımlanmıştır. Araştırma sonucu çıkarımlar ışığında, sokak aydınlatmanın önem arz etmesi nedeniyle, çalışmanın akışında araştırma konusunda sokak aydınlatmaya odaklanılmıştır. Aydınlatma olarak sokak armatürü seçilmesinin sebebi ise uzun süre etkinliğini devam ettirmek zorunda olan, alternatif marka ve modellerin çok olduğu bir pazarı bulunan, kamu kaynaklarının etkin kullanımını gerektiren ve tek kişi çerçevesinde toplanmayıp genel olarak birçok kişiyi kapsayıp ilgilendiren bir husus olduğu için sokak aydınlatma armatürleri seçilerek çalışma bu konu üzerinden varlığını devam ettirmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın metodoloji bölümünde öncelikle, çalışma kapsamında kullanılacak olan veri seti ile analizde uygulanacak olan yöntemler hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Çalışmada sokak aydınlatma armatürleri hakkında teknik bilgilere erişebilmek amacıyla aydınlatma araçları üreten, güvenilir ve Türkiye pazarına aktif satış yapan bir firmanın kataloğuna ulaşılmıştır. 2023 yılına ait olan bu katalog içerisinde farklı kategorileri ve farklı aydınlatma araçlarını barındırmaktadır. Hazır bir veri seti kullanılmış olmasından dolayı ikincil verilerle gerçekleştirilen bu çalışmada etik kurul iznine ihtiyaç duyulmamıştır. Çalışma içeriğinde sokak aydınlatma armatürü tercih edilmesinden dolayı katalogtan 10 sokak aydınlatma armatürüne ait teknik bilgiler alınmıştır. Armatürlerin performanslarını ölçmek amacı ile Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) yararlanılmıştır.

ÇKKV, var olan alternatifler arasından en çok tercih edilen veya en iyi alternatifi keşfetmek ve tüm yönleri uygun olan değeri bularak ölçümünü gerçekleştirmek gibi işlemleri amaç edinen karar verme bölümünün alt kümesini oluşturan bir süreçtir [23]. Aynı zamanda Yöneylem Araştırmasının en yaygın kullanılan dalını oluşturmaktadır [24]. ÇKKV, sayısız ve genellikle birbirleriyle çelişen nitel ve nicel kriterlerin tayin edilip hesaba alınarak çoğunlukla farklı ağırlık gruplarındaki kriterlerin, aynı ayrı alternatiflerini tercih etmek ve sınıflandırmak için gerekli olan yöntemler bütünüdür [25].

Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının hesaplanabilmesi için öznel ve objektif bir yöntem olan Kriterler Arası Korelasyon ile

Kriter Önemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation - CRITIC) ve veriye odaklanan ENTROPİ yöntemleri, sonrasında performans değerlendirmesi için ise Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme (Evaluation based on Distance from Average Solution - EDAS) ve Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis - GİA) yöntemleri kullanılmıştır. Analizler sırası ile bütünleşik CRITIC-EDAS yaklaşımı ve bütünleşik ENTROPİ-GİA yaklaşımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntemlerin literatürde kullanıldıkları alanlara bakıldığında özellikle enerji, lojistik, tedarikçi seçimi, proje yönetimi, finans, ekonomi, işletme ve pazarlama gibi karar verme aşamalarında kullanıldıkları görülmektedir [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33].

2.1. CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi, yazın halinde ilk kez 1995 yılında Diakoulaki ve arkadaşları tarafından ortaya koyulmuştur [34]. Sözü edilen yöntem, ÇKKV problemlerindeki karar aşamasında yer alan kriterlerin kriter ağırlıklarının nesnel olarak belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Aynı zamanda CRITIC yöntemi, kriterlerin standart sapmalarının ve kriterler arası korelasyonun beraberinde gerçekleştirilen öznel ve objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir [35]. CRITIC yöntemi, aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır [36], [37]:

1.Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması: İlk adımda x_{ij} değerlerinden ortaya çıkan ve X ile belirtilen karar matrisi Eşitlik (1)'de verilen biçimde oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.Adım: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Karar problemlerinde bulunan farklı birimlere ait kriterlere sahip değerler normalizasyon hesaplamalarıyla $[0,1]$ değer aralığında bulunacak şekilde ölçünlü bir hâle getirilmelidir. Normalizasyon hesaplamaları kriterlerde fayda (maksimizasyon) yönlü olanlar için Eşitlik (2), maliyet (minimizasyon) yönlü olanlar için Eşitlik (3)'den faydalanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \dots \dots j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \dots \dots j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

3.Adım: İlişki Katsayı Matrisinin Oluşturulması: Üçüncü adımda ilişkilerin derecesini ölçmek amacı ile değerlendirme kriterleri ile doğrusal ilişki katsayılarından (p_{jk}) meydana gelen ilişki katsayı matrisi elde edilir. İlişki katsayıları Eşitlik (4)'te belirtilen biçimde hesaplanır.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) \cdot (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

4.Adım: C_j Değerlerinin Hesaplanması: ÇKKV problemleri içerisinde yer alan CRITIC yöntemi problemlerinde bulunan bilgiyi, değerlendirme kriterlerinde mevcut zıtlık yoğunluğu

(contrast intensity) ve çelişkiler (conflicts) aracılığıyla oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu duruma istinaden her iki niteliği bir araya getiren ve j . kriterde yer alan toplam bilgiyi niteleyen C_j değerlerine ulaşmak için Eşitlik (5) ve (6)'dan faydalanılmalıdır.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m-1}} \quad (6)$$

5.Adım: Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması: Son adımda kriterlerin her bir C_j değerini, kriterlerin tüm C_j değerlerinin toplamına bölerek, kriterlerin ağırlık değerleri (w_j) bulunur. Kriterlere ait ağırlık değerleri Eşitlik (7) aracılığıyla hesaplanır.

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad (7)$$

2.2. EDAS Yöntemi

EDAS yöntemi, Ghorabae vd. tarafından 2015 yılında yazına tanıtılmıştır. Çelişkili kriterlerin yer aldığı durumlarda sıklıkla kullanılan yöntem türüdür. Yöntem, hesaplamaları gerçekleştirirken ortalama çözüm aralığına olan uzaklıkları baz alarak hesaplamaları gerçekleştirir [38]. EDAS yöntemi, aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır [39], [40]:

1.Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması: İlk adımda karar probleminde bulunacak kriterler ve karar alternatifleri seçilerek, karar matrisi Eşitlik (8)'de verilen biçimde meydana gelir. Bu eşitlikte yer alan x_{ij} değerleri, j . kritere göre i . karar alternatifinin performansını ifade etmektedir.

$$X = [X_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.Adım: Ortalama Çözüm Matrisinin Elde Edilmesi: İkinci adımda hesaplamada bulunan kriterlerin hepsinin ortalaması alınarak Eşitlik (9)'da ifade edilen biçimde ortalama çözüm matrisi (AV) elde edilir.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da verilen j . kriterin ortalamasını belirten AV_j değerleri, Eşitlik (10) aracılığıyla bulunmaktadır.

