

Makalenin Türü : Araştırma Makalesi
Geliş Tarihi : 11.11.2024
Kabul Tarihi : 02.02.2025



<https://doi.org/10.29029/busbed.1583085>

HASTANELERDE KULLANILAN GÜNEŞ PANELLERİNİN VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASINA YÖNELİK ÖNCELİKLİ STRATEJİLERİN FERMATEAN BULANIK DEMATEL YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Yaşar GÖKALP¹

ÖZ

Hastaneler, enerji tüketiminin en yüksek olduğu binaların başında gelmektedir. Sunulan hizmetin kendine has kesintisizlik ve ertelenememe gibi özellikleri nedeniyle hizmetin sürdürülebilir şekilde sağlanması önem taşımaktadır. Ayrıca, sağlık hizmetlerinin 7/24 sunulması, hastanelerdeki enerji tüketiminin boyutu gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda, hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğinin artırılmasının gerekliliği kaçınılmazdır. Buna yönelik olarak, literatür tabanlı belirlenen hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen kriter seti oluşturulmuştur. Fakat, hastane yönetiminin bu kriterler tamamına aynı anda müdahale etmesi mümkün olmadığından fermatean bulanık DEMATEL yönetimi ile ağırlıklandırma yapılmıştır. Buna göre, hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen en önemli husus panellerin malzeme ve teknolojisi olarak bulunmuştur. Yapılan analiz sonuçları, en önemli ikinci kriterin ise enerji depolama sistemleri olduğunu göstermektedir. Süreci en az etkileyen kriter ise çevresel faktörlerdir. Buna göre, gerekli teknolojik yatırımların yapılması ve güncel teknolojilerin kullanılması enerji verimliliğini artıracaktır. Ayrıca, güneş enerji panellerine sahip olmanın yanında depolama sistemlerinin kullanılması enerji verimliliğine katkı sağlayacaktır. Otomatik temizlik sistemlerinin kullanılması, su püskürtmeli ya da otomatik fırçalı temizlik sistemlerinin kullanılması somut adımlar olarak addedilebilir. Ayrıca, teknoloji kullanımı çerçevesinde güneş enerji sistemlerini izleyen ve optimize eden akıllı enerji yönetim yazılımlarının kullanılması faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hastane, Hastane Yönetimi, Güneş Enerjisi, Verimlilik, DEMATEL

¹ Arş. Gör. Dr. İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Yönetimi Bölümü, ygokalp@medipol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3390-4597>

Article Type : Research Article
Date Received : 11.11.2024
Date Accepted : 02.02.2025



 <https://doi.org/10.29029/busbed.1583085>

DETERMINATION OF PRIORITY STRATEGIES FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS USED IN HOSPITALS USING THE FERMATEAN FUZZY DEMATEL METHOD

Yaşar GÖKALP¹

ABSTRACT

Hospitals are among the buildings with the highest energy consumption. Due to the unique characteristics of the service, such as uninterrupted and non-delayable ones, it is important to provide the service sustainably. In addition, the fact that health services are provided 24/7 reveals the extent of energy consumption in hospitals. In this context, the efficiency of solar energy panels used in hospitals will inevitably be increased. For this purpose, a set of criteria affecting the efficiency of solar energy panels used in hospitals has been established based on the literature. However, since the hospital management can't intervene in all of these criteria simultaneously, weighting was made with fermatean fuzzy DEMATEL. Accordingly, the most important issue affecting the efficiency of solar energy panels used in hospitals was found to be the material and technology of the panels. The results of the analysis show that the second most important criterion is energy storage systems. The criterion that affects the process the least is environmental factors. Accordingly, making the necessary technological investments and using up-to-date technologies will increase energy efficiency. In addition to having solar energy panels, the use of storage systems will contribute to energy efficiency. The use of automatic cleaning systems, water spray, or automatic brush cleaning systems are added as concrete steps.

Keywords: Hospital, Hospital Management, Solar Energy, Efficiency, DEMATEL

¹ Res. Asst. Dr. Istanbul Medipol University, Faculty of Health Sciences, Department of Health Management, ygokalp@medipol.edu.tr, 
<https://orcid.org/0000-0002-3390-4597>

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji üretiminin temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Elkhatat ve Al-Muhtaseb, 2023). Nitekim, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından biri enerji verimliliğidir. Enerji verimliliği, bu amaçlardan Erişilebilir ve Temiz Enerji ve İklim Eylemi ile doğrudan ilişkilidir. Enerji verimliliği, sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlayan temel bileşenlerden biri olarak nitelenmektedir (Yan vd., 2024). Ayrıca, doğal kaynakların korunması ile enerji verimliliği doğrudan ilişkilidir. Ek olarak, Türkiye gibi kendi enerjisini tükettiği kadar üretemeyen ülkeler açısından enerji bağımsızlığın sağlama adına da önem taşır (Yalçın ve Doğan, 2023). Enerji verimliliği, enerji tasarrufu sağlamanın yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasını da desteklemektedir (Bozkaya ve Duran, 2024). Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyeti oldukça yüksektir. Yatırımcılar maliyetin yüksek olmasından dolayı, bu tür yatırımlara karar verirken yatırımların geri dönüş hızını dikkate alabilmektedirler. Yatırımların geri dönüş hızını etkileyen bir faktör, yenilenebilir enerji üretimindeki verimliliklerdir. Verimliliği yüksek olan sistemlerde üretilen miktar çok fazla getiri sağlayacaktır. Güneş enerjisi, elektrik enerjisinin elde edilmesinde, güneşten gelen ışınlarındaki enerjinin güneş panelleri yardımıyla absorbe edilmesi ile elde edilir (Ummah vd., 2021). Güneş enerjisi üretiminde kullanılan panellerin kalitesi, malzemesi ve teknolojisi değişkenlik göstermekle birlikte coğrafi ve çevresel faktörler de etkili olabilmektedir. Buna ek olarak, binaya veya çevreye yerleştirilen panelin eğimi, aldığı güneş ışığı miktarı, iletimindeki yalıtım ve tasarım da enerjideki verimliliği değiştirebilmektedir.

Hastaneler, enerji kullanımının boyutu düşünüldüğünde en fazla enerji tüketen binaların başında gelmektedir (Gökarp ve Eti, 2025). Bu hususa, verilen sağlık hizmetinin niteliği de eklenince, hastanelerdeki enerji üretimi, tüketimi ve dağıtımı ayrıca önemli hale gelmektedir. Sunulan hizmetler, ertelenemez niteliktedir. Ayrıca, olası bir aksaklık insan hayatı ile sonuçlanabilmektedir. Ek olarak, hastaneler 7/24 hizmet veren kurumlardır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında, tüketilen enerji boyutunun ne kadar yüksek olduğu görülmektedir (Dinçer ve Gökarp, 2024). Hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğini birçok faktör etkilemektedir. Güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen başlıca faktörler; güneş panellerinin kalitesi, eğim, teknolojik altyapıdır. Öncelikle, teknolojik gelişmişlik, güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen önemli bir husustur. Yeni/güncel teknolojilerin kullanılması ile enerji üretimindeki kayıpların azaltılması/minimuma indirilmesi mümkündür (Semai ve Bouhdjar, 2023). Ek olarak, güneş panellerinin açısı, bakımı ve temizliği de sistemin verimliliği üzerinde etkilidir. Söz konusu panellerin bakımı ve temizliği hem sistemin uzun süre kullanımını hem sürdürülebilirliğini hem de güneş ışınlarının absorbe edilmesinde verimliliği pozitif etkilemektedir (Kumar ve Rajan, 2023; Adekanbi vd., 2023).

