

Kamu Hastanelerinde Enerji Verimliliği Analizi: Radyal ve Radyal Olmayan Veri Zarflama Analizi Modellerine Dayalı Bir Uygulama

Energy Efficiency Analysis in Public Hospitals: An Application of Radial and Non-Radial Data Envelopment Analysis Models

Mehtap ÇAKMAK BARSBAY^{1*}

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Karaman, Türkiye.
mehtapcakmak@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 10.04.2019
Kabul Tarihi/Accepted: 24.04.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 06.03.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.55956
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Türkiye’de bugüne kadar, enerji verimliliğini arttırmak ve enerji tüketimini azaltmak için uygulanan temel araçlar çoğunlukla düzenleyici niteliktedir. Yine de kamu, özel ve üçüncü sektörlerce enerji verimliliği kapsamında yürütülen çeşitli girişimler bulunmaktadır. Bu tür gelişme programlarına ve stratejik girdilere uygun olarak, sağlık kurumları gibi yüksek enerji tüketimiyle tanınan kamu sektörü kuruluşları, potansiyel enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve yeniden tanımlanması konusunda birçok adım atmaktadır. Ancak hala sağlık sektöründe enerji kullanımını analiz etmeye çalışan çalışmaların eksik olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma, yenilikçi yönetsel uygulamaların ve metrik araçların kullanımı ihtiyacını ortaya koyarak enerji verimliliği girişimlerine katkıda bulunmak amacıyla taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Veri Zarflama Analizi, Hastane, Enerji Tüketimi

Abstract

In Turkey to date, the main tools which have been applied to enhancing energy efficiency and reducing energy consumption have mostly been regulatory based. However, many other initiatives on energy efficiency were adopted by both public, private and third sector. Complied with these development programs and strategic inputs, public sector organizations which were labeled high energy consuming, such as healthcare facilities, take many steps in relation to diversification and redefinition of potential energy resources. But it is still a lack of the studies attempting to analyze energy use in public health sector. Hence this study is a step to contribute energy efficiency initiatives by promoting innovative managerial practices and metric tools.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Hospital, Energy Consumption

1 Giriş

Türkiye’de binalar kategorisinde en çok enerji tüketimi, alışveriş merkezlerinden sonra hastane binalarına aittir. Hastanelerde çok fazla dikkat çekmeyen gider bileşenlerinden biri enerji giderleridir. Hastane giderleri içinde önemli pay, halen personel giderlerinde olmakla birlikte ilaç ve tıbbi cihaz alım giderleri, önemli gider kalemlerinden biridir [1]. Almanya’da enerji giderleri, hastanelerin toplam giderlerinin %2,5’ini oluşturmaktadır [2]. Türkiye’de yapılan çalışmalarda ise yakacak, elektrik ve su giderleri toplamının, hastanenin toplam giderlerinin %10’undan fazlasını oluşturduğu tespit edilmiştir [3],[4]. Mevcut bulgular Türkiye’de bu oranın hastaneler bazında farklılık gösterdiğine işaret etmektedir. Verimli faaliyet göstermesi beklenen kamu hastanelerinde enerji verimliliğinin sağlanması, kaynaklarını doğru yerlere tahsis edebilmeleri açısından önem taşımaktadır. Enerji ekonomisi kapsamındaki çalışma konularından biri olan enerji verimliliği, hastanelerde operasyonel süreçlerle ilgilenen sağlık yöneticileri ve politika yapıcılar açısından önem taşımaktadır.

Enerji verimliliği sağlanarak hastanelerde toplam enerji maliyetlerinde ve dolaylı birim maliyetlerde azalma sağlanabilecektir.

Literatürde enerji verimliliği kaynakların verimli kullanılmasında bağlamında son yıllarda önem kazanan konular arasında yer almaktadır. Bu konudaki çalışmaların özellikle 2010 sonrası artış gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmalar, üretime [5],[6],

tüketime ve dağıtımına [7] odaklanan ya da arz ve talebe yönelik çalışmalar olarak gruplandırılabilir. Araştırmalar, özellikle enerji üretimine odaklansa da enerji tüketimi bağlamında verimlilik tespiti yapan çalışmalar da bulunmaktadır. Bunlardan biri, kadınlarda eğitim düzeyinin artmasıyla enerji verimliliğinin artışı arasında ilişki olduğunu ortaya koyan Öztöp ve Güven’in çalışmasıdır [8]. Enerji tüketim verimliliği çalışmalarının genellikle sektörel, bölgesel ve uluslararası kıyaslamaları mümkün kılacak şekilde makro boyutta gerçekleştirildiği söylenebilir [9],[10],[11]. Örneğin, Koçak ve Baran tarafından yapılan çalışmada veri zarflama analizi modelleri kullanılarak Türkiye’de 81 ildeki nihai tüketicilerin elektrik tüketimi bazındaki verimlilik değerleri ile verimli olmayan illerin verimlilik sınırına gelebilmesi için yapmaları gereken potansiyel iyileştirmeler ortaya konmuştur [12]. Enerji verimliliği çalışmalarında çok değişkenli ve kestirime dayalı yöntemler de kullanılmaktadır. Bunlardan birinde TOPSIS yöntemiyle enerji verimliliği analiz edilerek yapay sinir ağı modeliyle tahmin yapılmıştır [13].