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (10)$$

3.Adım: Ortalamadan Uzaklık Matrislerinin Elde Edilmesi: Hesaplamada yer alan kriterlere ilişkin ortalama uzaklıkları belirlemek amacıyla bu adımda, ortalamadan pozitif uzaklık (PDA) ile ortalamadan negatif uzaklık (NDA) şeklinde iki farklı durum hesaplanır. Pozitif ile negatif uzaklık matrislerinin hesaplamaları Eşitlik (11) ve (12)'de verilen biçimde hesaplanır.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad (11)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} \quad (12)$$

Pozitif ile negatif uzaklık matrisinde yer alan değerler, kriterin fayda veya maliyet yönlü olmasına ilişkin farklı hesaplamalar ile bulunmaktadır. Fayda yönlü kriterleri bulmak için Eşitlik (13) ve (14)'den yararlanılmaktadır.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (13)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (14)$$

Maliyet yönlü kriterleri bulmak için ise Eşitlik (15) ve (16)'dan faydalanılarak hesaplama gerçekleştirilir.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (15)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (16)$$

4.Adım: Ağırlıklı Toplam Değerlerin Elde Edilmesi: Bütün karar alternatifleri bulmak amacıyla ağırlıklı toplam değerler, ağırlıklı toplam pozitif değer (SP_i) ve ağırlıklı toplam negatif değerler (SN_i) şeklinde Eşitlik (17) ve (18) aracılığıyla bulunur.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j x PDA_{ij} \quad (17)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j x P NDA_{ij} \quad (18)$$

Eşitlik (17) ve (18)'de bulunan w_j değerleri, kriterlerin önem ağırlıklarını vermektedir.

5.Adım: Ağırlıklı Toplam Değerlerin Normalizasyonu: Burada dördüncü adımda bulunan (SP_i) ve (SN_i) değerleri Eşitlik (19) ve (20)'den faydalanılarak normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (19)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (20)$$

6.Adım: Değerlendirme Skorlarının Hesaplanması: Son adımda karar alternatiflerinin her biri için değerlendirme skorları (AS_i) Eşitlik (21) aracılığıyla bulunur.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (21)$$

Karar alternatiflerinin her biri için bulunan değerlendirme skorları 0 ve 1 aralığında çıkacaktır. Değerlendirme skoru en yüksek çıkan karar alternatifi ise en iyi alternatif olarak tercih edilecektir.

2.3. ENTROPİ Yöntemi

Yazında “Shannon’ın Entropy” ismiyle de yer aldığı ENTROPİ Yöntemi, 1948 yılında Shannon ile tanıtılmıştır [41]. Karar problemlerinde kriterlerin önem düzeyinin belirlenmesinde hiyerarşik yapıya başvurmadan subjektif yargılara ihtiyaç duymadan veriler ışığında hesaplama yaptığı için nesnel bir ağırlıklandırma yöntemidir [42]. Yöntemin işlem adımları aşağıda belirtilmiştir [43], [44]:

1.Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması: İlk adımda x_{ij} değerlerinden ortaya çıkan ve D ile belirtilen karar matrisi Eşitlik (22)'de verilen biçimde oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

2.Adım: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Karar problemlerinde bulunan farklı birimlere ait kriterlere sahip

değerler, normalizasyon işlemiyle [0,1] değer aralığında yer alacak biçimde ölçünlü bir hâle getirilmelidir. Normalizasyon işlemi Eşitlik (23)'den faydalanılarak uygulanır.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall i, j \quad (23)$$

3.Adım: Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Bulunması: Değerlendirme kriterlerine ilişkin her bir Entropi değerleri (e_j), Eşitlik (24)'te belirtilen biçimde hesaplanır.

$$e_{ij} = -k \cdot \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

Eşitlik (24)'te bulunan k değeri: $k = (\ln(m))^{-1}$ şeklinde ifade edilen sabit bir katsayıdır ve $0 \leq e_j \leq 1$ aralığında değer alır. e_j değeri, j . kriterin belirsizlik ölçüsü veya farklı şekilde tanımlanacak olursa entropi değeri olarak kullanılır.

4.Adım: Farklılaşma Derecelerinin Bulunması: Burada önceden hesaplanan entropi değerlerinden yararlanarak farklılaşma dereceleri (degree of diversification) olarak (d_j) değerleri ayrı ayrı her kriter için Eşitlik (25)'te belirtilen biçimde hesaplanır.

$$d_j = 1 - e_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

Eşitlik (25)'te hesaplanan (d_j) değeri eğer yüksek ise kriterlere ait alternatif sonuçları arasındaki uzaklığın ya da farklılaşmanın yüksek olduğunu ifade etmiş olacaktır.

5.Adım: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması: Son adımda kriterlerin ayrı ayrı her birinin farklılaşma derecesi, toplam farklılaşma derecesine bölünerek kriterlerin ağırlık değerlerine ulaşılabacaktır. Kriterlere ait ağırlık değerleri (w_j) Eşitlik (26)'dan faydalanılarak bulunur:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (26)$$

2.4. GİA Yöntemi

GİA yöntemi, Gri Sistem Teorisinden esinlenerek ileriye taşınmış, Gri İlişkisel Derece esasına dayanan aşamalandırma, sınıflandırma ve karar verme yöntemidir [45]. Yöntemin işlem adımları aşağıda belirtilmiştir [46], [47]:

1.Adım: Verilerin Hazırlanması ve Karar Matrisinin Oluşturulması: İlk adımda karar probleminde bulunan karşılaştırması gerçekleştirilecek olan m tane faktör dizisi Eşitlik (27)'de belirtilen biçimde hesaplanır:

$$x_i = (x_i(j), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

Eşitlik (27)'de verilen:

- x_i 'ler karar alternatiflerini,
- $x_i(j)$ 'ler ise i . karar alternatifinin j . kriter için aldığı değeri ifade etmektedir.

m adet dizinin meydana getirilmesi ile ulaşılan karar matrisi "X", Eşitlik (28)'de yer almaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{1(1)} & x_{1(2)} & \dots & x_{1(n)} \\ x_{2(1)} & x_{2(2)} & \dots & x_{2(n)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m(1)} & x_{m(2)} & \dots & x_{m(n)} \end{bmatrix} \quad (28)$$

2.Adım: Referans Serisinin ve Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması: İkinci adımda ilk olarak, karar probleminde bulunan faktörleri karşılaştırmak maksadı ile Eşitlik (29)'da belirtilen biçimde referans seri hazırlanmalıdır.

$$x_0 = (x_0(j)) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (29)$$

Eşitlik (29)'da bulunan $x_0(j)$ değeri, j . kriterin diğer adımda ulaşılabacak olan normalize değerlerin içerisindeki en iyi değerini göstermektedir.

Referans seri, kriterler dikkate alındığında her bir karar alternatifini olmak üzere kriterler için ayrı ayrı ideal değerleri hesaplanarak bulunabilir. Referans seriye ulaşmadaki bir diğer seçenek ise; her kriter için karar alternatiflerinin almış oldukları değerler içerisinde en iyi olanları tercih etmektir. Kriterlerde fayda yönlü olanlarda veri setinde referans seri için en büyük değer tercih edilmesi gerekirken, maliyet yönlü olanlarda ise en küçük değerin tercih edilmesi gerekecektir. Tercihler gerçekleştirildikten sonra ilk adımda hazırlanan karar matrisinin ilk satırına referans serisi eklenecek olup karşılaştırma matrisine ulaşılmış olunacaktır.

3.Adım: Normalizasyon İşlemi ve Normalize Matrisinin Elde Edilmesi: Normalizasyon işlemi; fayda, maliyet ve optimal (en uygun) olmak üzere üç farklı durumda yapılabilir. Kriterler fayda durumu olarak baz alındığında kriter en büyük değeri alırsa uygunluk sağlanmış olacaktır. Fayda durumuna ait normalizasyon hesabı Eşitlik (30)'dan yararlanılarak yapılacaktır.

$$x_i^* = \frac{x_i(j) - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (30)$$

Kriterler maliyet durumu olarak baz alındığında kriter en küçük değeri alırsa uygunluk sağlanmış olacaktır. Maliyet durumuna ait normalizasyon hesabı Eşitlik (31)'den yararlanılarak yapılacaktır.

$$x_i^* = \frac{\max_j x_i(j) - x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (31)$$

Kriterlerin optimal durumu baz almasının şart olduğu durumlar var ise son durum olan optimal durumun tercih edilmesi uygun olacaktır. Optimal duruma ait normalizasyon hesabı Eşitlik (32)'den yararlanılarak yapılacaktır.

$$x_i^* = \frac{x_i(j) - x_{0b}(j)}{\max_j x_i(j) - x_{0b}(j)} \quad (32)$$

Eşitlik (32)'de bulunan $x_{0b}(j)$ değeri, hesaplanmış olan optimal değere sahip, j . kriterin hedef değerini belirtmektedir. " $\min_j x_i(j) \leq x_{0b} \leq \max_j x_i(j)$ " aralığında olmak üzere optimal değer hesaplanır.