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik, günümüzde tüm sektörlerde bir odak haline gelmiştir. Birçok uluslararası girişim, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedefine ulaşmak amacıyla çeşitli stratejiler geliştirmektedir. Birleşmiş Milletler (BM), bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma hedeflerini yayınlamıştır. Yayınlanan hedefler, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için yenilenebilir enerji kullanımının önemini vurgulamaktadır (Birleşmiş Milletler, 2015). Ek olarak, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı da enerji verimliliğini sağlamaya yönelik politikalar uygulamaktadır. Uygulanan bu politikalar ile hastanelerde kullanılan enerji kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır (Bayraktar ve Şener, 2021). Güneş enerji panellerinin verimliliğinin artırılması veya israfın azaltılması, sistemlerin performansı için, dolayısıyla hastaneler için önemlidir (Gökarp ve Eti, 2024). Bu bağlamda, kullanıcıların ve hastane yönetiminin gerekli önlemleri alması hayati önem taşımaktadır. Burada önemli nokta, alınacak aksiyonların aynı zamanda birer maliyet doğurmasıdır. Bu maliyetlerin yüksek olması, kullanıcıları ve hastaneleri maddi açıdan sıkıntıya sokabilmektedir (Dinçer vd., 2024). Bu çalışmanın önemli bir katkısı, güneş enerji panellerinin verimliliği artıracak aksiyonları, finansal durum ve zaman kısıtlamaları göz önünde bulundurularak önceliklendirmesidir. Bu, sağlık sektöründe maliyetleri optimize ederken aynı zamanda enerji verimliliğini artırmaya yönelik somut çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Bu anlamda, geniş bir perspektif ile bir analiz yapılması ve bu sorunu en fazla etkileyen hususların belirlenmesi gerekmektedir. Ancak literatürde bu hususlara yönelik öncelik analizi gerçekleştiren çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bunun yanında, güneş enerji verimliliğini hastaneler özelinde değerlendiren çalışmalar da kısıtlıdır. Nourdine ve Saad (2021), Fas'taki sağlık binalarında enerji verimliliğini incelemiş ve hastanelerin enerji tüketiminin toplamın önemli bir kısmını oluşturduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Mtioui vd., (2020) Almanya'daki hastanelerin enerji tüketim verilerini analiz etmişlerdir. Ancak, bu çalışmaların çoğu sadece genel enerji tüketimini ele almakta ve güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğine yönelik özgül bir inceleme yapmamaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, hastanelerde güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen temel faktörlerin etki-ilişki haritasını çıkarmaktır. Etki-ilişki haritası, güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen faktörler arasındaki ilişkileri görsel olarak ortaya koyar. Literatürde genellikle bu faktörler bağımsız olarak ele alınmakta, ancak etkileşimleri genellikle göz ardı edilmektedir. Bu harita, faktörler arasındaki ilişkileri netleştirerek, hastane yönetimlerinin güneş enerjisi sistemleri için daha etkili stratejiler geliştirmesine yardımcı olacaktır. Literatürde,

özellikle sağlık sektöründe, güneş enerji panellerinin verimliliğini artıran faktörlerin kapsamlı bir şekilde incelenmediği ve mevcut çalışmaların çoğunun belirli ürünler veya ARGE odaklı olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, çalışmamız literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Bunun yanında, hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin tamamına aynı anda müdahale etmek pek mümkün değildir. Aynı anda müdahale etmek hem zaman hem de finansal açıdan hastane yönetimini zor duruma düşürecektir. Buna bağlı olarak, güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen kriterlerin önem derecesine göre ağırlıklandırılarak süreci en fazla etkileyen kriterin bulunması önem taşımaktadır. Bu süreçte fermatean bulanık sayı DEMATEL yöntemi kullanılarak, hastanelerde kullanılan güneş enerji sisteminin verimliliğini etkileyen hususlar ağırlıklandırılır. Bu çalışmanın temel motivasyonu, güneş enerjisi panellerindeki verimliliği arttıracak hususların belirlenmesine yönelik modelin oluşturulması gerektirir. Bu durumun temel nedeni literatürdeki çalışmalar ürün bazlı veya ARGE üzerine odaklanan çalışmalara öncelik vermesidir. Bu kapsamdaki en önemli eleştirilerden biri de sadece bir veya birkaç hususa odaklanılmasıdır. Ancak güneş panellerinin verimliliği hususunda kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu eksiklik dikkate alınarak bu çalışmada bütüncül bir yaklaşım sunulmuştur.

1.2. Araştırmanın Önemi

Çalışmanın ana vurguları şu şekilde özetlenebilir: (i) Analiz sonuçları, önemli faktörlerin belirlenmesine olanak sağlayacaktır. Böylelikle, maliyet oluşturan faktörler arasında verimliliği en çok artıracak husus belirlenebilecektir. Hastaneler tarafından güneş enerjisi sistemleri için belirlenen bütçe doğru ve faydalı olarak planlanabilecektir. (ii) DEMATEL yöntemi dikkate alındığında bazı önemli avantajlar da sağlanmaktadır. Bu yöntem yardımıyla kriterler arasındaki nedensellik belirlenebilmektedir. Verimliliğin temel faktörleri birbiri üzerinde etkili olabilirler. Böylece nedensel yönlerin değerlendirilmesi daha uygun çözümlere ulaşmaya yardımcı olabilir. (iii) Önerilen modelde, Fermatean bulanık sayılar analiz sürecine dahil edilmiştir. Fermatean sayılarının en büyük avantajı, çok geniş değerlendirme kanallarını kapsamasıdır. Yani, fermatean sayılar ile uzmanların değerlendirme ihtiyaçlarının daha iyi karşılanabilmesidir. (iv) Hastaneler özelinde güneş enerji panellerinin verimliliğini inceleyen bir çalışmaya literatürde ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan verimlilik çalışmalarının sektörler özelinde gerçekleştirilmesi daha doğru sonuçlara ulaşılmasına olanak sağlayacaktır.

Bir sonraki bölümde literatür taramasına yer verilecektir. Üçüncü bölüm kullanılan yönteme ait detayları içermektedir. Analiz sonuçları dördüncü bölümde paylaşılacaktır. Son bölümde ise, tartışma ve sonuç hakkında bilgiler verilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Hastanelerdeki güneş enerjisi sistemlerindeki verimliliği etkileyen faktörlerden biri, güneş panellerinin yapıldığı malzeme ve kullanılan teknolojidir. Güneş panellerinde kullanılan malzeme ve teknoloji, elde edilecek enerjinin verimliliğini etkilemektedir. Yeni teknolojiler ve daha verimli malzemeler, güneş paneli performansını artırmaktadır (Vijayan vd., 2023; Al-Shahri vd., 2021). Güneş panelinde güncel teknolojik materyallerin kullanımının üretilen enerji miktarında %15 oranında verimlilik sağladığı belirtilmektedir (Carmona vd., 2021; Al-Shahri vd., 2021). Batista da Silva vd., (2021) yaptıkları çalışma ile panellerdeki kaplama şeffaflığının güneş pili verimliliğini etkilediğini göstermiştir. Benzer şekilde Shahdabadi vd., (2023) yaptıkları çalışma sonucunda demir cevherinin verimlilikte etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Hastanelerde kullanılan güneş enerjisi verimliliğini artıran bir diğer faktör ise panellerin bakımı ve temizliğinin periyodik olarak yapılmasıdır. Zaman içerisinde, panel yüzeyinde biriken toz, kir veya kuş gibi canlı dışkıları elde edilecek enerji miktarını ciddi oranda düşürebilmektedir. Panellerin düzenli olarak temizlik ve bakımlarının yapılması, güneş ışığından faydalanma süresini uzatacağından dolayı enerji verimliliğinin sağlanmasına da katkı sunar (Guo vd., 2021; Hou vd., 2023). Güneş panel sistemlerinin yıllık bakım ve onarımlarının periyodik olarak düzenli yapılması ile verimliliği önemli derecede arttırdığı tespit edilmiştir (Murugan vd., 2023; Zhang vd., 2023). Ürdün şehrindeki Necaşı camisinde kullanılan otomatik temizlik panelinin üretilen enerjideki verimliliği artırdığı tespit edilmiştir (Myyas vd., 2022). Benzer şekilde, Xie vd., (2023) oksidanları ve mikro kirleticileri sistemden arındırmak ve bakterileri etkisiz hale getirmenin güneş panel sistemlerinde gözden kaçırılmaması gereken husus olduğunu belirtmişlerdir.

Depolama sistemleri de hastanelerdeki güneş enerji sistemlerinde elde edilen enerjinin israf edilmemesinde etkili bir diğer husustur. Depolama sistemlerinin kullanılması, güneş ışığının olmadığı zamanlarda enerji tüketiminin devamlılığını sağlar. Fakat, depolama sürecindeki enerji kayıplarının da enerji verimliliği için dikkate alınması gerekmektedir (Afshari vd., 2024; Tony, 2021). Sanal depolama sistemleri ile önerilen kolektör ile verimlilik artırılabilirdi (Gao vd., 2023) ve depolama sistemlerindeki malzeme kalitesi ile depolama verimliliği (Niu vd., 2022) sağlanabileceği gösterilmiştir. Fan vd., (2021) CuS-GO nano dönüştürücüler ile depolama verimliliğini %97,1'e kadar ulaştırabildiklerini ve böylelikle güneş enerji sisteminde verimlilik sağlanabildiğini göstermişlerdir.