Sağlık sektörü Türkiye’de giderek büyüyen sektörlerden biridir. Sağlık Bakanlığı İstatistik Yıllığına göre her yıl Sağlık Bakanlığı hastanelerinden yaklaşık 720 milyon hasta sağlık hizmeti almaktadır [14]. Bu veri, kişi başına sağlık kurumlarına başvurunun yılda dokuz defa gerçekleştiğini ve Türkiye’de sağlık hizmetlerine erişimin giderek arttığını göstermektedir. Bununla beraber hastanelerin fiziksel kapasiteleri, kullanılan teknoloji, sağlık insan gücü sayısı, gerçekleştirilen tıbbi işlem sayıları artış göstermektedir. Diğer yandan sağlık

*Yazışılan yazar/Corresponding author

kuruluşlarının kesintisiz hizmet sunması aydınlatma, klima, elektrik tüketimi, ısıtma gibi ihtiyaçların her an karşılanması için sürekli enerji kullanımı sonucunu ortaya çıkarmaktadır [15].

Bu bağlamda, sağlık sektöründe enerji verimliliği ölçümüne yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Teke vd. tarafından yapılan çalışmada, bir üniversite hastanesindeki elektrik tasarrufu imkânları araştırılmış, aydınlatma, bina izolasyonu ve HVAC sisteminde yapılacak yapısal değişikliklerin geri ödeme süreleri hesaplanmış ve hiçbir ikincil ödemeye meydan vermeden alınacak basit tedbirlerle %10'luk bir enerji tasarrufu sağlanacağı ortaya konmuştur. Alınabilecek tedbirler ve ilişkili olduğu bileşenler sıralanarak toplam %20-40 oranında enerji tasarrufu potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir [16].

Beypazarlı vd. tarafından yapılan bir çalışmada ise, sağlık kurumlarında iklimlendirme sistemleri özelinde enerji verimliliğine odaklanılmış ve %34 enerji tasarrufunun sağlanabileceği bulunmuştur [17].

Enerji verimliliğine yönelik olarak önceki çalışmalarda, vaka çalışması kapsamında bir kuruma odaklanıldığı, tek faktörlü değişkenler vasıtasıyla verimliliğin örgütsel düzeyde analiz edildiği görülmektedir.

Sağlık sektöründe enerji verimliliği analizinin yapıldığı sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Almanya'da 23 hastanenin on yıllık enerji tüketim miktarlarının incelendiği çalışmada, enerji kullanımının hava koşulları, bina alanı, gelir, coğrafik bölge, yatak sayısı ve personel sayısı ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Çalışmada yatak başına yıllık 6000 kWh elektrik tüketildiği ve ısıtma amacıyla 29000 kWh enerji tüketildiği sonucuna ulaşılmıştır [2].

Konuya yönelik yapılan önceki çalışmalar hastanelerde enerji tüketimindeki değişimlerin hastanelerin verimliliğini etkileyeceğine işaret etmektedir. Bu nedenle hastanelerde sağlık hizmeti üretim sürecinin önemli girdilerinden biri olan enerji kaynağını kontrol altına alarak çıktı bileşenlerinde artış sağlanabilir.

Bu bağlamda, kamu sağlık sektöründe enerji kullanımını inceleyen çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu hastanelerdeki bölümler arası enerji kullanımlarının karşılaştırılmasına ve elde edilen verilerin bazı değişkenlerle ilişkisinin incelenmesine, bazen de zamana dayalı olarak enerji kullanımının belirlenmesine dayanmaktadır.

Mevcut çalışma enerji verimliliğine odaklanmakla birlikte hastanelerin enerji kaynaklarını verimli kullanıp kullanmadıklarını görel olarak incelemekte, hastanelerin mevcut çıktıları sabit kalmak şartıyla kullandıkları enerji girdilerinde yapabilecekleri tasarruf düzeyini belirlemektedir. Araştırma, radyal ve non-radyal özellikteki veri zarflama analizi modellerini karşılaştırmalı kullanarak enerji tüketim verimliliğini ölçen ilk çalışmadır. Bu bağlamda araştırmanın, enerji tüketiminde verimlilik çalışmalarında bir başlangıç niteliği taşıması ve literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

Bir sonraki bölümde analizin temelini oluşturan yöntem tanımlanmış ardından kullanılan yöntem açıklanmıştır. İzleyen bölümde elde edilen bulgular açıklanmış ve çıkarımsal sonuçlara yer verilmiştir.

2 Materyal ve metod

Bu çalışmada, veri zarflama analizi ile enerji tüketiminin belirleyicisi olarak tespit edilen girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiye dayanarak verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır. Girdi

odaklı üç model kullanarak hastanelerdeki enerji verimliliğinin düzeyi belirlenmiştir.

Veri zarflama analizi, en az girdi kullanarak en çok çıktıyı üreten birimlerin tespit edilmesi; her bir gözlem biriminin verimlilik sınırına uzaklıklarına göre verimlilik puanının hesaplanması; gözlem birimleri arasında görel performans değerlendirmesi yapılmasına imkân veren bir doğrusal programlama yöntemidir [17],[18].

Girdi ve çıktı değişkeninin incelendiği her bir gözlem birimi, karar verme birimi (KVM) olarak adlandırılmaktadır. Veri zarflama analizinde matematiksel modelleme yoluyla en az girdi ile en çok çıktıyı üreten karar verme birim(ler)i tespit edilerek bir verimlilik sınırı oluşturulur. Bu verimlilik sınırı üzerinde kalan karar verme birimleri verimli, sınırın altında kalan birimler ise verimsiz olarak değerlendirilir. Verimlilik puanları sıfır ve bir arasında değişmekle birlikte 1 puan, tam verimli birimleri göstermektedir. Veri zarflama analizi ile verimli olmayan birimlerin verimlilik sınırına ulaşması için girdi ve çıktılarındaki yapıları gereken değişimler belirlenebilmektedir. Böylece yöntem, görel bir değerlendirme yapılmasına imkân vermektedir [19].