Yukarıda sözü edilen durumlardan faydalanılarak normalizasyon aşaması tamamlanır. Sonrasında Eşitlik (28)'de bulunan karar matrisi, normalizesi gerçekleştirilmiş karar matrisine çevrilir. Normalizesi gerçekleştirilmiş karar matrisi Eşitlik (33)'te verilmiştir.

$$X^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (33)$$

4.Adım: Mutlak Değer Matrisinin Oluşturulması: Dördüncü adımda normalizesi gerçekleşmiş referans serisi değerleri ile normalizesi gerçekleşmiş karar matrisi arasındaki fark Eşitlik (34)'te verilen biçimde bulunur.

$$\Delta_{0i} = x_0^*(j) - x_i^*(j) \quad (34)$$

Eşitlik (34)'den faydalanılarak bulunan değerler ile Eşitlik (35)'ten yararlanılarak hesaplanan mutlak değerler matrisi elde edilir.

$$\Delta_{0i} = \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \Delta_{0m}(1) & \Delta_{0m}(2) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{bmatrix} \quad (35)$$

5.Adım: Gri İlişkisel Katsayı Matrisinin Oluşturulması: Gri ilişkisel katsayı matrisinde bulunan elemanlar Eşitlik (36), (37) ve (38)'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(j) + \zeta \cdot \Delta_{\max}} \quad (36)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_j \Delta_{0i}(j) \quad (37)$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_j \Delta_{0i}(j) \quad (38)$$

Eşitlik (36)'da bulunan ve [0,1] değer aralığında yer alacak "ζ" parametresi, "ayırıcı katsayı" ya da "zıtlık kontrol katsayısı" olarak ifade edilir. Bu katsayı Δ_{0i} ile Δ_{max} değerleri arasındaki farkı hesaplamak için kullanılır. "ζ" parametresinin hesaplandığı değer 1'e doğru yakınlıktıkça ayırıcı özellik (zıtlık) yükselecektir. Bu değer 0'a doğru yakınlıktıkça ise zıtlığın gideceği bir durum söz konusu olacaktır. Veri setinde bulunan değerlerin arasındaki uzaklıkların çok yüksek olması durumunda, zıtlığı indirmek amacıyla "ζ" parametresi aracılığıyla bir değer seçilecek olup bu değerde sıfıra en yakın olan değer olacaktır.

6.Adım: Gri İlişkisel Derecelerin Belirlenmesi: Gri bir sistemde bulunan Gri ilişkisel derece, x_i^{*} serisi ve referans seri (x₀^{*}) olarak geometrik benzerliğin ölçüsü kabul edilmektedir. Aynı zamanda bu serilerin kıyaslanmasına da imkân tanımaktadır. Eğer gri ilişkisel derece değeri büyük çıkarsa, x_i^{*} serisi ve referans seri bağlamında güçlü ilişki ortaya çıkacaktır. Eğer kıyaslanan iki serinin gri ilişkisel derecesi 1 olarak çıkıyorsa, bu iki serinin eş olduğu kabul edilir.

Gri ilişkisel dereceler, kriterlerin aldıkları önem düzeyleri ile bağıntılı olarak farklı biçimlerde hesaplanır. Eğer kriterler eşit olarak hesaplanmışsa, gri ilişkisel derece Eşitlik (39) aracılığıyla bulunur.

$$\Gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad (39)$$

Eşitlik (39)'da bulunan Γ_{0i} değerinin anlamı gri ilişkisel dereceyi ifade etmektedir. Eğer kriterler farklı önem düzeyinde hesaplanmışsa, formüle kriter ağırlıklarının da dahil edilmesiyle gri ilişkisel derece Eşitlik (40) aracılığıyla bulunur.

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w_i(j) \cdot \gamma_{0i}(j)] \quad (40)$$

Eşitlik (40)'da bulunan j. kriterin w_i(j) değeri, kriter ağırlığını ifade etmektedir. Kriterlere ait ağırlık değerleri (w_j)

toplamları $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ şeklinde elde edilmelidir. Bulunan kriterin ağırlığı ne ölçüde büyük ise karar verici açısından o kriter en büyük değere sahiptir.

Gri ilişkisel derecelerin bulunmasından sonra adımlar tamamlanmış olmaktadır. En son referans seriye geometrik benzerliği ifade eden gri ilişkisel dereceler, en yüksekten en düşüğe doğru sıralanarak alternatiflere ait sıralama elde edilir. En yüksek değere sahip karar alternatifi, en iyi alternatif olarak tercih edilir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kapsamlı bir literatür taramasının ardından çalışmada performansları karşılaştırılacak olan alternatif sokak aydınlatma armatürleri belirlenmiştir. Çalışmada karşılaştırılacak olan alternatif armatürlerin belirlenmesinin ardından alternatifleri karşılaştırmaya yönelik kriterler uzman görüşlerden destek alınarak seçilmiştir. Kriterlerin belirlenmesinin ardından CRITIC ve ENTROPİ yöntemleri ile analizler gerçekleştirilerek kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıklandırılan kriterler yardımı ile EDAS ve GİA yöntemleri ile sokak aydınlatma armatürlerinin performans sıralamaları elde edilmiş olup ve bu sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır. Analizlerin yapım aşamasında Excel ve Jamovi 2.3.21 programları kullanılmıştır.

Tablo 1. Veri Seti

Kriterler	Enerji Tüketimi (W) (MİN)	Işık Verimliliği (LM) (MAK)	Aydınlatma Sistemi Fiyatı (T) (MİN)	Lamba Kullanım Ömrü (S) (MAK)
Alternatifler				
A1	30	500	600	15000
A2	60	1000	850	15000
A3	90	1500	1.150	15000
A4	200	1800	1.250	15000
A5	250	2200	1.500	15000
A6	300	2600	1.750	15000
A7	50	3000	475	30000
A8	70	7000	625	30000
A9	120	12000	950	30000
A10	150	15000	1.500	30000

Tablo 1'de verilen veri setinde, alternatifler bölümünde 10 sokak aydınlatma armatürü yerini alırken, kriterler bölümünde ise minimize edilen enerji tüketimi ve aydınlatma sistemi fiyatı kriterleri, maksimize edilen ışık verimliliği ve lamba kullanım ömrü kriterleri yer almaktadır.

3.1. CRITIC Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamına alınan sokak aydınlatma armatürlerinin 2023 yılına ilişkin verileri Tablo 1'de sunulmuştur. CRITIC yöntemine göre oluşturulan karar matrisinin satırlarında performansları sıralanmak istenen armatür modelleri yer alırken; sütunlarında ise kriterler (enerji tüketimi, aydınlatma sistemi fiyatı, ışık verimliliği, lamba kullanım ömrü) yer almaktadır. Öncelikle Eşitlik (1) baz alınarak CRITIC yöntemi için 10x4 boyutunda karar matrisi hazırlanmıştır. Karar matrisi hazırlanırken enerji tüketimi ile aydınlatma sistemi fiyatı armatür performansını minimum düzeyde etkileyecek şekilde, ışık verimliliği ile lamba kullanım ömrü ise armatür performansını maksimum düzeyde etkileyecek şekilde oluşturulmuştur.