Bir diğer güneş enerji sistemlerinin verimliliğini etkileyen faktör, güneş ışığının yoğunluğu ve süresidir. Güneş panellerinin verimliliği, güneş ışığına maruz kalma düzeylerine bağlıdır. Mevsimler, hava durumu, güneşin konumu gibi faktörler, güneş ışığının yoğunluğunu ve süresini etkileyerek enerji verimliliğinde etkili olabilmektedir (Filiz vd., 2023; Yang vd., 2023). İran'daki güneş radyasyonunun yoğunluğunu tahmin etmek için geliştirilen yapay zekâ modeli ile panellerin eğimi ayarlanabildiği ve böylelikle %24'e kadar yoğunluğun artırılabilirdiği gösterilmiştir (Fathi vd., 2021). Kambezidis vd., (2023) Yunanistan örneğinde, açık gökyüzü koşullarında güneş enerjisi toplamalarının dağılımını içeren bir yenilik ortaya koymuşlardır. Alıcı vd. (2021) güneş takipli sistemlerin sabit açılı güneş sistemlerine göre yüksek güçlü güneş santralleri için etkililiğinin yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Sağlık sektöründe enerji verimliliği hem maliyet tasarrufu sağlama açısından hem de çevresel etkileri minimize etmek açısından kritik bir önem taşımaktadır. Enerji verimliliği uygulamaları, hastanelerde enerji tüketimini optimize etmek adına önemli yol haritaları sunmaktadır. Sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik aksiyon alınması, enerji verimliliği ve karbon salınımının azaltılmasına da katkı sağlamaktadır (Hohne vd., 2020). Sağlık kuruluşlarında enerji verimliliği uygulamaları, yenilenebilir enerji entegrasyonu ile güçlendirilebilmektedir (Vaziri vd., 2020). Yenilenebilir enerjinin sağlık hizmetlerine entegre edilmesi, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlarken enerji maliyetlerinin yönetilmesine de katkı sağlar (Vavili ve Kyrkou, 2020). Dolayısıyla, enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji yönetimi uygulamaları, sağlık sektöründeki kaynakların etkin kullanımı adına kritik bir role sahiptir.

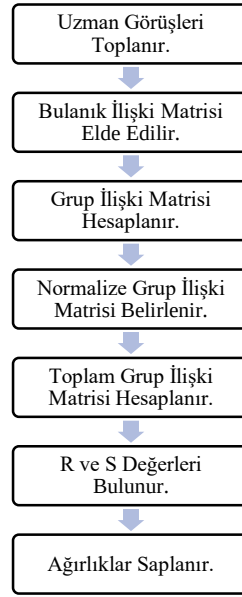
Literatürde, hastane ve enerji verimliliği ile ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur. Ancak, bu çalışmalar, çoğunlukla durumun önemini vurgulayan niteliktedir. Hama Rahda (2023), hastanelerdeki yeşil iyileştirme uygulamalarının enerji verimliliği ile olan ilişkisini incelemektedir. Sistematik derleme şeklinde yapılan araştırmanın sonuçları, hastanelerde yeşil iyileştirme stratejilerinin giderek arttığını göstermektedir. Dion vd., (2023), hastanelerde sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği yönetimi için bir yol haritası önermek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Hastanelerde enerji verimliliği sağlanabilmesinin en ideal yolunun ISO 50001 enerji yönetim sistemleri ile önerilen yönergelerin bütünleştirilmesi olduğunu savunmaktadır. As ve Bilir (2023), hastanelerde karbon emisyonunu azaltırken enerji verimliliği ve maliyet etkinliği artırmanın yollarını araştırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının enerji tüketimini %57, maliyetleri %16 ve karbon emisyonunu %26 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Özetle, bireysel kullanım ile güneş enerji sistemlerinin verimliliği artırılabilir ve bu durum enerji kaybını veya enerji israfını en aza indirmeye yardımcı olabilir. Buna ek olarak, güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanabilir. Ayrıca, güneş enerjisi sisteminin kurulum maliyeti, minimum sürede amorti edilebilir. Literatür incelemesinden çıkan bir diğer önemli sonuç ise uygulanacak stratejilerin maliyetleri arttıracaktır. Dolayısıyla, güneş enerji sistemlerinin verimliliğini artıracak aksiyonlar bireysel kullanıcılar için yeni maliyetler yaratmaktadır. Bu maliyetlerin aşırı yüksek olması bireyleri mali açıdan sıkıntıya sokmaktadır. Bu sorun nedeniyle güneş enerji sistemlerinin verimliliğini arttırmak için aksiyon alırken finansal konuların da dikkate alınması gerekmektedir. Ancak literatürde bu faktörlere yönelik öncelik analizi yapan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Literatürdeki bu boşluğun doldurulması amacıyla, bulanık karar verme yöntemi ile güneş enerji sistemlerinin verimliliğini artıran faktörlerin etki-ilişki haritası özelinde tanımlamaya çalışmaktadır. Bu çalışma, hastaneler özelinde yapılarak hastanelere strateji önerileri sunmayı amaçlamaktadır.

3. YÖNTEM

Hastanelerde kullanılan güneş panellerinin verimliliğini arttıran faktörlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi bu çalışmanın temel amacıdır. Bu amaç doğrultusunda, literatürden belirlenen kriter seti dikkate alınır. Bu kriterlerden hangilerine öncelik verilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Kriter önceliğinin belirlenmesi için DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. DEMATEL yöntemi uzman görüşlerini baz alan subjektif bir ağırlıklandırma yöntemi olmasından dolayı, dilsel ifadelerdeki belirsizliğin analizde dahil edilmesi gerekmektedir. Dilsel ifadelerdeki belirsizliğin dikkate alınarak analizlerin daha gerçek dünyaya yakın olması istendiğinden Fermatean bulanık sayılar dikkate alınmıştır. Fermatean bulanık sayılar, belirsizlik ve dilsel ifadelerin daha geniş bir yelpazede ele alınabilmesini sağlayan özellikleri ile diğer mevcut fuzzy setlerden farklılık göstermektedir. Literatürde pek çok fuzzy set yöntemi bulunmaktadır; ancak Fermatean seti, çok daha geniş değerlendirme kanalları sunarak uzman görüşlerinin daha doğru bir şekilde analiz edilmesini mümkün kılar. Özellikle, dilsel ifadelerdeki belirsizliklerin daha net bir şekilde modellenmesine olanak tanıyan yapısı, bu çalışmanın gereksinimleriyle uyumludur. Bu nedenle, analizlerin daha gerçek dünyaya yakın ve doğru sonuçlar vermesi adına Fermatean bulanık seti tercih edilmiştir. Bu seçim, verilerin belirsizliğini daha iyi yansıtmak ve sistemin verimliliğini etkileyen faktörlerin etkileşimlerini doğru bir şekilde değerlendirebilmek için yapılmıştır. Böylelikle, DEMATEL yöntemi ile elde edilen sonuçların daha doğru olması sağlanabilecektir. Bu çalışmada önerilen modele ait süreç Şekil 1'de özetlenmiştir.

Şekil 1: Model Akışı



3.1. Fermatean Bulanık DEMATEL

DEMATEL yöntemi, kriterler arasındaki etki-tepki ilişkisini dikkate alarak önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir. DEMATEL'in en temel avantajı, kriterler arası etki-tepki grafiğinin çizilmesi ve yorumlanabilmesidir. DEMATEL yönteminin diğer ağırlıklandırma yöntemlerine göre avantajı, kriterler arasındaki etkileşime önem vermesidir. Çünkü, belirlenen kriterler arasında bir ilişki mevcuttur. Bu kriterler tamamen birbirinden ayrık şekilde düşünülemez. Dolayısıyla, bu etkileşimin dikkate alınması gerekir. DEMATEL yöntemi, sağladığı bu avantaj nedeniyle tercih edilmiştir. Bu yöntem Fermatean sayılar ile entegre edilerek uygulanmıştır. Bulanık sayılardaki temel hedef, dilsel ifadelerdeki belirsizliği analiz ederek daha gerçekçi sonuçlar elde etmektir. Bu bağlamda, bulanık mantık içerisinde birden fazla küme tanımlanmıştır. Bu kümelerin birbirlerine göre farklı üstünlükleri mevcuttur. Fermatean sayılar, uzmanlardan görüş alırken daha geniş bir yelpaze sunması ve daha esneklik sağlaması nedeniyle sonuçların daha doğru olmasına olanak sağlar. Dolayısıyla, sonuçların daha geçerli olması için Fermatean sayılar tercih edilmiştir. DEMATEL yönteminin Fermatean bulanık sayılar ile entegre edilmiş versiyonun detayları aşağıda verilmiştir.