Veri zarflama analizi (VZA) modelleri, yönetsel kararların alınmasında geçmişe dönük bir değerlendirme imkânı sunarken geleceğe dönük planlama yapılmasında karar vericilere ve politika yapıcılara yol gösterme amacıyla son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır.

3 Radyal ve radyal olmayan VZA modelleri

Araştırma sorusunun niteliğine göre tercih edilebilecek alternatif VZA modelleri bulunmaktadır. Birincisi Charnes vd. tarafından önerilen ve yazarların baş harfleriyle CCR olarak kısaltılan model, toplam verimliliği ölçmektedir [18]. Banker vd. tarafından geliştirilen ve BCC olarak kısaltılan diğer model ise ölçeğe göre değişken getiri (VRS) olarak da bilinen modeldir. BCC modeli teknik verimliliği ölçmektedir [19]. Optimal ölçekli karar verme birimlerinin, CCR modeline göre verimlilikleri değerlendirilebilir. Çünkü optimal ölçekte faaliyet gösteren karar verme birimlerinin üretim süreçlerinde kullandıkları girdi(ler) düzeyinde meydana gelen bir miktar artışın oransal olarak eşit miktarda çıktı(lar) değişimine neden olduğu gözlenebilecektir. Ancak sağlık sektörü kendine özgü özelliklerine dayalı olarak piyasa başarısızlıklarıyla karşılaşmakta ve tam olarak düzenlenemeyen bir piyasada faaliyetlerini sürdürmektedir [20]. Ayrıca sektördeki tüm kurumların homojen bir yapıda olduğunu söylemek her zaman söz konusu değildir. Diğer bir ifadeyle, sağlık hizmeti sunan kurumların optimal ölçekte faaliyet gösterdiğini iddia etmek güçtür [21]. Bu nedenle optimal ölçekte faaliyet göstermeyen karar verme birimlerinin verimliliklerinin ölçülmesinde ölçeğe göre değişken getiri modeli kullanılmaktadır [22].

Her iki VZA modelinde de girdi minimizasyonu ya da çıktı maksimizasyonu odaklı olarak verimlilik ölçümü yapılabilmektedir. Modelin girdi yönelimli olarak belirlenmesi durumunda amaç, mevcut çıktı düzeyinin sabit tutularak girdi düzeyinin en aza indirilmesidir. Çıktı yönelimli bir VZA modeli belirlenmesi durumunda ise girdiler sabitken çıktıların artırılması amaçlanmaktadır. BCC modelinde, CCR modelinden farklı olarak ölçeğe göre değişken getiri sağlanabilmesi için verimlilik sınırının orijinden başlaması gerekmektedir. Bu durum, BCC modelinde ortaya çıkan verimlilik sınırının içbükey bir forma kavuşmasını sağlamaktadır. Lambdanın (λ) 1'e sabitlendiği kısıtın eklenmesiyle model, konvekslik özelliği kazanmaktadır [23]. CCR modelinde ise verimlilik sınırı

doğrusal özelliktedir. BCC'ye göre verimli bir karar verme birimi, CCR'ye göre verimli olmayabilmektedir. Ancak CCR'ye göre verimli olan karar verme birimlerinin her biri, BCC'ye göre de verimli olacaktır. Bu durum, modelin beklenen bir sonucudur. Girdi yönelimli BCC modeline ait matematiksel denklem (1-5) aşağıda verilmiştir. Buna göre özetle, n adet karar verme birimine ait m adet girdi kullanılarak s adet çıktı elde edilmektedir.

$$\min Q - E \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - Q_{xi0} + s_i^- = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{r0} - s_r^+ = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda \text{ ve } s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, \dots, m & r &= 1, 2, \dots, \dots, s \\ j &= 1, 2, \dots, \dots, n & & \end{aligned} \quad (5)$$

Geleneksel radyal VZA modelleri, sadece tam verimli birimleri ortaya koymaları, verimsiz faaliyet gösteren birimlerin girdilerindeki aşırılıkları ve çıktılardaki noksanlıkları bir diğer ifadeyle aylak değerleri dikkate almamaları nedeniyle eleştirilmektedir [24]. Bu durumda, girdi-çıkıtı değerlerindeki oransal değişime odaklanmadan sadece aylak değişkenleri dikkate alan SBM (slacks-based measure) modelinin kullanımı önerilmektedir [25].

Geleneksel ve radyal özellikli verimlilik modellerinden farklı olarak girdi ve çıktıda aylak-değerlere dayalı olarak kullanılan radyal olmayan modellerin özelliği, yönelimli ve radyal uzaklığa dayalı olmaması ve her zaman uygulanabilir (feasible) olmasıdır [26]. Diğer geleneksel modeller gibi SBM de her bir karar verme birimine ait verimlilik puanlarını ortaya koymaktadır. SBM modelinde girdi ya da çıktıya odaklanma mecburiyeti bulunmamaktadır. Radyal modellerde bir karar verme biriminin verimli olması için verimlilik skorunun bire (1), girdiye ve çıktıya ait aylak değişkenlerin ise sifra (0) eşit olması gerekmektedir [25]. Çoğu durumda ise çok sayıda aylak değişken ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sadece radyal modellerin kullanılması yoluyla performans değerlendirmesi ve elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre karar alınması, karar verme birimlerinin yöneticilerini beklenen hedeflere götürmeyebilecektir. Hâlbuki SBM modelinde girdi ve çıktıya ait aylak değişkenleri aynı anda hesaba katarak verimli faaliyet gösteren karar verme birimleri tespit edilmektedir [24]. SBM modelinin farklı yönü, verimli puana ulaşabilmek için belirli miktar çıktı ve girdi azaltılarak kullanılmasının gerekmesidir.