Fayda kriterleri için Eşitlik (2), maliyet kriterleri için Eşitlik (3) kullanılarak birinci adımda oluşturulan karar matrisi ikinci adımda normalize edilmiştir. Normalize edilmiş karar matrisine Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. Normalize Karar Matrisi

Kriter yönü	Min	Min	Mak	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
A1	1	0,901961	0	0
A2	0,888889	0,705882	0,034483	0
A3	0,777778	0,470588	0,068966	0
A4	0,37037	0,392157	0,089655	0
A5	0,185185	0,196078	0,117241	0
A6	0	0	0,144828	0
A7	0,925926	1	0,172414	1
A8	0,851852	0,882353	0,448276	1
A9	0,666667	0,627451	0,793103	1
A10	0,555556	0,196078	1	1

Üçüncü adımda Eşitlik (4) yardımıyla, kriterler arası ilişki derecelerinin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen katsayılar Tablo 3’te yer verilmiştir.

Tablo 3. İlişki Katsayı Matrisi p_{jk}

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
Enerji tüketimi	1	0,902453	-0,01903	0,324923
Aydınlatma sistemi fiyatı	0,902453	1	-0,15436	0,350832
Işık verimliliği	-0,01903	-0,15436	1	0,784557
Lamba kullanım ömrü	0,324923	0,350832	0,784557	1

Dördüncü adımda, korelasyon katsayıları ve standart sapmaların ışığında Eşitlik (5) yardımıyla her bir kriterin içerdiği toplam bilgi miktarı hesaplanarak Tablo 4’teki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 4. c_j Değerleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
Enerji tüketimi	0	0,097547	1,019028	0,675077
Aydınlatma sistemi fiyatı	0,097547	0	1,15436	0,649168
Işık verimliliği	1,019028	1,15436	0	0,215443
Lamba kullanım ömrü	0,675077	0,649168	0,215443	0
σ_j	0,338461	0,341524	0,347259	0,516398
c_j	0,606404	0,649263	0,829543	0,795091

CRITIC yönteminin son adımı olan beşinci adımda, Eşitlik (7)’den yararlanılarak Tablo 5’te yer alan kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Burada en yüksek ağırlığa sahip kriter en önemli kriter olarak kabul edilecektir. Tablo 5’te belirtildiği üzere 0,288006 değeri ile ışık verimliliği en yüksek ağırlığa sahip kriter olmuştur. Enerji tüketimi ise 0,210535 ağırlık değeri ile en düşük ağırlığa sahip kriter bölümünde yerini almıştır.

Tablo 5. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
w_j	0,210535	0,225415	0,288006	0,276045

Sonuç olarak, kriter ağırlıkları incelendiğinde ışık verimliliği, diğer tüm kriterlere oranla daha fazla öneme sahipken; enerji tüketimi ise diğer kriterlere oranla en az öneme sahiptir. Aydınlatma sistemi fiyatı kriteri, enerji tüketimi kriterine göre daha fazla önem arz ederken, ışık verimliliği ve lamba kullanım ömrü kriterlerine göre de daha az öneme sahiptir. Son olarak da sıralamada ikinci olarak yer alan lamba kullanım ömrü kriteri ışık verimliliğine göre daha az öneme sahipken, enerji tüketimi ve aydınlatma sistemi fiyatı kriterlerine göre daha fazla önem arz

etmektedir. Bu durumda genel sonuç olarak EDAS yöntemi ile gerçekleştirilecek olan performans sıralaması analiz sonucunu en yüksek katsayıyla ışık verimliliği etkileyecek olup en düşük katsayıyla da enerji tüketimi etkileyecektir.

3.2. EDAS Yöntemi ile Sokak Aydınlatma Armatürlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, CRITIC yöntemiyle elde edilen kriterlere ilişkin ağırlık katsayıları EDAS yöntemine dahil edilerek sokak aydınlatma armatürlerinin performanslarının analizi gerçekleştirilerek sıralamaları elde edilmiştir. Tablo 6’da yer alan karar matrisi EDAS yönteminin ilk adımını oluşturmakta olup aynı zamanda CRITIC yöntemine ait karar matrisi ile de eş özelliklere sahiptir.

Tablo 6. Karar Matrisi

Kriter yönü	Min	Min	Mak	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
A1	30	600	500	15000
A2	60	850	1000	15000
A3	90	1150	1500	15000
A4	200	1250	1800	15000
A5	250	1500	2200	15000
A6	300	1750	2600	15000
A7	50	475	3000	30000
A8	70	625	7000	30000
A9	120	950	12000	30000
A10	150	1500	15000	30000

İkinci adımda, Tablo 7’de yer alan her bir kriter için ortalama çözüm değerleri Eşitlik (10) kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 7. AV_j Ortalama Çözüm Değerleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
AV_j	132	1065	4660	21000

Üçüncü adımda, kriterlerin ortalamadan uzaklıkları hesaplanmıştır. PDA değerleri, Eşitlik (13) yardımıyla fayda yönlü kriterler için, Eşitlik (15) yardımıyla da maliyet yönlü kriterler için hesaplanarak Tablo 8 oluşturulmuştur.

Tablo 8. Ortalamadan Pozitif Uzaklık Değerleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
A1	0	0	0	0
A2	0	0	0	0
A3	0	0,079812207	0	0
A4	0,515151515	0,17370892	0	0
A5	0,893939394	0,408450704	0	0
A6	1,272727273	0,643192488	0	0
A7	0	0	0	0,428571429
A8	0	0	0,502145923	0,428571429
A9	0	0	1,575107296	0,428571429
A10	0,136363636	0,408450704	2,21888412	0,428571429

NDA değerleri ise Eşitlik (14) yardımıyla fayda yönlü kriterler için, Eşitlik (16) yardımıyla da maliyet yönlü kriterler için hesaplanarak Tablo 9 elde edilmiştir.

Tablo 9. Ortalamadan Negatif Uzaklık Değerleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
A1	0,772727273	0,436619718	0,892703863	0,285714286
A2	0,545454545	0,201877934	0,785407725	0,285714286
A3	0,318181818	0	0,678111588	0,285714286
A4	0	0	0,613733906	0,285714286
A5	0	0	0,527896996	0,285714286
A6	0	0	0,442060086	0,285714286

A7	0,621212121	0,55399061	0,356223176	0
A8	0,46969697	0,41314554	0	0
A9	0,090909091	0,107981221	0	0
A10	0	0	0	0

Tablo 10'da CRITIC yöntemi ile elde edilen kriterlerin önem ağırlıklarına yer verilmiştir.

Tablo 10. Kriterlerin Önem Ağırlıkları

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
Önem ağırlığı	0,21	0,23	0,29	0,28

PDA ve NDA değerlerinin hesabı yapıldıktan sonra, CRITIC yöntemi ile hesaplanan kriter önem ağırlıkları bu aşamada yönteme dahil edilmiştir. Eşitlik (17) yardımıyla ağırlıklandırılmış PDA değerlerinin toplamı (SPİ) hesaplandıktan sonra, bu toplam değerler Eşitlik (19) yardımıyla normalize edilmiştir. Ağırlıklandırılmış PDA değerleri, bu değerlerin toplamı ve normalizasyonuna ilişkin değerler Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo 11. Ağırlıklandırılmış PDA Matrisi ve Normalizasyonu

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü	SPİ	N-SPİ
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0,018357	0	0	0,018357	0,020717
A4	0,108182	0,039953	0	0	0,148135	0,167184
A5	0,187727	0,093944	0	0	0,281671	0,317893
A6	0,267273	0,147934	0	0	0,415207	0,468601
A7	0	0	0	0,12	0,12	0,135432
A8	0	0	0,145622	0,12	0,265622	0,29978
A9	0	0	0,456781	0,12	0,576781	0,650953
A10	0,028636	0,093944	0,643476	0,12	0,886056	1

Eşitlik (18) yardımıyla ağırlıklandırılmış NDA değerlerinin toplamı (SNİ) hesaplandıktan sonra, bu toplam değerler Eşitlik (20) yardımıyla normalize edilmiştir. Ağırlıklandırılmış NDA değerleri, bu değerlerin toplamı ve normalizasyonuna ilişkin değerler Tablo 12'de yer almaktadır.