Adım 1'de, k adet uzmandan kriterleri karşılıklı görüşlerine ait değerlendirmeleri dilsel ifadeler ile alınır. Uzmanlar, sağlık sektöründe en az 10 yıllık yöneticilik tecrübesine sahip kişilerden seçilmiştir. Değerlendirmeleri ise hastaneler özelinde yapmaları talep edilmiştir. Daha sonra uzman değerlendirmeleri Tablo 1'deki dilsel ifadelerle karşılık gelen bulanık sayılara çevrilir (Gonzales vd., 2022).

Tablo 1. Dilsel ifadeler

Dilsel İfade	Bulanık Sayılar (μ, ν)
Yok	(0,0,1,0)
Çok Düşük	(0,1,0,75)
Düşük	(0,4,0,5)
Yüksek	(0,7,0,2)
Çok Yüksek	(0,9,0,1)

Adım 2, Fermatean bulanık direkt ilişki matrisinin elde edilmesini içerir. Fermatean bulanık direkt ilişki matrisi (D), bulanık uzman görüşlerinin Eşitlik (1) ile ortalamalarının alınması ile elde edilir. Fermatean bulanık direkt ilişki matrisi Eşitlik (2) ile temsil edilir. Adım 6'da, toplam grup ilişki matrisinin satır toplamı (R) ve sütun toplamı (S) bulunur. Bu iki toplam işlevi, Eşitlik (8) ve (9) ile formüle edilmiştir.

$$FDAO = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=1}^k (\mu_i, \nu_i) \quad (1)$$

$$D = \begin{bmatrix} - & \cdots & (\mu^D_{1n}, v^D_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu^D_{n1}, v^D_{n1}) & \cdots & - \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 3 ile grup ilişki matrisi Eşitlik (3) ile hesaplanır. Diğer bir ifade ile, skor fonksiyonu yardımıyla bulanık direkt ilişki matrisinin değerleri durağanlaştırılmış olur (Huang, Huang, Lo ve Thai, 2023).

$$\varphi_{ij} = 1 + (\mu^D_{ij})^3 - (v^D_{ij})^3 \quad (3)$$

Eşitlik (3) ile hesaplamanın sonucunda Eşitlik (4)'te gösterilen grup ilişki matrisi (φ) elde edilir.

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \cdots & \varphi_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{n1} & \cdots & \varphi_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 4'te normalize grup ilişki matrisi belirlenir. Eşitlik (5)-(6) kullanılarak grup ilişki matrisi normalize edilir.

$$\gamma = \begin{bmatrix} \varepsilon \cdot \varphi_{11} & \cdots & \varepsilon \cdot \varphi_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon \cdot \varphi_{n1} & \cdots & \varepsilon \cdot \varphi_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\max(\sum_{i=1}^n \varphi_{ij}, \sum_{j=1}^n \varphi_{ij})} \quad (6)$$

Adım 5, toplam grup ilişki matrisinin (T) Eşitlik (7) yardımıyla hesaplanmasını ile ilgilidir. Eşitlik (7)'deki I, n boyutlu birim matrisi ifade eder.

$$T = \gamma + \gamma^2 + \gamma^3 + \cdots + \gamma^\infty = \gamma(I - \gamma)^{-1} \quad (7)$$

Adım 6'da, toplam grup ilişki matrisinin satır toplamı (R) ve sütun toplamı (S) bulunur. Bu iki toplam işlevi, Eşitlik (8) ve (9) ile formüle edilmiştir.

$$R_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (8)$$

$$S_i = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]' \quad (9)$$

Adım 7'de kriter ağırlıkları (w) saplanır. Kriterlerin önem ağırlıkları için toplam grup ilişki matrisinin satır toplamı ve sütun toplamı değerlerinin toplamı dikkate alınır. Eşitlik (10) ile, kriter ağırlıkları hesaplanır.

$$w_i = \frac{R_i + S_i}{\sum_{i=1}^n (R_i + S_i)} \quad (10)$$

Eşitlik (10)'a göre en büyük ağırlığına sahip kriter, en yüksek öneme sahip olduğu sonucuna varılır.

Adım 8, kriterler arası etki-tepki grafiğinin çizilmesini içerir. Etki-tepki grafiği ile, etkilenen ve etkileyen kriterler belirlenmiş olur. Etki-tepki grafiğinde, R-S değerleri grafiğin dikey eksen, R+S değerleri ise grafiğin yatay eksenini oluşturur.

3.2. Araştırmanın Modeli

Makalede kullanılan model, "Fermatean Bulanık DEMATEL Yöntemi"dir. Bu model, güneş enerji sistemlerinin verimliliğini etkileyen faktörlerin etkileşimlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Fermatean bulanık DEMATEL, çok kriterli karar verme yöntemi olup, kriterler arası etki-tepki ilişkisini analiz etmek için kullanılmıştır. DEMATEL yönteminin diğer ağırlıklandırma yöntemlerine göre avantajı, kriterler arasındaki etkileşime önem vermesidir. Çünkü, belirlenen kriterler arasında bir ilişki mevcuttur. Bu kriterler tamamen birbirinden ayrık şekilde düşünülemez (Tepe vd., 2024). Dolayısıyla, bu etkileşimin dikkate alınması gerekir. DEMATEL yöntemi, sağladığı bu avantaj nedeniyle tercih edilmiştir. Bu yöntem Fermatean sayılar ile entegre edilerek uygulanmıştır. Bulanık sayılardaki temel hedef, dilsel ifadelerdeki belirsizliği analiz ederek daha gerçekçi sonuçlar elde etmektir.

Bu bağlamda, bulanık mantık içerisinde birden fazla küme tanımlanmıştır. Bu kümelerin birbirlerine göre farklı üstünlükleri mevcuttur. Fermatean sayılar, uzmanlardan görüş alınırken daha geniş bir yelpaze sunması ve daha esneklik sağlaması nedeniyle sonuçların daha doğru olmasına olanak sağlar (Senapati ve Yager, 2020). Dolayısıyla, sonuçların daha geçerli olması için Fermatean sayılar tercih edilmiştir.

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evreni, hastanelerde kullanılan güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen faktörlerdir. Bu evrende yer alan kriterler; güneş ışığının yoğunluğu, panellerin yerleşim ve eğimi, bakım ve temizlik, inverter verimliliği, enerji depolama sistemleri, panellerin malzeme ve teknolojisi, çevresel faktörler ve yatırım-tasarım stratejileridir. Örneklem, uzmanlardan oluşmaktadır. Bu uzmanlar, sağlık sektöründe deneyime sahip, özellikle güneş enerjisi konusunda bilgi sahibi kişilerdir. Uzmanlar, kriterlerin önem derecelerini belirlemek üzere çalışmada yer almış ve görüşleri alınmıştır.

3.4. Veri Toplama Araçları ve Süreci

Veri toplama aracı, uzman görüşlerine dayalı bir anket ya da değerlendirme süreci olarak tanımlanabilir. Uzmanlardan alınan veriler, dilsel ifadelerle (örneğin, "çok düşük", "yüksek" gibi ifadeler) toplanmıştır ve bu dilsel ifadeler, Fermatean bulanık sayılara dönüştürülerek analiz edilmiştir. Bu süreç, uzmanların görüşlerinin farklı bulanık sayılara dönüştürülmesi ve bu verilerin birleştirilerek etki-tepki grafiği ve ağırlıklandırma yapılmasını içermektedir.

4. BULGULAR

Bu bölümde, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğinin artırılmasına yönelik analize ait sonuçlar alt başlıklar şeklinde sunulmuştur.

Güneş Enerjisi Panellerinin Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Kriterlerin Tanımlanması

Kriterler literatür taraması sonucunda elde edilmiştir. Kriter setinde bir eksik olmaması adına değerlendirme yapan uzmanlardan görüş alınmış ve teyit edilmiştir. Bu sayede, güneş enerji panellerinin verimliliğini etkileyen faktörlerde bir eksik olmaması sağlanmıştır.