P, üretim imkânları kümesi; x girdi; y çıktı; λ girdi ve çıktıya ait ağırlık katsayısı; s⁻ ise girdiye ait aşırı (aylak) değeri ifade etmek üzere SBM modeline ait matematiksel denklem (6-9) aşağıda verilmiştir. Özetle, n adet karar verme birimine ait s⁻

miktarda aylak değere sahip m adet girdi kullanılarak s⁺ miktarda aylak değere sahip s adet çıktı elde edilmektedir. x_{i0} KVBO tarafından kullanılan r girdisinin miktarını, y_{r0} ise KVBO tarafından kullanılan i çıktısının miktarını ifade etmektedir.

$$p = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}}} \quad (6)$$

$$p = (x, y) \quad x \geq x\lambda, \lambda = 1 \quad (7)$$

$$\sum_j \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, x\lambda + s^- \leq 1 \quad (8)$$

$$x_0 = x\lambda + s^- \quad y_0 = y\lambda - s^+ \quad \lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \quad (9)$$

3.1 VZA'nın Sınırlılıkları

Veri zarflama analizinin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır [23],[26],[27]. Bunlar; (i) karar verme birimleri homojen olmalı, (ii) girdi ve çıktı değişkenlerinin toplamının en az üç katı sayıda karar verme birimi bulunmalıdır (iii) girdiler artarken çıktılar azalmamalı, her iki tarafın yoğunluğu dengeli (isotonicity) olmalıdır. Bu varsayımların sağlanması sağlıklı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır [26]. Ayrıca, oluşturulan girdi ve çıktı setinin, üretim imkânları kümesini oluşturduğu varsayılmalıdır [21].

3.2 Araştırma Sorusu

Çalışmada, kamu hastanelerinde enerji verimliliğine yönelik mevcut durumu değerlendirmek amacıyla oluşturulan araştırma sorusu: (i) Sağlık Bakanlığı hastanelerinde enerji verimliliği düzeyi nedir? (ii) Hangi faktörler enerji verimliliğini sektöre uğratmaktadır?

Çalışma kapsamına alınan karar verme birimleri, kamu sektöründe faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığına bağlı aynı ilde bulunan 20 hastaneden oluşmaktadır. Hastanelerden biri eğitim ve araştırma hastanesi, biri özel dal hastanesi, 18 hastane ise genel nitelikli devlet hastanesidir. Hastanelerin 2016 yılına ait enerji tüketim miktarları, Sağlık Bakanlığından alınmıştır.

Araştırma sorusu kapsamında ele alınan değişkenlerin, hastanenin vaka karmasını yansıtmaması nedeniyle karar verme birimlerinin homojen oldukları varsayılmaktadır [28].

3.3 Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Veri zarflama analizinde girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi önem arz etmektedir. Modele dâhil edilen veri sayısı ve bileşenine bağlı olarak karar verme birimlerinin görece etkinliğine yönelik ulaşılan sonuçlar farklılık göstermektedir. Bu nedenle girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesinde önceki çalışmalarda kullanılan değişkenler dikkate alınmıştır [29],[30].

Diğer yandan girdi ve çıktı değişkenlerinin seçiminde birtakım faktörler rol oynamaktadır. Verilerin bulunabilirliği ve karar

verme birimlerindeki süreçlerin yapısı bu faktörlerden bazılarıdır. Diğer yandan girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı da önem taşımaktadır. Genel olarak, girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısının, karar verme birimlerinin sayısının 1/3'ünden fazla olmaması kabul görmektedir [27].

Kullanılan değişkenler elektrik tüketim miktarı, doğalgaz tüketim miktarı, su miktarı, oturma alanı, ayaktan hasta sayısı, yatan hasta sayısı, ameliyat sayısı ve personel sayısıdır. Hastanelerde hizmet sunum süreci boyunca kullanılan önemli kaynaklardan biri enerjidir [3],[4]. Hastanelerde kullanılan ekipmanların çoğunluğu elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Hijyen sağlamak amacıyla sağlık personelinin el yıkama sürecinde yatan hastaların sağlık ve otelcilik hizmetlerinden yararlanması sırasında su kullanılmaktadır. Hastanelerde kapalı alan ortamının ısıtılması ve lisanssız elektrik üretimi için doğalgaz kullanılmaktadır.

Enerji kullanım değişkenleri bağlamında belirlenen girdi ve çıktılar, bir kamu hastanesindeki sağlık hizmetleri üretim sürecini yansıttığı varsayılmıştır. Toplam değişken sayısı sekiz olup karar verme birimi sayısının yarısından daha az düzeyde olduğundan VZA sınırlılığını karşılamaktadır.

Elektrik tüketim miktarı (kWh), bir hastanedeki yıllık toplam elektrik tüketim miktarını (Kwh); doğalgaz tüketim miktarı (kWh), bir hastanedeki yıllık toplam harcanan doğalgaz miktarını (kwh); su miktarı (m³), bir hastanedeki yıllık toplam tüketilen su miktarını (m³); toplam oturma alanı, hastanenin mimari projesinde yer alan toplam oturma alanını (m²); yıllık toplam ayaktan hasta sayısı, ilgili yılda sağlık hizmeti almak amacıyla hastaneye başvuran hastalardan ayakta teşhis ve tedavi edilen hasta sayısını; yıllık toplam yatan hasta sayısı, ilgili yılda sağlık hizmeti almak amacıyla hastaneye başvuran hastalardan yatırılarak sağlık hizmeti verilen hasta sayısını; toplam ameliyat sayısı, bir hastanede yıllık olarak gerçekleştirilen tüm cerrahi prosedürlerin sayısını; toplam personel sayısı, bir hastanede ilgili yılda çalışan toplam personel sayısını ifade etmektedir.