Tablo 12. Ağırlıklandırılmış NDA Matrisi ve Normalizasyonu

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü	SNİ	N-SNİ
A1	0,162273	0,100423	0,258884	0,08	0,601579	0
A2	0,114545	0,046432	0,227768	0,08	0,468746	0,220808
A3	0,066818	0	0,196652	0,08	0,343471	0,429052
A4	0	0	0,177983	0,08	0,257983	0,571157
A5	0	0	0,15309	0,08	0,23309	0,612536
A6	0	0	0,128197	0,08	0,208197	0,653915
A7	0,130455	0,127418	0,103305	0	0,361177	0,399619
A8	0,098636	0,095023	0	0	0,19366	0,678081
A9	0,019091	0,024836	0	0	0,043927	0,926981
A10	0	0	0	0	0	1

EDAS yönteminin son adımında, Eşitlik (21) aracılığıyla elde edilen AS_i (değerlendirme skorları) değerlerine yer verilmiştir. Bu AS_i değerlerinin sonucuna ilişkin 2023 yılına ait sokak aydınlatma armatürlerinin performanslarının sıralaması Tablo 13'te yer almaktadır.

Tablo 13. Alternatiflerin AS_i Değerleri ve Sıralamaları

Alternatifler	AS_i	Sıralama
A1	0	10
A2	0,110404	9
A3	0,224885	8
A4	0,369171	6
A5	0,465215	5
A6	0,561258	3
A7	0,267525	7
A8	0,488931	4
A9	0,788967	2
A10	1	1

Tablo 13'te yer alan bilgilere göre sokak aydınlatma armatürlerinin performans sıralamasının elde edilmesine yönelik yapılan Bütünleşik CRITIC-EDAS yaklaşımıyla elde edilen analiz sonucunda en iyi performansı 1 AS_i değerine sahip A10 modeli sokak aydınlatma armatürü vermiştir. Bununla birlikte sıralamayı hemen ardından takip eden 0,21 gibi küçük bir değer *e-ISSN: 2146-2119*

farkıyla A9 modeli olmuştur. En kötü performansa sahip sokak aydınlatma armatürü ise 0 değeri ile A1 modelidir. Sonuç olarak 2023 yılında sokak aydınlatma armatürü tercih aşamasında minimum düzeyde enerji tüketerek en yüksek verime ulaşılacak istenildiğinde sıralama şu şekilde olacaktır: A10, A9, A6, A8, A5, A4, A7, A3, A2 ve A1.

3.3. ENTROPİ Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışmanın analiz bölümünde CRITIC yönteminin ardından kriter ağırlıklandırılması için ENTROPİ yöntemi tercih edilmiştir. ENTROPİ yönteminin ilk adımında CRITIC ve EDAS yöntemlerinde de oluşturulduğu gibi 10x4 boyutunda karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinin içeriğinde 10 sokak aydınlatma armatürü alternatifi ve 4 kriter bulunmaktadır. Karar matrisinin oluşturulması için belirlenen veriler Tablo 14'te sunulmaktadır.

Tablo 14. Karar Matrisi

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
A1	30	500	600	15000
A2	60	1000	850	15000
A3	90	1500	1150	15000
A4	200	1800	1250	15000
A5	250	2200	1500	15000
A6	300	2600	1750	15000
A7	50	3000	475	30000
A8	70	7000	625	30000
A9	120	12000	950	30000
A10	150	15000	1500	30000

İkinci adımda Tablo 15'te yer alan normalize karar matrisi normalizasyon işleminde ilk olarak karar matrisinin fayda ve maliyet kriterine göre normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra her bir ilgili kriter değerinin toplamına ilgili alternatifin kriter değeri bölünerek karar matrisi normalize edilmiştir.

Tablo 15. Normalize Karar Matrisi

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
A1	0,022727	0,01073	0,056338	0,071429
A2	0,045455	0,021459	0,079812	0,071429
A3	0,068182	0,032189	0,107981	0,071429
A4	0,151515	0,038627	0,117371	0,071429
A5	0,189394	0,04721	0,140845	0,071429
A6	0,227273	0,055794	0,164319	0,071429
A7	0,037879	0,064378	0,044601	0,142857
A8	0,05303	0,150215	0,058685	0,142857
A9	0,090909	0,257511	0,089202	0,142857
A10	0,113636	0,321888	0,140845	0,142857

Üçüncü adımda ise Eşitlik (24) yardımıyla hesaplanan kriterlere ilişkin Entropi değerleri yer almaktadır. Bu adımda Tablo 16'daki her bir kriter değerinin logaritma değeri alınmış, alınan bu logaritma değerleriyle kriter değerleri çarpılmıştır.

Tablo 16. Kriterlere İlişkin Entropi Değerleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
A1	-0,086	-0,04866	-0,16205	-0,1885
A2	-0,1405	-0,08244	-0,20177	-0,1885
A3	-0,18311	-0,11061	-0,24034	-0,1885
A4	-0,28592	-0,12568	-0,25146	-0,1885
A5	-0,31514	-0,14414	-0,27607	-0,1885
A6	-0,33673	-0,16103	-0,29675	-0,1885

A7	-0,12399	-0,17659	-0,13871	-0,27799
A8	-0,15574	-0,28476	-0,16641	-0,27799
A9	-0,21799	-0,34936	-0,21559	-0,27799
A10	-0,24713	-0,36488	-0,27607	-0,27799
$\ln(m)$	0,434294			
e_j	0,908655	0,802636	0,966399	0,974111

Bu adımda Eşitlik (25) aracılığıyla kriterlerin farklılaşma dereceleri hesaplanmıştır.

Tablo 17. Farklılaşma Dereceleri

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
d_j	0,091345	0,197364	0,033601	0,025889

En son adımda ise her bir d_j değeri toplam d_j değerine bölünerek kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu adımda Eşitlik (26)'dan yararlanılmıştır.

Tablo 18. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Enerji tüketimi	Aydınlatma sistemi fiyatı	Işık verimliliği	Lamba kullanım ömrü
w_j	0,262335	0,566815	0,096498	0,074351

Tablo 18'de ENTROPİ yöntemi ile ağırlıklandırılan kriterlerin katsayıları verilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri sonucuna göre en yüksek ağırlık değerine sahip kriter aydınlatma sistemi fiyatı olmuştur. En düşük ağırlık değerine sahip kriter ise lamba kullanım ömrü olmuştur. CRITIC yönteminde en yüksek ağırlık değerine sahip kriter ışık verimliliği, ENTROPİ yönteminde en yüksek ağırlık değerine sahip kriter aydınlatma sistemi fiyatı olarak belirlenmiştir. En düşük ağırlığa sahip kriterler ise CRITIC'de enerji tüketimi ENTROPİ'de lamba kullanım ömrü olarak yerini almıştır. Genel olarak, her iki ağırlıklandırma yöntemi sonuçları dikkate alındığında alternatiflerin performans sıralaması belirlenirken CRITIC yönteminde ışık verimliliği kriteri, ENTROPİ yönteminde ise aydınlatma sistemi fiyatı diğer kriterlere oranla sıralamayı daha baskın şekilde etkileyecektir.

3.4. GİA Yöntemi ile Sokak Aydınlatma Armatürlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi

ENTROPİ yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından uygulamanın diğer aşaması olan Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle, armatürlerin performansları değerlendirilmiştir. Tablo 19'da yer alan karar matrisi GİA yönteminin ilk adımını oluşturmakta olup aynı zamanda Tablo 14'te yer alan ENTROPİ yönteminin karar matrisi ile de eş özelliktedir.