Tablo 2. Güneş enerji sistemlerinin verimliliğine etki eden kriterler

Kriterler	Kod
Güneş Işığının Yoğunluğu ve Süresi	YOGUNLUK
Panelin Yerleşim ve Eğimi	POZİSYON
Panellerin Temizliği ve Bakımı	PERİODİK
Inverter Verimliliği	INVERTER
Enerji Depolama Sistemleri	DEPOLAMA
Panellerin Malzeme ve Teknolojisi	TEKNOLOJİ
Çevresel Faktörler	ÇEVRE
Yatırım ve Tasarım Stratejileri	YATIRIM

Güneş ışığının yoğunluğu ve süresi, güneş panellerinin daha fazla enerji üretmesine olanak tanır; çünkü paneller daha fazla ışık alarak daha yüksek verimle çalışır. Panelin yerleşimi ve eğimi, güneş ışığının daha verimli bir şekilde alınmasını sağlar ve bu da enerji üretimini artırır. Panellerin temizliği ve bakımı düzenli olarak yapılmazsa, panel yüzeyinde biriken kir ve tozlar güneş ışığının panellere ulaşmasını engeller, bu da verimliliği düşürür. Inverter verimliliği, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akımın, alternatif akıma dönüşümünde kayıpların azaltılmasına yardımcı olur, bu da toplam enerji verimliliğini artırır. Enerji depolama sistemleri, güneş ışığının olmadığı zamanlarda enerji kullanımını sürdürebilir ve fazla üretilen enerjinin kaybolmasını engeller, böylece verimlilik artar. Panellerin malzeme ve teknolojisi, güneş ışığının daha verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar ve böylece panel verimliliğini artırır. Çevresel faktörler, hava durumu, sıcaklık ve nem gibi etmenler, güneş ışığını nasıl emdiği ve panellerin verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yatırım ve tasarım stratejileri ise doğru izolasyon ve enerji tasarrufu önlemleriyle verimliliği optimize eder, böylece sistemin etkinliği artırılır.

4.1. Güneş Enerji Panellerinin Verimliliğine Etki Eden Kriterlerin Fermatean Bulanık DEMATEL Kullanılarak Ağırlıklandırılması

Adım 1’de uzman görüşleri elde edilir. Tablo 2’de verilen kriterleri değerlendirmek üzere üç uzman seçilir. Uzmanlardan birisi güneş enerji sistemleri üzerine hizmet veren bir kuruluştaki uzun süredir çalışan üst düzey yöneticidir. Diğer iki uzman, yenilenebilir enerji üzerine ulusal ve uluslararası akademik çalışmaları olan profesörlerden belirlenmiştir. Uzmanlara ait kriterin değerlendirme sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3: Uzmanlar görüşleri

Uzman 1								
	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	-	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Düşük
POZİSYON	Düşük	-	Yüksek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Yüksek	Düşük
PERİODİK	Yüksek	Çok Yüksek	-	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
INVERTER	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	-	Yüksek	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
DEPOLAMA	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	-	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
TEKNOLOJİ	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	-	Çok Yüksek	Yüksek
ÇEVRE	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Çok Düşük	-	Düşük
YALITIM	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	-
Uzman 2								
	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	-	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
POZİSYON	Düşük	-	Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Düşük	Yüksek	Yüksek
PERİODİK	Çok Yüksek	Yüksek	-	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
INVERTER	Yüksek	Yüksek	Çok Düşük	-	Düşük	Yüksek	Çok Düşük	Çok Düşük
DEPOLAMA	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	-	Düşük	Çok Yüksek	Yüksek
TEKNOLOJİ	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	-	Yüksek	Çok Yüksek
ÇEVRE	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	-	Çok Düşük
YALITIM	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	-
Uzman 3								
	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	-	Düşük	Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
POZİSYON	Düşük	-	Yüksek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Yüksek	Düşük
PERİODİK	Yüksek	Çok Yüksek	-	Düşük	Yüksek	Düşük	Çok Düşük	Yüksek
INVERTER	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	-	Düşük	Yüksek	Yüksek	Çok Düşük
DEPOLAMA	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	-	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
TEKNOLOJİ	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	-	Çok Yüksek	Çok Yüksek
ÇEVRE	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	-	Düşük
YALITIM	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	-

Adım 3, grup ilişki matrisinin hesaplanmasını içerir. Eşitlik (3) ile elde edilen ve Eşitlik (4) ile gösterilen grup ilişki matrisi Ekteki Tablo A1’de sunulmuştur. Bir sonraki adım 4’te Eşitlik (5)-(6) ile grup ilişki matrisinin değerleri normalize edilir. Normalize grup ilişki matrisi Tablo A2’de paylaşılmıştır. Adım 5 ile toplam grup ilişki matrisi hesaplanır. Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanan toplam grup ilişki matrisi Tablo A3’te verilmiştir. Adım 6’da R ve S değerleri Eşitlik (8) ve (9) ile hesaplanır. Hesaplanan bu değerler Tablo A4’te gösterilmiştir. Adım 7 ile güneş sistemlerinin verimliliğini etkileyen kriterlerin ağırlıkları hesaplanır. Kriterlerin ağırlıkları Eşitlik (10) ile belirlenir. Kriterin ağırlıkları ve önem sıraları Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 4: Kriter ağırlıkları

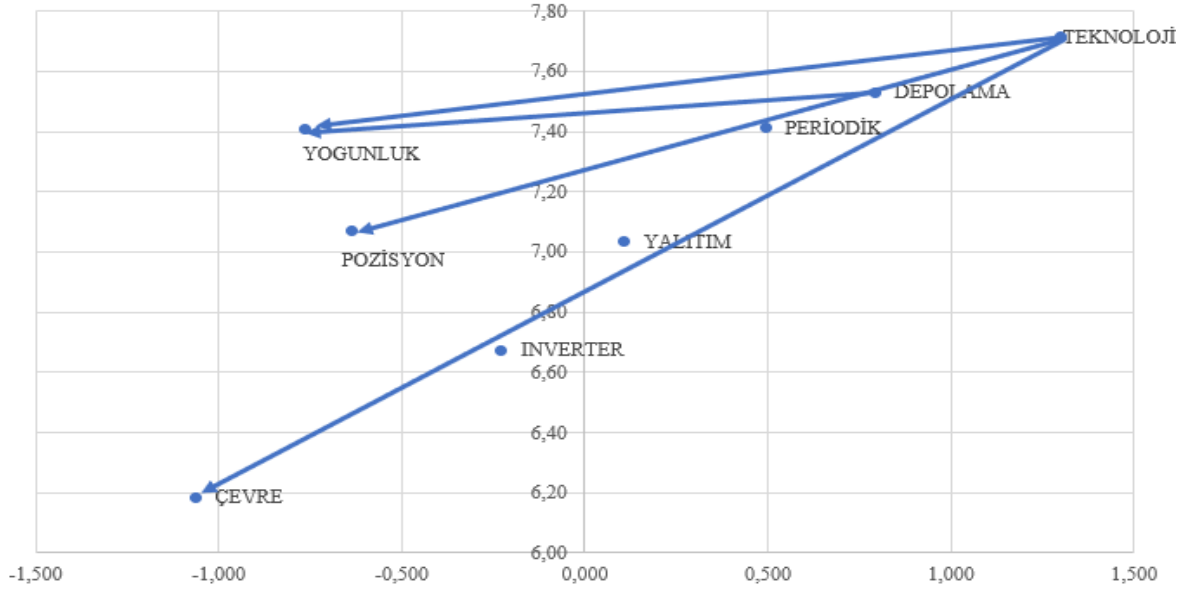
Kriterler	W (DEMATEL)	RANK
YOGUNLUK	0,130	4
POZİSYON	0,124	5
PERİODİK	0,130	3
INVERTER	0,117	7
DEPOLAMA	0,132	2
TEKNOLOJİ	0,135	1
ÇEVRE	0,108	8
YALITIM	0,123	6

Tablo 5 incelendiğinde, en yüksek ağırlığa değeri 0,135 olup, bundan dolayı en önemli kriter Teknoloji olarak belirlenmiştir. İkinci sırada ise Depolama kriteri olduğu görülürken, sonuncu sırada ise Çevre faktörleri olduğu tespit edilmiştir. Çevresel faktörler, ısı, sıcaklık ve mevsimsel hususlar gibi durumları bünyesinde barındırmaktadır. Enerji üretim potansiyeli açısından bu faktör büyük öneme sahip olsa da güneş enerji panellerinin verimliliği değerlendirildiğinde diğer faktörlere göre daha az etkiye sahip olduğu hesaplanmıştır. Bu husus, güneş enerji panellerinin verimliliğini iyileştirmeye yönelik geliştirilecek en öncelikli stratejilerin teknoloji ve depolama odaklı olması gerektiğini göstermektedir. Sonuçların karşılaştırılabilmesi adına farklı sayı grupları ile yapılan analiz sonucu Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 5: Karşılaştırma Analizi

Kriterler	Fermatean Rank	Üçgensel Rank	Spherical Rank
YOGUNLUK	4	4	4
POZİSYON	5	5	5
PERİODİK	3	3	3
INVERTER	7	7	7
DEPOLAMA	2	2	2
TEKNOLOJİ	1	1	1
ÇEVRE	8	8	8
YALITIM	6	6	6