Seçilen girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin düzeyi korelasyon analizi ile tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Değişkenlere ait korelasyon analizi bulguları

	Toplam Oturma Alanı (m ²)	Toplam Poliklinik Sayısı	Yatan Hasta Sayısı	Toplam Ameliyat Sayıları	Toplam Personel Sayısı	Su Miktarı	Yakacak Miktarı	Elektrik Miktarı
Toplam Oturma Alanı (m ²)	1							
Toplam Poliklinik Sayısı	0,75	1						
Yatan Hasta Sayısı	0,78	0,91	1					
Toplam Ameliyat Sayıları	0,77	0,98	0,91	1				
Toplam Personel Sayısı	0,81	0,98	0,93	0,99	1			
Su Miktarı	0,72	0,97	0,87	0,97	0,96	1		
Yakacak Miktarı	0,59	0,72	0,71	0,71	0,71	0,67	1	
Elektrik Miktarı	0,77	0,96	0,89	0,98	0,98	0,95	0,79	1

Yapılan analizde, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki Spearman korelasyon analizi katsayıları 0,59 ile 0,99 arasında değişim göstermektedir. Katsayılar, girdi ve çıktı değişkenleri arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir. Bu durumda VZA varsayımları yerine getirilmiş olup çalışmada girdi yönelimli BCC modeli, girdi yönelimli SBM

modeli ve yönelimsiz (non-oriented) SBM modeli ile hastanelerin enerji verimlilik düzeyleri belirlenmiştir.

3.4 Karar Verme Bilimlerine Ait Verilerin Analizi

Bu çalışmada aynı mevsimsel özelliklere sahip bir bölgede bulunan 20 hastanenin görece enerji verimliliği düzeyleri, doğrusal programlama ile bazı kısıtlar altında Open Source Data Envelopment Analysis (OSDEA GUI) Solver versiyonu 0.2 ile belirlenmiştir.

Bu amaçla toplam oturma alanı, yıllık toplam ayaktan hasta (poliklinik sayısı), yıllık toplam yatan hasta sayısı, tüm gruplarda toplam ameliyat sayısı, toplam personel sayısı girdi değişkenleri olarak elektrik enerjisi tüketim miktarı (kWh), doğalgaz tüketim miktarı (kWh) ve su miktarı (m³) çıktı değişkeni olarak kullanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak belirlenen enerji tüketim miktarları, hastanelerde sunulan sağlık hizmetinin kalitesini belirleyip etkileyebilecek özellikte değildir. Bu nedenle enerji tüketim miktarları, farklı sektörlerde yapılacak enerji verimliliği çalışmalarında azaltılması amaçlanan girdi değişkeni olarak kullanılabilir.

Bu çalışma sağlık sektöründe enerji verimliliğini analiz etmeye odaklandığından girdi olarak kullanılan enerji tüketim miktarlarının az olması beklenmektedir. Bu durumda en az girdi ile çıktıya ulaşmaya çalışan birimler verimli olarak değerlendirilecektir. Matematiksel denklem (10-13) aşağıda gösterilmektedir.

$$p = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{y_{r0}}} \quad (10)$$

$$p = (x, y) \quad x \geq x\lambda, \lambda = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, s^- \geq 0, x\lambda + s^- \leq 1 \quad (12)$$

$$x_0 = x\lambda + s^- \quad y_0 = y\lambda - s^+ \quad \lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \quad (13)$$

Bu amaçla öncelikle girdi yönelimli BCC modeli kullanılmıştır. Daha sonra ise aylık değerlere odaklanan SBM modeli kullanılarak verimlilik puanı 1 olan verimli birimler kendi aralarında sıralanmıştır. SBM modelinde, lambda (λ) değerleri sıfırdan farklı olan karar verme birimleri, diğer karar verme birimlerinden bazıları için referans grubu oluşturmakta ve referans grupta yer alan karar verme birimlerinin lambda (λ) toplamı 1'e eşit olmaktadır. Referans grupta yer alan karar verme birimlerinin lambda (λ) değeri 1 olanlar çıkarılarak verimlilik sıralaması oluşturulmuştur.

4 Bulgular ve tartışma

Çalışmada Türkiye'de bir ilde faaliyet gösteren 20 hastanenin enerji tüketimi düzeyleri (enerji girdileri) ve enerji tüketimi ile ilişkili olan çıktı değişkenleri önceki çalışmalar doğrultusunda belirlenmiştir. Girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik tanımlayıcı bulgular Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Girdi ve çıktılara ait tanımlayıcı bulgular

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Su miktarı	20	180	103404	17657	26909
Doğalgaz miktarı	20	0	16095511	4077264	5077346
Elektrik miktarı	20	19581	8490153	1305629	1993676
Oturum alanı	20	641	45348	7666	11218
Ayaktan hasta sayısı	20	25665	1953507	411560	484712
Yatan hasta sayısı	20	54	59436	10585	14871
Ameliyat sayısı	20	106	60322	9312	14296
Personel sayısı	20	52	2152	341	492

VZA, farklı birim ve türde ölçülebilir çok sayıda değişken yardımıyla karar verme birimleri arasında karşılaştırmalı değerlendirme yapmaya imkân vermektedir. Bu nedenle çalışmanın odak noktasında yer alan sağlık sektöründe girdi olarak kullanılan değişkenlerden biri olarak değerlendirilebilecek enerji kullanım değerleri, elektrik ve gaz için kWh/yıl olarak su için ise m³/yıl birimi ile analize katılmıştır.