Tablo 19. Karar Matrisi

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
A1	30	500	600	15000
A2	60	1000	850	15000
A3	90	1500	1150	15000
A4	200	1800	1250	15000
A5	250	2200	1500	15000
A6	300	2600	1750	15000
A7	50	3000	475	30000
A8	70	7000	625	30000
A9	120	12000	950	30000
A10	150	15000	1500	30000

Eşitlik (29)'da belirtildiği üzere bu adımda referans serisi oluşturulmuştur. Uygulamada, karar matrisinde yer alan her bir kriterin en iyi değerleri dikkate alınarak referans serisi belirlenmiştir. Tablo 20'de referans serisi ve karşılaştırma matrisi yer almaktadır.

Tablo 20. Referans Serisi ve Karşılaştırma Matrisi

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
Referans serisi	30	15000	475	30000
A1	30	500	600	15000
A2	60	1000	850	15000
A3	90	1500	1150	15000
A4	200	1800	1250	15000
A5	250	2200	1500	15000
A6	300	2600	1750	15000
A7	50	3000	475	30000
A8	70	7000	625	30000
A9	120	12000	950	30000
A10	150	15000	1500	30000
Min	30	500	475	15000
MAK	300	15000	1750	30000

Üçüncü adımda normalize edilmiş referans serisi matrisi yer almaktadır. Buradaki normalizasyon işlemi fayda, maliyet ve optimal (en uygun) durumlarına göre üç farklı şekilde gerçekleştirmek mümkündür. Eşitlik (30) fayda, Eşitlik (31) maliyet ve son Eşitlik (32)'de optimal hesaplama yöntemlerini vermektedir. Normalize edilmiş matris Tablo 21'de yerini almıştır.

Tablo 21. Normalize Edilmiş Matris

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
Referans serisi	1	1	1	1
A1	1	0	0,901961	0
A2	0,888889	0,034483	0,705882	0
A3	0,777778	0,068966	0,470588	0
A4	0,37037	0,089655	0,392157	0
A5	0,185185	0,117241	0,196078	0
A6	0	0,144828	0	0
A7	0,925926	0,172414	1	1
A8	0,851852	0,448276	0,882353	1
A9	0,666667	0,793103	0,627451	1
A10	0,555556	1	0,196078	1

Dördüncü adımda, referans serisinin değerleri ile normalize karar matrisinin değerleri arasındaki mutlak farklar Eşitlik (34)'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda elde edilen mutlak değerler matrisine Tablo 22'de yer verilmiştir.

Tablo 22. Mutlak Değerler Tablosu

Kriter yönü	Min	Mak	Min	Mak
Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü
A1	0	1	0,098039	1
A2	0,111111	0,965517	0,294118	1
A3	0,222222	0,931034	0,529412	1
A4	0,62963	0,910345	0,607843	1
A5	0,814815	0,882759	0,803922	1
A6	1	0,855172	1	1
A7	0,074074	0,827586	0	0
A8	0,148148	0,551724	0,117647	0
A9	0,333333	0,206897	0,372549	0
A10	0,444444	0	0,803922	0

Mutlak değerler matrisi hesaplandıktan sonra, Eşitlik (36) yardımıyla gri ilişkisel katsayı matrisindeki elemanlar belirlenmiştir. Bu işlemi gerçekleştirmeden önce Eşitlik (37) ve

(38)'den yararlanılarak Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 23'te belirtilmiştir.

Tablo 23. Min, Mak ve ζ değerleri

Δ_{max}	0
Δ_{min}	1
ζ	0,5

Son aşamada karar matrislerine ENTROPİ yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları ilk satıra eklenmiştir. Gri ilişkisel katsayı matrisinin değerlendirilmesinde iki farklı durum söz konusudur. Birincisi Eşitlik (39) yardımıyla hesaplanan kriterlerin eşit ağırlıkta öneme sahip olduğu durumdur. İkinci durum ise Eşitlik (40) yardımıyla hesaplanan kriterlerin farklı ağırlıkta öneme sahip olduğu aynı zamanda bu çalışmada da kullanılan durumdur.

Tablo 24. Farklı Ölçüt Ağırlıklarına Göre Gri İlişki Katsayı Matrisi, Derecesi ve Sıralaması

Kriterler	Enerji tüketimi	Işık verimliliği	Aydınlatma sistemi fiyatı	Lamba kullanım ömrü	F_{0i}	Sıralama
w	0,300	0,400	0,200	0,100		
A1	0,3	0,133333	0,167213	0,033333	0,63388	5
A2	0,245455	0,136471	0,125926	0,033333	0,541184	6
A3	0,207692	0,139759	0,097143	0,033333	0,477928	7
A4	0,132787	0,141809	0,090265	0,033333	0,398195	8
A5	0,114085	0,144638	0,076692	0,033333	0,368748	9
A6	0,1	0,147583	0,066667	0,033333	0,347583	10
A7	0,26129	0,150649	0,2	0,1	0,71194	2
A8	0,231429	0,190164	0,161905	0,1	0,683497	3
A9	0,18	0,282927	0,114607	0,1	0,677534	4
A10	0,158824	0,4	0,076692	0,1	0,735515	1

Tablo 24'te yer alan sonuçlara bakıldığında, birinci sırada performansı en iyi olan armatür A10 modeline sahip sokak aydınlatma armatürüdür. Burada çalışmanın sonucu Bütünleşik CRITIC-EDAS yaklaşımı ile benzerlik göstermiştir. İki farklı ağırlık yöntemlerinden farklı sonuçlar elde edilmesine rağmen her iki analiz sonucunda da en iyi performansla sahip armatür A10 modelidir. Performansı en düşük armatür ise A6 modeline sahip armatürdür.

Tablo 25. EDAS ve GİA Sıralama Sonuçları

Alternatifler	EDAS		GİA	
	AS_i	Sıralama	F_{0i}	Sıralama
A1	0	10	0,63388	5
A2	0,110404	9	0,541184	6
A3	0,224885	8	0,477928	7
A4	0,369171	6	0,398195	8
A5	0,465215	5	0,368748	9
A6	0,561258	3	0,347583	10
A7	0,267525	7	0,71194	2
A8	0,488931	4	0,683497	3
A9	0,788967	2	0,677534	4
A10	1	1	0,735515	1

Bütünleşik CRITIC-EDAS ve Bütünleşik ENTROPİ-GİA yaklaşımları ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 25'te çalışmaya eklenmiştir. Her iki analiz sonucunda en yüksek performansı gösteren armatür A10 armatürü olurken, en düşük performansı gösteren armatürler ise CRITIC-EDAS'ta A1 armatürü, ENTROPİ-GİA'da A6 armatürü olmuştur. Veri seti incelendiğinde A10 armatürünün her iki ağırlıklandırma yönteminde en yüksek öneme sahip olan ışık verimliliği ve kullanım ömrü açısından diğer alternatiflerden ayrıldığı ve öne çıktığı bu nedenle elde edilen bu sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Tablo 26. Spearman Sıra Farkları Korelasyon Sonuçları

	EDAS	GİA
EDAS	Spearman	—

		EDAS	GİA
P		—	
GİA	Spearman	0.188	—
P		0.608	—

Not: Korelasyon katsayısı 0,05 hata düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