Üçgensel sayılar ve spherical sayılar ile yapılan analiz sonuçları, Fermatean sayılar ile yapılan analiz sonuçları ile tutarlılık göstermektedir. Her sayı grubu için en önemli faktör TEKNOLOJİ, en az öneme sahip faktör ÇEVRE olarak hesaplanmıştır. Son olarak, Adım 8 ile kriterler arasındaki etkileşimi gösteren Etki-Tepki grafiği çizilir. Bunun için R+S ve R-S değerlerinin eksenleri oluşturduğu koordinat sistemi belirlenir. Sekiz kriter için R+S ve R-S değerleri üzerinden bu koordinat sisteminde konumlandırıldıktan sonra etki yönleri belirlenerek çizilir. Etki yönlerinin belirlenmesinde, toplam grup ilişki matrisinin değerleri dikkate alınır. Belirlenen değerden yüksek olanlar için satır kriterinin sütun kriterini etkilediği şeklinde yorumlanır. Etki yönlerini gösteren etki-tepki haritası Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Etki-Tepki haritası

Şekil 2 incelendiğinde, Teknoloji kriteri, Yoğunluk, Pozisyon ve Çevre kriterleri üzerinde etkilidir. Ayrıca, Depolama kriteri, Yoğunluk kriteri üzerinde etkisi olduğu görülmektedir.

5.TARTIŞMA

Yapılan çalışma sonucunda, hastanelerde kullanılan güneş enerji sistemlerinin verimliliğindeki en önemli husus teknoloji olarak bulunmuştur. Bunun başlıca nedeni, teknolojinin gelişmesi ile kullanılan malzeme veya güneşten gelen ışığın daha verimli şekilde absorbe edilmesinin sağlanmasıdır. Dolayısıyla teknolojik gelişmelerin takip edilmesi çok gereklidir. ARGE çalışmaları yenilikçi teknolojilerin elde edilmesini sağlayabilecektir. Böylelikle güneş enerji sistemlerindeki verimlilik giderek artacaktır. Vijayan vd., (2023) kullanılan teknolojik malzemenin güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğinin artırılmasına olanak sağladığını belirtmişlerdir. Shahdabadi vd., (2023) kullanılan malzemenin güneş enerji sistemlerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Demir cevherinin bu hususta öne çıktığı ve malzeme tercihinde göz önünde bulundurulması hususunu vurgulamışlardır.

Depolama sistemleri aynı zamanda güneş enerji sisteminin verimliliği sürecinde de önemli bir rol oynar. Depolamanın en büyük avantajlarından biri çevre koşullarının olumsuz olması durumunda sistemin sürekliliğini sağlamasıdır. Depolama ile güneş ışınlarının az olduğu gün ve zamanlarda kullanıcının kesintisiz enerji kullanımını sağlayabilmektedir. Böylelikle, güneşli havalarda fazladan üretilen enerji israf olmamış, gerekli zaman dilimlerinde kullanıma hazır olan enerji verimliliği sağlanmış olur. Tony (2021) gelişmiş depolama sistemleri ile verimliliğin artırılabilirliğini belirtmiştir. Gelişmiş depolama sistemlerinin kalitesi, depolanan enerjinin korunumunu artıracaktır. Depolanan enerjiye gereksinim duyulduğunda daha yüksek verimlilik sağlanacak ve kullanım süresi artırılabilir. Fan vd., (2021) depolama sistemlerindeki verimliliği %97 oranında artırabildiğini belirtmişlerdir. Bu durum güneş enerji sistemlerindeki verimliliğin artırılması hakkında detaylı bilgi sağlamaktadır.

Panellerin bakımı ve temizliğinin düzenli yapılması, güneş panellerinin verimliliğini etkileyen en önemli üçüncü faktör olarak dikkat çekmektedir. Düzenli bakım ve temizliği yapılan panellerin maksimum seviyede güneş ışığı alması mümkün olabilir. Ayrıca, düzenli bakım, panellerin daha uzun süre ideal performansla çalışmasına imkân sağlar. Devaraju vd., (2022), çatı üstü güneş panelleri için otomatik güneş paneli temizleme sistemi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Düzenli temizliğin enerji verimliliğine pozitif katkı sağladığı vurgulanmaktadır. Saleh vd., (2023), güneş paneli temizleme teknolojisinin, üretilen enerjinin verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini belirtmektedir. Alam vd., (2021), güneş panellerinin temizlenme sıklığının enerji üretim performansı üzerindeki etkisini incelemektedir. Ayda 3 kez yapılan temizlik sıklığının performansı %12 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Analiz sonuçları, en az etkili faktörün çevresel faktörler olduğunu göstermektedir. Çevresel faktörler, enerji üretimi ve enerji potansiyeli açısından büyük öneme sahiptir. Ancak, enerji verimliliğinin sağlanması hususunda güneş panelleri değerlendirildiğinde önemi daha geride kalmaktadır. Nitekim çevresel faktörler, sıcaklık, güneş ışığı yoğunluğu ve mevsimsel değişiklikleri kapsamaktadır. Yapılan analiz, uzman görüşleri çerçevesinde yürütüldüğünden dolayı çevresel faktörlerin en az öneme sahip olması örneklemeye bağlı olabilir. Literatürde çevresel faktörlerin önemli olduğunu vurgulayan çalışmalar mevcuttur. Ansari ve Kumar, (2019), güneş paneli

performansını etkileyen faktörler incelemiştir. Mevsimsel durumların panel performansı üzerinde bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Patnaik vd., (2020), güneş panellerinin çeşitli çevresel faktörlerden nasıl etkilendiğini araştırmaktadır. Güneş panellerinin performansını sıcaklık ve güneş ışığı yoğunluğu gibi çevresel faktörlerin etkilediğinin altı çizilmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, hastanelerde kullanılan güneş enerji sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik faktörlerin etki-ilişki haritasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, bulanık karar verme modeli oluşturulmuştur. Seçilen kriterler Fermatean bulanık DEMATEL yardımıyla değerlendirilir. Güneş enerji sistemlerindeki verimliliğin artırılmasında teknolojinin kullanılmasının en kritik rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde bu çerçevede ikinci önemli faktör depolama sistemleridir. Güneş panellerinin bakım ve temizliğinin düzenli yapılması, süreci etkileyen en önemli üçüncü faktör olarak dikkat çekmektedir. Öte yandan, çevresel faktörler güneş enerji sistemlerinin verimliliği açısından en düşük ağırlığa sahiptir. Bu çalışmanın temel katkısı, Fermatean bulanık DEMATEL ile güneş enerji sistemlerinin verimliliğinin ele alınmasıdır. Bu amaçla bulanık karar verme modeli oluşturulup, uzman değerlendirmeleri bulanıklaştırılmıştır. Bu süreç, belirsizliği analize dâhil etme fırsatı sağlar.

Bu çalışmanın temel sınırlılığı analizin çok kriterli karar verme yöntemi ile yapılmasıdır. Fakat, güneş enerji sistemlerinin verimliliği verilerinin elde edilmesi ile ekonometrik yöntemlerle sonuçların kıyaslanması sağlanmalıdır. Böylece ileride yapılacak çalışmalarda sonuçların tutarlılığı üzerine değerlendirmeler yapılabilir. Bu çalışmada karar matrisi uzmanların ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Bu çerçevede uzmanların maaş, deneyim süresi, eğitim düzeyi gibi bilgi düzeylerini etkileyen durumları dikkate alınarak ağırlıklandırılabilir. Uzman ağırlıklandırması yapılan yapay zekâ tabanlı çok kriterli karar verme modelleri kullanılabilir. Dolayısıyla bu husus çalışmanın bir diğer kısıtıdır. Ayrıca, bu çalışmada seçilen uzmanlar Türkiye’de çalışan kişilerdir. Farklı ülkelerde çalışan uzmanlarla yapılacak analiz farklı sonuçlara neden olabilir. Benzer şekilde uzman sayısının artırılması da genellenebilirliğin artırılması için gereklidir. Bundan sonraki çalışmalarda bu durum dikkate alınabilir. Ayrıca, uzman görüşleri sağlık sektörüne hâkim kişilerden seçilerek hastaneler özelinde değerlendirme yapılmıştır. Enerji bağımlılığı hususu göz önüne alındığında her sektörün bu değerlendirmeye ihtiyacı bulunmaktadır. Hastaneler dışında enerji tüketiminin yüksek olduğu otomotiv, eğitim gibi diğer sektörlerde de bu çalışmaların yapılması yerinde olacaktır. Bunun dışında, ulaşım gibi enerji tüketiminin yoğun olduğu alanlarda verimlilik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Güneş panellerinin verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojik yatırımlar çözüm olabilir. Otomatik temizlik sistemlerinin kullanılması, su püskürtmeli ya da otomatik fırçalı temizlik sistemlerinin kullanılması somut adımlar olarak addedilebilir. Ayrıca, teknoloji kullanımı çerçevesinde güneş enerji sistemlerini izleyen ve optimize eden akıllı enerji yönetim yazılımlarının kullanılması faydalı olacaktır. Güneş enerjisinin ışığını maksimum absorbe edecek teknolojilerin güneş panellerinde kullanımı pozitif katkı sağlayacaktır. Hastane yönetimlerinin, periyodik bakım planlamaları oluşturarak bu süreci denetlemesi önemli bir adım olabilir. Depolama süreçlerine atılacak somut adımlar da bu süreci güçlendirebilir. Lityum iyon gibi yüksek verimli enerji depolama sistemlerinin yaygınlaştırılması, güneş enerjisinin daha verimli kullanılmasına katkı sağlar.