Araştırma kapsamına alınan hastaneler H1, H2 şeklinde kısaltılmıştır. Her üç modelde de 1 verimlilik puanına sahip olan hastaneler aynı olup bunlar H1, H3, H8, H9, H10, H15, H16, H17, H19'dur. Söz konusu hastanelerde enerji kaynakları verimli kullanılmaktadır. Verimlilik puanları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: KVB'lerine ait VZA sonuçları

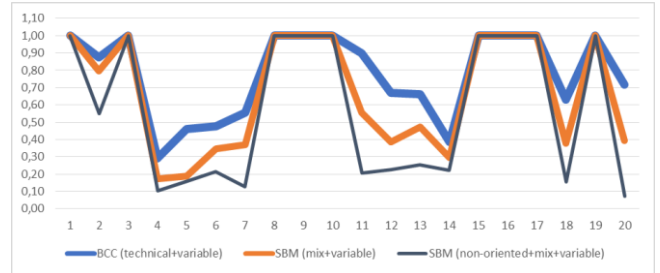
KVB	BCC (teknik verimlilik+ölçeğe göre değişken getiri)		SBM (karma verimlilik+ölçeğe göre değişken getiri)		SBM (yönelimsiz+karma verimlilik+ölçeğe göre değişken getiri)	
	Verimlilik Puanı	Verimlilik Durumu	Verimlilik Puanı	Verimlilik Durumu	Verimlilik Puanı	Verimlilik Durumu
H1	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H2	0.88		0.80		0.55	
H3	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H4	0.29		0.17		0.11	
H5	0.46		0.19		0.16	
H6	0.48		0.34		0.21	
H7	0.56		0.37		0.13	
H8	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H9	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H10	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H11	0.90		0.56		0.21	
H12	0.67		0.38		0.22	
H13	0.66		0.47		0.25	
H14	0.38		0.30		0.22	
H15	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H16	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H17	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H18	0.63		0.38		0.16	
H19	1.00	Evet	1.00	Evet	1.00	Evet
H20	0.72		0.39		0.07	

Ort. 0.78 0.67 0.59

Tablo 3 incelendiğinde, araştırma kapsamında yer alan yirmi hastaneden dokuz hastanenin (toplam hastanelerin %45'i) enerji verimli faaliyet gösterdiği görülmektedir. Verimlilik puanı 1 olan hastanelerin, girdi ve çıktı düzeylerinde herhangi bir değişikliğe gitmeleri gerekmemektedir. Diğer 11 (%55) hastanenin ise verimli faaliyet göstermeleri için tam verimli hastaneleri referans olarak farklı oranlarda girdilerini azaltmaya gitmeleri ve bu konuda önlem almaları gerekmektedir. Girdi yönelimli değişken ölçek varsayımına dayalı BCC modelinden elde edilen enerji verimliliği düzeyinin tüm hastaneler için farklılık gösterdiği bulunmuştur. En düşük verimlilik düzeyinde faaliyet gösteren karar verme birimi H4'tür. Karar verme birimlerinin minimum enerji verimliliği %29, en yüksek enerji verimliliği düzeyi ise %100 düzeyindedir. Enerji verimli olmayan karar verme birimlerinin %91'i ortalamanın altında faaliyet göstermektedir. Elde edilen bulgular, en çok referans olan ve ağırlık katsayıları görece daha yüksek olan H15'in enerji verimliliği açısından birinci sırada faaliyet gösterdiğini, onu takiben en verimli hastanelerin ise H10, H19, H8, H9, H3 ve H17 olduğunu göstermektedir.

Girdi yönelimli ve değişken ölçekli BCC modeli uygulaması sonucu elde edilen verimlilik puanı ortalaması 0.78, girdi yönelimli ve değişken ölçekli SBM modelinden elde edilen verimlilik puan ortalaması 0.67 ve yönelimsiz SBM modeli uygulamasından elde edilen verimlilik puan ortalaması 0.56 olup hastaneler özelinde sağlık sektörünün enerji verimli faaliyet göstermediği görülmektedir. 9 hastane, enerji verimliliği açısından diğer 11 hastaneden daha verimli faaliyet göstermektedir.

Aylak değişkenlerin dikkate alınarak verimlilik skoru elde edilebilmesi için BCC modeline ilave olarak girdi yönelimli ve yönelimsiz SBM modeli uygulanmıştır. Böylece karar verme birimlerinde oluşan aylak değerler de göz önünde tutularak verimlilik skorları yeniden hesaplanmıştır. Hastanelerin üç modelden elde ettikleri enerji verimliliği puan düzeyleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Girdi yönelimli radyal ve radyal olmayan ile yönelimsiz radyal olmayan VZA modellerinden elde edilen enerji verimliliği puanları

Şekil 1 incelendiğinde, 9 hastanenin veri zarflama analizinde verimlilik sınırını ve verimli olmayan hastaneler için referans setini oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca girdi yönelimli radyal ve radyal olmayan modellerin uygulanmasıyla elde edilen verimlilik puanlarında farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Ancak verimli faaliyet gösteren dokuz hastanenin, üç modelin uygulanması sonucunda verimlilik düzeylerinde değişiklik olmadığı bulunmuştur. Hem radyal hem de radyal olmayan modele göre 9 hastanenin tam verimlilik puanına sahip olmaları tam verimli olduklarını göstermektedir. 9 hastanenin girdi ve çıktı değişkenlerine ait aylak değerleri sıfıra eşittir.

Girdi yönelimli SBM modeline göre karar verme birimlerinin minimum enerji verimliliği %17, en yüksek enerji verimliliği düzeyi ise %100 düzeyindedir. Yönelimsiz SBM modeline göre ise karar verme birimlerinde en düşük enerji verimliliği düzeyi, %7 ile H20'ye aittir.