EDAS ve GİA sıralama sonuçları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacı ile spearman sıra farkları korelasyon testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre EDAS ve GİA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanmamıştır ($0.05 < 0.608$). Sonuçlara ilişkin değerler Tablo 26'da çalışmaya eklenmiştir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Sokak aydınlatma armatürleri, rastgele bir direk üzerinde bulunan ya da herhangi bir bölüme entegre edilerek sabitlenmiş, içerisinde ışık kaynağı bulunan, gündüzleri havanın aydınlık olmadığı durumlarda, geceleri ise sürekli yanan sokakları aydınlatmaya yarayan bir tür aydınlatma aracıdır. Modern sokak aydınlatma armatürleri işiğe duyarlı olmakla birlikte akşam karanlığında veya herhangi bir sis oluşması durumunda kendiliğinden yanmaktadır. Diğer gruptakiler ise insan yönlendirmeleri ile yanıp sönmektedir. Sokak aydınlatma armatürleri hayatımızda önemli bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada herkes tarafından yararlanılan, ortak alanı kapsayan, aydınlatma ihtiyacını karşılayan, önemli bir konu olarak hayatımızda yer edinen sokak aydınlatma konusu bir armatür seçimi temelinde çok kriterli karar verme problem olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan hareketle literatürde sokak aydınlatma armatürlerinin ÇKKV yöntemleri ile performans sıralamasının gerçekleştirilmesi bağlamında çalışmaların azlığı dikkat çekmiştir. Araştırmanın ana hatlarının belirlenmesinin ardından güncel yıla ait katalog arayışına girilmiştir. Fakat güncel tarihli kataloglara doğrudan erişim sağlanamamakla birlikte sadece bir tane katalogun sokak aydınlatma bölümündeki armatürlerine ve özelliklerine ulaşılmıştır. Bu süreç içerisinde başka bir kataloga ulaşılabilmesi çalışmanın tek kısıtını oluşturmasıyla birlikte bu kısıt çalışma akışına etki edecek herhangi bir olumsuz etkiye sahip değildir.

Çalışmada 2023 yılına ait katalogda yer alan 10 sokak aydınlatma armatürünün 4 kriter ile analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yer alan kriterlerden enerji tüketimi ile aydınlatma sistemi fiyatı minimize edilirken ışık verimliliği ile lamba kullanım ömrü maksimize edilerek analize dahil edilmiştir. ÇKKV yöntemlerinden iki tane ağırlıklandırma iki tane sınıflandırma olmak üzere dört yöntemden faydalanılmıştır. Kriterlerin CRITIC ve ENTROPİ yöntemleri ile ağırlıklandırılmasıyla elde edilen bulgulara göre, CRITIC yönteminde en yüksek önem düzeyine sahip kriter ışık verimliliği; ENTROPİ yönteminde ise aydınlatma sistemi fiyatı kriteri olarak belirlenmiştir. Sonuçların bu şekilde çıkması alternatif tercihleri yapılırken CRITIC yönteminde ışık verimliliğinin, ENTROPİ yönteminde ise aydınlatma sistemi fiyatının diğer kriterlere oranla daha etkin rol oynayacağı yönündedir. Ağırlıklandırılan kriterlerin analize dahil edilmesiyle EDAS ve GİA yöntemleri kullanılarak sokak aydınlatma armatürlerinin performans sıralamaları elde edilmiştir. Kriter ağırlıklandırmasında farklı kriterler etkin çıkmasına rağmen her iki performans sıralamasında

da A10 armatürünün yüksek değer farkları ile ilk sırada yer alması oldukça dikkat çekicidir. CRITIC ve ENTROPİ ile ağırlıklandırılmış kriterlerin EDAS ve GİA ile analiz edilmesi sonucunda ortaya çıkan uyum karar vericilerin her iki alternatif yöntemden birini tercih edebileceklerini de göstermektedir. Buradan hareketle analizlerden elde edilen bulguların ışığında, armatür tercihi yapılırken ilk sırada A10 armatürünün değerlendirilmesi yerinde olacaktır. Söz konusu armatürün özellikleri diğer armatürler ile kıyaslandığında ışık verimliliğinin ve kullanım ömrünün yüksek olduğu gözlenmiştir. Fiyatı her ne kadar diğer alternatiflere göre görece yüksek olsa da elde edilen verimlilik en fazla bu armatürde görülmüştür.

Yakın zamanda yayınlanan “Tasarruf Tedbirleri” genelgesinde Enerji ve Su Alımları başlığı altında, “Genel aydınlatmada LED dönüşümü ve diğer tasarruf sağlayıcı tedbirler ivedilikle uygulamaya geçirilecektir” şeklinde bir karar yayımlanmıştır. Bu açıdan elde edilen sonuçların özellikle sokak aydınlatmasında kullanılacak olan armatür seçiminde karar alıcılara yol gösterebileceği düşünülmektedir. Çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak önceliklendirilmiş kriterlere bağlı doğru bir armatür seçimi hem kamu kaynaklarının etkin kullanımını sağlamış olacaktır hem de ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Özellikle büyük şehirlerde yaşayan nüfus ve kent yerleşimi dikkate alındığında sokak aydınlatmaları şehir planmasında öne çıkmaktadır. Kullanılacak olan armatürlerin satın alımında kullanılacak bütçe ve armatürlerin kullanım ömrü de dikkate alındığında en iyi alternatif seçimi noktasında sadece fiyatın değil aynı zamanda enerji verimliliğinin de göz önünde bulundurulması bir zaruriyet oluşturmaktadır.

Bu çalışmada iç pazarda aktif satış yapan bir firmanın ürün ve fiyat kataloğunda yer alan ürün özellikleri kullanılarak bir performans analizi gerçekleştirilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda farklı ürün katalogları üzerinden elde edilen daha kapsamlı veriler kullanılarak ve farklı ÇKKV tekniklerinden yararlanılarak armatür seçimleri gerçekleştirilebilir. Böylece karar vericiler için alternatif markalar dikkate alınarak en iyi alternatifin belirlenmesi sağlanabilecektir.

Kaynakça

[1]Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. Encyclopedia, 3(1), 77-87.

[2]Göktaş, F., & Güçlü, F. (2024). Yeni Bir Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı “Olabilirlik Değerlendirme Sistemi”: Katılım Fonları Üzerine Bir Uygulama. Black Sea Journal of Engineering and Science, 1-2.

[3]Uzun S. ve Kazan H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması. Journal of Transportation and Logistics, 1(1), 99-113.

[4]Ultrapak, (2023). “Sürdürülebilirlik”, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/verimlilik/writing-rules> (Erişim tarihi: 28.12.2023).

[5] Silva, J., Mendes, J. F. G., & Silva, L. T. (2010). Assessment of energy efficiency in street lighting design. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 129, 705-715.

[6]Galasiu, A. D., Newsham, G. R., Suvagau, C., & Sander, D. M. (2007). “Energy Saving Lighting Control Systems For Open-Plan Offices: A Field Study”, Leukos, 4(1), 7-29.

[7]Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., & Cengiz, M. S. (2013). “Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri”, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 141-147.

[8]Lau, S. P., Merrett, G. V., Weddell, A. S., & White, N. M. (2015). “A Traffic-Aware Street Lighting Scheme For Smart Cities Using Autonomous Networked Sensors”, Computers & Electrical Engineering, 45, 192-207.

[9]Çelik, K. (2016), “Enerji Verimliliği İçin Bir Merkezden Kontrollü Sokak Aydınlatma Sisteminin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[10]Demirtaş, M. ve Çelik, K. (2017). “Pv Beslemeli Led Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Panel Gücü Ve Akü Ömrü Üzerine Etkisi”, Gazi University Journal Of Science Part C: Design And Technology, 5(2), 257-270.

[11]Perdahçı, C. (2018). “Metal İşleme Tesis Aydınlatmasında Led Lamba Ve Floresan Lamba Karşılaştırılması”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(3), 105-113.

[12]Özçelik, M. A., & Yılmaz, M. (2019). “Gün Işığı Alan Mekanda Önerilen Bölgesel Kontrollü Akıllı Led Sistem İle Flüoresan Ve Normal Led Aydınlatmanın Karşılaştırılması”, El-Cezeri, 6(2), 270-281.