KAYNAKÇA

- Adekanbi, M. L., Alaba, E. S., John, T. J., Tundealao, T. D., & Banji, T. I. (2023). Soiling loss in solar systems: A review of its effect on solar energy efficiency and mitigation techniques. *Cleaner Energy Systems*, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100094>
- Afshari, F., Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Çelik, A., & Ceviz, M. A. (2024). Experimental and numerical study on solar energy storage in black-covered sunspace using water-filled tin cans. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 31(3), 21–44. <https://doi.org/10.1615/JEnhHeatTrans.2024041512>
- Ansari, M. A., & Kumar, K. (2019, October). Impact of various factors on the performance of solar panel. In 2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC) (pp. 111-115). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PEEIC47157.2019.8976860>
- Alam, M. N., Aziz, S., Karim, R., & Chowdhury, S. A. (2021, December). Impact of solar PV panel cleaning frequency on the performance of a rooftop solar PV plant. In 2021 6th International Conference on Development in Renewable Energy Technology (ICDRET) (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDRET54330.2021.9752681>
- Alici, H., Esenboga, B., Oktem, I., Demirdelen, T., & Tumay, M. (2021). Designing and performance analysis of solar tracker system: A case study of Çukurova region. In *Design, Analysis, and Applications of Renewable Energy Systems* (pp. 165–184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824555-2.00004-6>
- Al-Shahri, O. A., Ismail, F. B., Hannan, M. A., Lipu, M. H., Al-Shetwi, A. Q., Begum, R. A., ... & Soujeri, E. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 284, 125465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125465>
- As, M., & Bilir, T. (2023). Enhancing energy efficiency and cost-effectiveness while reducing CO2 emissions in a hospital building. *Journal of Building Engineering*, 78, 107792. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107792>
- Batista, J. P., da Silva, H. J., Rocha, L. A., & Nassar, E. J. (2021). Glass slides or solar cells: Which are better to improve solar energy efficiency? *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(11), 15151–15159. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06065-4>
- Bayraktar, N. T., & Şener, M. (2021). Sağlık Yapısı Cephelerinde Enerji Verimliliğini Arttırmaya Yönelik Güncel Uygulamalar Üzerine Bir İnceleme. *Mimarlık ve Yaşam*, 6(1), 285-299. <https://doi.org/10.26835/my.864431>
- Bozkaya, Ş., & Duran, M. S. (2024). Yeşil Büyüme Sürecinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması: G-7 Ülkeleri Üzerine Bir İnceleme. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 27(2), 799-810. <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.1519177>
- Carmona, M., Bastos, A. P., & García, J. D. (2021). Experimental evaluation of a hybrid photovoltaic and thermal solar energy collector with integrated phase change material (PVT-PCM) in comparison with a traditional photovoltaic (PV) module. *Renewable Energy*, 172, 680–696. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.022>
- Devaraju, D., Kumar, V. S., Vivek, D. S., Kumar, A., Reddy, G. H., & Gope, S. (2022, November). An Efficient Automatic Solar Panel Cleaning System for Roof-top Solar PV System. In 2022 International Conference on Smart and Sustainable Technologies in Energy and Power Sectors (SSTEPS) (pp. 13-16). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SSTEPS57475.2022.00018>
- Dincer, H., Eti, S., Yüksel, S., Gökalp, Y., & Çelebi, B. (2024). Strategy generation for risk minimization of renewable energy technology investments in hospitals with sf top-dematel methodology. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*. <https://doi.org/10.47852/bonviewJCCE32021141>
- Dinçer, H., & Gökalp, Y. (2024). Optimal Management of Energy Storage Systems in Hospitals with Quantum Spherical Fuzzy Decision-Making Modelling: Developing Energy Storage System Strategies for Hospitals. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 1, 185-195. <https://doi.org/10.59543/comdem.v1i.10089>
- Dion, H., Evans, M., & Farrell, P. (2023). Hospitals management transformative initiatives; towards energy efficiency and environmental sustainability in healthcare facilities. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(2), 552-584. <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2022-0200>
- Elkhatat, A., & Al-Muhtaseb, S. A. (2023). Combined “renewable energy–thermal energy storage (RE–TES)” systems: A review. *Energies*, 16(11), 4471. <https://doi.org/10.3390/en16114471>
- Fan, X., Qiu, X., Lu, L., & Zhou, B. (2021). Full-spectrum light-driven phase change microcapsules modified by CuS-GO nanoconverter for enhancing solar energy conversion and storage capability. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 223, 110937. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110937>
- Fathi, A., Bararzadeh Ledari, M., & Saboohi, Y. (2021). Evaluation of optimal occasional tilt on photovoltaic power plant energy efficiency and land use requirements, Iran. *Sustainability*, 13(18), 10213. <https://doi.org/10.3390/su131810213>

- Filiz, B. C., Unlu, E. B., Yörüklü, H. C., Elibol, M. K., Akar, Y., San, A. T., ... & Figen, A. K. (2023). Solar–hydrogen coupling hybrid systems for green energy. In *Materials for Hydrogen Production, Conversion, and Storage* (pp. 65–95). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119829584.ch3>
- Gao, D., Hao, Y., & Pei, G. (2023). Investigation of a novel space heating scheme based on evacuated flat-plate solar collector and virtual energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 219, 119672. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119672>
- Gonzales, G., Costan, F., Suladay, D., Gonzales, R., Enriquez, L., Costan, E., & Ocampo, L. (2022). Fermatean fuzzy DEMATEL and MMDE algorithm for modelling the barriers of implementing education 4.0: Insights from the Philippines. *Applied Sciences*, 12(2), 689. <https://doi.org/10.3390/app12020689>
- Gökalp, Y., & Eti, S. (2025). Priority strategy development with intuitionistic fuzzy DEMATEL method for reducing energy costs in hospitals. *Journal of Soft Computing and Decision Analytics*, 26, 26-32. <https://doi.org/10.31181/jscda31202548>
- Gökalp, Y., & Eti, S. (2024). Investigating energy consumption in hospitals by text mining method. In *Decision Making in Interdisciplinary Renewable Energy Projects: Navigating Energy Investments* (pp. 259-269). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51532-3_21
- Guo, F., Li, Y., Xu, Z., Qin, J., & Long, L. (2021). Multi-objective optimization of multi-energy heating systems based on solar, natural gas, and air-energy. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101394. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101394>
- Hama Radha, C. (2023). Retrofitting for improving indoor air quality and energy efficiency in the hospital building. *Sustainability*, 15(4), 3464. <https://doi.org/10.3390/su15043464>
- Hou, G., Xu, L., Liu, Z., Chen, D., Ru, H., & Taherian, H. (2023). Solar-assisted geothermal heat pump systems: Current practice and future development. In *Renewable Energy Production and Distribution Volume 2* (pp. 217–246). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18439-0.00013-6>
- Hohne, P. A., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2020). Improving energy efficiency of thermal processes in healthcare institutions: A review on the latest sustainable energy management strategies. *Energies*, 13(3), 569. <https://doi.org/10.3390/en13030569>
- Huang, H. C., Huang, C. N., Lo, H. W., & Thai, T. M. (2023). Exploring the mutual influence relationships of international airport resilience factors from the perspective of aviation safety: Using Fermatean fuzzy DEMATEL approach. *Axioms*, 12(11), 1009. <https://doi.org/10.3390/axioms12111009>
- Kambezidis, H. D., Mimidis, K., & Kavadias, K. A. (2023). The solar energy potential of Greece for flat-plate solar panels mounted on double-axis systems. *Energies*, 16(13), 5067. <https://doi.org/10.3390/en16135067>
- Kumar, R. T., & Rajan, C. A. (2023, August). Modified Cuk converter with bird swarm optimized PI controller for microgrid system. In *Proceedings of the 2023 International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)* (pp. 1773–1780). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2023.10245452>
- Mtioui, N., Zamd, M., Ait Taleb, A., Bouaalam, A., & Ramdani, B. (2021). Carbon footprint of a hemodialysis unit in Morocco. *Therapeutic Apheresis and Dialysis*, 25(5), 613–620. <https://doi.org/10.1111/1744-9987.13607>
- Murugan, D. K., Panchal, H., Said, Z., & Shankaranarayanan, S. (2023). Air stone-induced microbubble agitation: A strategy for solar still performance enhancement. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02630-z>
- Myyas, R. E. N., Al-Dabbasa, M., Tostado-Véliz, M., & Jurado, F. (2022). A novel solar panel cleaning mechanism to improve performance and harvesting rainwater. *Solar Energy*, 237, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.068>
- Niu, L., Li, X., Zhang, Y., Yang, H., Feng, J., & Liu, Z. (2022). Electrospun lignin-based phase-change nanofiber films for solar energy storage. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(39), 13081–13090. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03462>
- Nourdine, B., & Saad, A. (2021). About energy efficiency in Moroccan health care buildings. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1141–1147. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.135>
- Patnaik, B., Swain, S. C., & Rout, U. K. (2020). Modelling and performance of solar PV panel with different parameters. In *Applications of Robotics in Industry Using Advanced Mechanisms: Proceedings of International Conference on Robotics and Its Industrial Applications 2019 1* (pp. 250-259). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30271-9_23
- Saleh, S. F., Aboaltabooq, M. H. K., & Khwayyir, H. H. (2023, April). Improvement of PV cell performance by using different cleaning methods. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2776, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0136522>
- Semai, H., & Bouhdjar, A. (2023). The thermal impact of stored water as supplementary energy source for a solar air heater. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. <https://doi.org/10.1002/ep.14297>

- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 11, 663-674. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01377-0>
- Shahdabadi, R. S., Mortazavi, A., Lotfi, P., Shakib, S. E., & Ghafurian, M. M. (2023). Boosting stepped solar still system efficiency with affordable natural energy absorbers. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52, 103666. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103666>
- Tepe, S., Çabuk, A., Eti, S., & Mertoğlu, B. (2024). Evaluation of psychosocial risks affecting academicians using the sine trigonometric pythagorean fuzzy (ST-PFN) DEMATEL method. *Work*, (Preprint), 1-16. <https://doi.org/10.3233/WOR-240145>
- Tony, M. A. (2021). Nexus approach: ZSM-12 derived from industrial waste into microencapsulated in organic wax for solar energy storage system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(15), 1–19. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.2001119>
- Ummah, H. F., Setiati, R., Dadi, Y. B. V., Ariq, M. N., & Malinda, M. T. (2021, May). Solar energy as natural resource utilization in urban areas: *Solar energy efficiency literature review*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 780, 1, 012007. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/780/1/012007>
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Vavili, F., & Kyrkou, A. (2020). Sustainability and energy efficiency design in hospital buildings. In *Energy Efficient Building Design* (pp. 157-169). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40671-4_10
- Vaziri, S. M., Rezaee, B., & Monirian, M. A. (2020). Utilizing renewable energy sources efficiently in hospitals using demand dispatch. *Renewable Energy*, 151, 551-562. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.053>
- Vijayan, D. S., Koda, E., Sivasuriyan, A., Winkler, J., Devarajan, P., Kumar, R. S., ... & Vaverková, M. D. (2023). Advancements in solar panel technology in civil engineering for revolutionizing renewable energy solutions—a review. *Energies*, 16(18), 6579. <https://doi.org/10.3390/en16186579>
- Yalçın, A. Z., & Dogan, M. (2023). Enerjide Dışa Bağımlılık Sorunu: Türkiye İçin Ampirik Bir Analiz. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 30(2), 203-223. <https://doi.org/10.18657/yonveek.1206158>
- Yan, Y., Khan, K. A., Adebayo, T. S., & Olanrewaju, V. O. (2024). Unveiling energy efficiency and renewable electricity's role in achieving sustainable development goals 7 and 13 policies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/13504509.2023.2300006>
- Yang, Z., Gao, X., & Lei, J. (2023). Aeolian disaster risk evaluation in the African Sahel. *Science of the Total Environment*, 899, 165462. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165462>
- Zhang, R., Wang, D., Yu, Z., Sun, Y., Wan, H., Liu, Y., ... & Lan, B. (2023). Dual-objective optimization of large-scale solar heating systems integrated with water-to-water heat pumps for improved techno-economic performance. *Energy and Buildings*, 296, 113281. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113281>

ÇALIŞMANIN ETİK İZNİ

Yapılan bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümü olan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir.

Etik kurul izin bilgileri

İkincil veriler ile çalışıldığından dolayı etik kurul iznine gerek yoktur.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI

Araştırmanın tüm süreci tarafımca yürütülmüştür.

ÇATIŞMA BEYANI

Araştırmada herhangi bir kişi ya da kurum ile finansal ya da kişisel yönden bağlantı bulunmamaktadır. Araştırmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

EKLER

Ek-1. Tablo A1: Grup ilişki matrisi, Tablo A2: Normalize Grup İlişki Matrisi, Tablo A3: Toplam Grup İlişki Matrisi, Tablo A4: R ve S değerleri Tabloları

Tablo A1: Grup ilişki matrisi

	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	1,000	1,061	1,576	0,712	0,712	1,189	0,829	1,189
POZİSYON	0,939	1,000	1,335	1,061	0,939	0,579	1,335	1,061
PERİODİK	1,446	1,576	1,000	1,277	1,335	1,061	0,951	1,335
INVERTER	1,446	1,277	0,712	1,000	1,061	1,189	0,845	0,579
DEPOLAMA	1,446	1,335	1,382	1,382	1,000	1,189	1,728	1,189
TEKNOLOJİ	1,728	1,576	1,133	1,335	1,576	1,000	1,576	1,576
ÇEVRE	0,829	0,829	0,579	0,939	0,829	0,712	1,000	0,829
YALITIM	1,576	1,133	0,939	1,069	1,133	1,189	0,939	1,000

Tablo A2: Normalize Grup İlişki Matrisi

	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	0,087	0,092	0,137	0,062	0,062	0,103	0,072	0,103
POZİSYON	0,082	0,087	0,116	0,092	0,082	0,050	0,116	0,092
PERİODİK	0,126	0,137	0,087	0,111	0,116	0,092	0,083	0,116
INVERTER	0,126	0,111	0,062	0,087	0,092	0,103	0,073	0,050
DEPOLAMA	0,126	0,116	0,120	0,120	0,087	0,103	0,150	0,103
TEKNOLOJİ	0,150	0,137	0,098	0,116	0,137	0,087	0,137	0,137
ÇEVRE	0,072	0,072	0,050	0,082	0,072	0,062	0,087	0,072
YALITIM	0,137	0,098	0,082	0,093	0,098	0,103	0,082	0,087

Tablo A3: Toplam Grup İlişki Matrisi

	YOGUNLUK	POZİSYON	PERİODİK	INVERTER	DEPOLAMA	TEKNOLOJİ	ÇEVRE	YALITIM
YOGUNLUK	0,460	0,445	0,452	0,377	0,371	0,395	0,401	0,422
POZİSYON	0,440	0,425	0,419	0,396	0,377	0,332	0,433	0,396
PERİODİK	0,567	0,553	0,464	0,484	0,479	0,439	0,475	0,491
INVERTER	0,485	0,451	0,371	0,391	0,388	0,386	0,395	0,357
DEPOLAMA	0,589	0,553	0,513	0,512	0,469	0,468	0,561	0,497
TEKNOLOJİ	0,652	0,610	0,527	0,540	0,549	0,482	0,583	0,563
ÇEVRE	0,357	0,341	0,292	0,323	0,307	0,286	0,341	0,313
YALITIM	0,536	0,475	0,423	0,429	0,427	0,418	0,436	0,427

Tablo A4: R ve S değerleri

Kriterler	R	S
YOGUNLUK	3,323	4,085
POZİSYON	3,218	3,853
PERİODİK	3,953	3,460
INVERTER	3,223	3,450
DEPOLAMA	4,161	3,369
TEKNOLOJİ	4,506	3,207
ÇEVRE	2,561	3,625
YALITIM	3,570	3,465