Verimlilik puanı birden farklı olan birimlerde ise uygulanan model türüne göre farklılık göstermektedir. Örneğin BCC modeline göre %90 verimlilik düzeyinde faaliyet gösteren H11'in yönelimsiz SBM modeline göre verimlilik puanı %21'e düşmüştür. Benzer şekilde her uygulanan modele göre verimli faaliyet göstermeyen birimlerin sıralamalarında da değişimler meydana gelmiştir. Girdi yönelimli radyal ve radyal olmayan modeller kullanıldığında en verimsiz (20. sırada) faaliyet gösteren birim H4 iken yönelimsiz SBM modeli uygulandığından enerji tüketim verimliliği açısından H4, 19. sıraya yükselmiştir. BCC modelinin uygulanmasından elde edilen yüksek skor, radyal ölçümde sıfırdan farklı aylak miktarların göz ardı edildiğini göstermektedir. Karar verme birimlerinden verimli faaliyet göstermeyenler, BCC ile yapılan ölçüme göre SBM modelinin aylak değişkenleri dikkate alması nedeniyle daha düşük verimlilik puanına sahip olmuşlardır.

En verimsiz ve verimli hastanelerin verimlilik puanları arasındaki değişim aralığının genişliği, sağlık sektöründe hastane düzeyinde enerji verimliliği açısından büyük ölçüde dengesiz dağılım olduğunu göstermektedir.

5 Sonuç

Bu çalışmada, sağlık alanında geniş kullanım olanağı bulan veri zarflama analizinden yararlanarak araştırma kapsamına alınan hastanelerin enerji kullanım verimlilikleri değerlendirilmiştir. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiye dayalı bir verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan teknik verimlilik ölçümü, 2016 yılı için hastanelerin %45'inin enerji kullanım düzeylerinin verimli olduğunu göstermektedir.

Diğer hastanelerin, referans hastanelerin enerji tüketim değerlerini kullanarak iyileştirme yapmaları gerekmektedir. Örneğin, hastane 2'nin verimlilik puanı 0.55 ve referans set hastaneleri H9, H17 ve H19'dur. Bu hastane verimli olabilmek için girdi amacıyla kullandığı enerji tüketim değerlerini azaltması önerilebilir. Bu hastane elektik tüketimini verimli kullandığı ancak, yakıt tüketimini 7970912 kWh/yıl'den 7398824 kWh/yıl'e ve su tüketimini 61361 m³/yıl'den 42438 m³/yıl'e düşürebilirse verimlilik sınırına gelebilecektir. Girdilerinde en çok azaltmayı yapması gereken hastane ise H4'tür. Hesaplamalara göre önerilen tüketim değerleri 11 hastane için mevcut duruma kıyasla daha az düzeyde gerçekleştirilmelidir. Verimsiz hastanelerde etkin ve verimli bir enerji yönetimi süreci için stratejik önlemler alınmalıdır.

Hastanelerin bulunduğu bölge açısından değerlendirildiğinde, elektrik ve ısınma ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılması mümkündür. Önceki çalışmalar güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik tüketiminde %80 tasarrufla sonuçlandığına işaret etmektedir. Hastanelerde buya yönelik iyi uygulama örnekleri mevcuttur. Örneğin Çorum Erol Olçok Eğitim ve Araştırma Hastanesinde 190.000 kWh enerji, güneş panellerinden sağlanmakta ve bu sayede yıllık (2017 rakamları ile) 5.5 Milyon TL enerji, 155.000 TL ise tasarrufu sağlanmaktadır [27].

Diğer bir çalışmada, hastanelerin yeşil bina olarak tasarlanması durumunda konvansiyonel binalara göre enerji kullanımında %24-50 ve su tüketiminde %30-50 azalma sağlanabileceği bulunmuştur [32].

Bakaimis ve Papanikolou tarafından yapılan çalışma, Yunanistan'da bir hastanede yıllık ortalama elektrik giderinin, fotovoltaiik modüller ve ışık yayan diode (LED) aydınlatma kullanarak %45'e kadar tasarruf edilebildiğini ortaya koymuştur [33]. Bu ve benzeri çalışmalar nedeniyle, enerji tasarrufunun sağlanması, enerji verimliliği sağlamanın en geleneksel yolu olarak gösterilmekte, bu doğrultuda politika yapımcılarca enerji tasarrufunu teşvik eden yasa ve düzenlemeler yapılarak yürürlüğe konmaktadır. Ayrıca çevresel duyarlılık içindeki kamu örgütlerinin, yeşil bina kriterlerini karşılama yolunda adımlar attığı görülmektedir. Bu bağlamda, sağlık sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanmasında hem enerji ihtiyacının karşılanacağı ekonomik kaynakların oluşturulması hem de enerji tüketimi sürecinin verimliliğinin sağlanması önem arz etmektedir.

Bu nedenle Türkiye genelinde faaliyet gösteren tüm kuruluşların enerji verimlilik analizlerini gerçekleştirerek mevcut durumu ortaya koymaları, yıllar bazında oluşan farklılıkları ve bunların nedenlerini tespit etmeleri, benzer özellikteki kuruluşlarla performanslarını karşılaştırabilmeleri gerekmektedir. Elde edilecek bulgular enerji verimliliği ve performans yönetimi açısından kanıt sağlamaktadır.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu sınırlılıklardan biri, kamu hastanelerine yönelik verilerin oldukça kısıtlı olmasıdır. Bu nedenle bina teknolojisi, aydınlatma sistemi, yalıtım sistemi gibi değişkenlerin ilave edilmesi ile yapılacak çalışmalar önemli bulgular ortaya koyabilecektir. Ayrıca, enerji tüketimi açısından yüksek tüketim grubunda yer alan tüm kuruluşların kapsama alındığı ve mevsim değişiklikleri ayarlı enerji kullanım düzeylerinin dâhil edildiği enerji verimliliği çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