[13]Akyazı, Ö., Şahin, E. ve Kahveci, D. C. (2019). “Fotovoltaik Panel Ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması”, European Journal of Science and Technology, (Özel Sayı), 356-360.

[14]Yılmaz, E., Erden, O., & Kocadağ, N. (2019). “Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(3), 280-289.

[15]Pektekin, M. B. (2019). “Akıllı Şehirler ve Malatya'nın Akıllı Bir Şehir Olması İçin Öneriler” Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

[16]Kocaman, B. (2020). “Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve Led Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması”, Journal Of The Institute Of Science And Technology, 10(3), 1640-1648.

[17]İbrahim, A. H., Alharbi, F. A., Almoshaogeh, M. I., & Elmadina, A. E. M. (2020). “Literature Review And A Conceptual Research Framework Of Adaptive Street Lighting Criteria”, Engineering, Technology & Applied Science Research, 10(4), 6004-6008.

[18]Mitre-Becerril, D., Tahamont, S., Lerner, J., & Chalfin, A. (2022). “Can Deterrence Persist? Long-Term Evidence From A Randomized Experiment In Street Lighting”, Criminology & Public Policy, 21(4), 865-891.

[19]Hossain, J., Algeelani, N. A., Al-Masoodi, A. H., & Kadir, A. F. A. (2022). “Solar-Wind Power Generation System For Street Lighting Using Internet Of Things”, Indonesian Journal Of Electrical Engineering And Computer Science, 26(2), 639-647.

- [20]Nugraha, I. M. A., & Desnanjaya, I. G. M. N. (2023). "Technical, Economic And Social Feasibility Of Using Solar Street Lighting On Campus", *International Journal Of Power Electronics And Drive Systems (Ijped)*, 14(3), 1731-1738.
- [21]Bajis, D., Al-Haqan, A., Mhlaba, S., Bruno, A., Bader, L., & Bates, I. (2023). "An Evidence-Led Review Of The FIP Global Competency Framework For Early Career Pharmacists Training And Development", *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 19(3), 445-456.
- [22]Cumhurbaşkanlığından Tasarruf Tedbirleri Genelgesi. (27 Mayıs 2024). Resmi Gazete (Sayı: 32549). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/05/20240517-5.pdf>. (Erişim tarihi: 20.05.2024).
- [23]Chowdhury, P., & Paul, S. K. (2020). "Applications Of Mcdm Methods In Research On Corporate Sustainability: A Systematic Literature Review", *Management Of Environmental Quality: An International Journal*, 31(2), 385-405.
- [24]Arslankaya, D. ve Göraltay, K. (2019). "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar", İksad Yayınevi, Adıyaman.
- [25]Demir, G., ve Kartal, M. (2020). "Güncel Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri", Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- [26]Karbassi Yazdi, A., Tan, Y., Birau, R., Frank, D., & Pamučar, D. (2024). Sustainable solutions: using MCDM to choose the best location for green energy projects. *International Journal of Energy Sector Management*.
- [27]Chejarla, K. C., Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2022). MCDM applications in logistics performance evaluation: A literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 29(3-4), 274-297.
- [28]Sahoo, S. K., Goswami, S. S., & Halder, R. (2024). Supplier selection in the age of industry 4.0: a review on MCDM applications and trends. *Decision Making Advances*, 2(1), 32-47.
- [29]Touti, E., & Chobar, A. P. (2020). Utilization of AHP and MCDM integrated methods in urban project management (A case study for eslamshahr-tehran). *International journal of industrial engineering and operational research*, 2(1), 16-27.
- [30]Baydaş, M., & Elma, O. E. (2021). An objective criteria proposal for the comparison of MCDM and weighting methods in financial performance measurement: An application in Borsa İstanbul. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 257-279.
- [31]Łuczak, A., & Just, M. (2020). A complex MCDM procedure for the assessment of economic development of units at different government levels. *Mathematics*, 8(7), 1067.
- [32]Zolfani, S. H., Görener, A., & Toker, K. (2023). A hybrid fuzzy MCDM approach for prioritizing the solutions of resource recovery business model adoption to overcome its barriers in emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137362.
- [33]Keleş, M. K., Işıldak, B., & Özdağoğlu, A. Pazarlama Karması Bileşenlerinin Dematel Yöntemiyle Analiz Edilmesi: Havayolu Sektöründe Bir Uygulama. *Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi*, 5(11), 16-28.
- [34]Krishnan, A. R., Kasim, M. M., Hamid, R., & Ghazali, M. F. (2021). "A Modified Critic Method To Estimate The Objective Weights Of Decision Criteria", *Symmetry*, 13(6), 973.
- [35]Pan, B., Liu, S., Xie, Z., Shao, Y., Li, X., & Ge, R. (2021). "Evaluating Operational Features Of Three Unconventional Intersections Under Heavy Traffic Based On Critic Method", *Sustainability*, 13(8), 4098.
- [36]Arsu, T. ve Ayçin, E. (2021). "Evaluation Of Oecd Countries With Multicriteria Decision-Making Methods In Terms Of Economic, Social And Environmental Aspects", *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(2), 55-78.
- [37]Žižović, M., Miljković, B., & Marinković, D. (2020). "Objective Methods For Determining Criteria Weight Coefficients: A Modification Of The Critic Method". *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 149-161.
- [38]Zhang, N., Su, W., Zhang, C., & Zeng, S. (2022). "Evaluation And Selection Model Of Community Group Purchase Platform Based On Weplpa-Cpt-Edas Method", *Computers & Industrial Engineering*, 172(A), 108573.
- [39]Priandika, A. T., & Wahyudi, A. D. (2022). "Decision Support System For Determining Exemplary Employees Using The Evaluation Method Based On Distance From Average Solution (EDAS)", *Jurnal Ilmiah Computer Science*, 1(1), 17-30.
- [40]Akram, M., Ramzan, N., & Deveci, M. (2023). Linguistic Pythagorean fuzzy CRITIC-EDAS method for multiple-attribute group decision analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119, 105777.
- [41]Eskov, V. M., Eskov, V. V., Vochmina, Y. V., Gorbunov, D. V., & Ilyashenko, L. K. (2017). "Shannon Entropy In The Research On Stationary Regimes And The Evolution Of Complexity", *Moscow University Physics Bulletin*, 72, 309-317.
- [42]Tepeli, Y., & Özkoç, H. (2020). "An Evaluation Of Alternative Methods For Financial Performance: Evidence From Turkey (Istanbul Stock Exchange)", *International Journal Of Contemporary Economics And Administrative Sciences*, 10(2), 356-377.
- [43]Ayçin, E. ve Güçlü, P. (2020). "Bıst Ticaret Endeksinde Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi Ve Marjca Yöntemleri İle Değerlendirilmesi", *Muhasebe Ve Finansman Dergisi*, (85), 287-312.
- [44]Mukhametzyanov, I. (2021). "Specific Character Of Objective Methods For Determining Weights Of Criteria In Mcdm Problems: Entropy, Critic And Sd". *Decision Making: Applications In Management And Engineering*, 4(2), 76-105.
- [45]Liu, H. C., Wang, L. E., You, X. Y., & Wu, S. M. (2019). "Failure Mode And Effect Analysis With Extended Grey Relational Analysis Method In Cloud Setting", *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(7-8), 745-767.
- [46]Arslan, E. (2022). "Bıst Kayseri Endeksinde (Xskay) Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi ve Gri İlişki Analizi (Gıa) Yöntemleriyle

Değerlendirilmesi”. Turizm Ekonomi Ve İşletme Araştırmaları Dergisi, 4(2), 117-132.

- [47]Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). “The Use Of Grey Relational Analysis In Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems”, Computers & Industrial Engineering, 55(1), 80-93.