6 Kaynaklar

- [1] Williams JM, Griffiths AJ, Jones D, Eaton PN. "Energy consumption in large acute hospitals". *Energy&Environment*, 6(2), 119-134, 1995.
- [2] Gonzalez AG, Justo GSC, Salgado DR. "Evaluation of energy consumption in German hospitals: Benchmarking in the hospital sector". *Energies*, 11(9), 1-14, 2018.
- [3] Yolci M, Tanyıldızı H. "Sağlık işletmelerinde faaliyet tabanlı maliyet analizi: Özel bir hastanede radyoloji birim maliyetlerinin hesaplanması". *Hittit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 2288-2303, 2018.
- [4] Bengü H, Arslan S. "Hastane İşletmesinde Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Uygulaması". *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 1(2), 55-78, 2009.
- [5] Sarıca K. "Parametrik ve parametrik olmayan verimlilik değerlendirme ve karşılaştırılması: Türkiye elektrik santralleri örneği". *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 22(3), 21-42, 2017.
- [6] Atan S, Şahin E. "Türkiye ile bazı OECD ülkelerinin elektrik üretim sektörleri için verimlilik ve etkinliklerinin karşılaştırmalı analizi". *Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 19(3), 845-867, 2017.
- [7] Bağdadıoğlu N, Price CMW, Weyman-Jones TG. "Efficiency and ownership in electricity distribution: a non-parametric model of the Turkish experience". *Energy Economics*, 18, 1-23, 1996.
- [8] Öztöp H, Güven S. "Kadınların enerji tasarrufuna ilişkin bilgileri". *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 10(10), 17-25, 2006.

- [9] Şimşek N. "Türkiye'nin çevresel enerji etkinliği ve toplam faktör verimliliği". *Ege Akademik Bakış*, 11(3), 379-396, 2011.
- [10] Deliktaş E, Günel GG. "Measurement of energy use efficiency in upper- middle, upper-middle- and high-income countries: a data envelopment analysis". *Yönetim ve Ekonomi*, 24(2), 407-422, 2017.
- [11] Önder H, Polat A. "Enerji tüketiminin GSYİH ile ilişkisi: OECD ülkeleri panel veri analizi". *Marmara Journal of Economics*, 2(1), 105-116, 2018.
- [12] Koçak İ, Boran K. "Türkiye'deki illerin elektrik tüketim etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi". *Politeknik Dergisi*, 22(2), 351-365, 2019.
- [13] Çam S, Sigeze Ç, Ball E. "Türkiye'nin enerji verimliliğinin yapay sinir ağı ve ARDL yaklaşımı ile analizi". *Ege Akademik Bakış*, 18(4), 661-670, 2018.
- [14] Sağlık Bakanlığı. "Sağlık Bakanlığı İstatistik Yıllığı 2017". <https://www.saglik.gov.tr/TR,11588/istatistik-yilliklari.html>. (01.04.2019)
- [15] Barsbay MÇ. Energy Efficiency in the Turkish Health Sector. Editors: Aydın C, Darıcı B, Handbook of Energy and Environment Policy, 45-54, Berlin, Peter Lang, 2019.
- [16] Teke A, Timur O, Zor K. "Calculating payback periods for energy efficiency improvement applications at a university hospital". *Çukurova Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 41-56, 2015.
- [17] Beypazarlı Ş, Ayar H, Aktaş M. "İklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliği ve konfor artışı için alternatif bir yöntemin analizi". *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2): 52-65, 2016.
- [18] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444, 1978.
- [19] Banker RD, Charnes A, Cooper WW. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science*, 30(9), 1078-1092, 1984.
- [20] Yıldırım HH. "Piyasa, sağlık bakımı ve piyasa başarısızlıkları". *Amme İdaresi Dergisi*, 31(1), 123-134, 1999.
- [21] Çakmak M, Öktem MK, Ömürgönülşen Ü. "Türk kamu hastanelerinde teknik verimlilik sorunu: Veri zarflama analizi tekniği ile sağlık bakanlığına bağlı kadın doğum hastanelerinin teknik verimliliklerinin ölçülmesi". *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 12(1), 1-36, 2009.
- [22] Coelli T. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Center for Efficiency and Productivity Analysis, CEPA Working Paper, University of New England.
- [23] Dirik C, Şahin S, Engin P. "Environmental efficiency evaluation of Turkish cement industry: an application of data envelopment analysis". *Energy Efficiency*, 12, 2079-2098, 2019.
- [24] Tone K. "A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis". *European Journal of Operational Research*, 130 (3), 498-509, 2001.
- [25] Zhang L. "An additive super efficiency DEA approach to measuring regional environmental performance in China". *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 55(3), 211-226, 2017.
- [26] Lu B, Wang S. "DEA Conceptual Exposition and Literature Review". Container Port Production and Management, Singapore, Springer, 2017.
- [27] Boussofiene A, Dyson R, Rhodes E. "Applied Data Envelopment Analysis". *European Journal of Operational Research*, 2(6), 1-15, 1991.
- [28] Ozcan YA. "Health Care Benchmarking and Performance Evaluation: An Assessment using Data Envelopment Analysis (DEA)". Springer Science & Business Media, 2014.
- [29] Lee W-S. "Benchmarking the Energy Efficiency of Government Buildings with Data Envelopment Analysis". *Energy and Buildings*, 40(5), 891-895, 2008.
- [30] Önüt S, Soner S. "Energy efficiency Assessment for the Antalya Region Hotels in Turkey". *Energy and Buildings*, 38, 964-971, 2006.
- [31] Erol Olçok Eğitim ve Araştırma Hastanesi LEED NC Healthcare Sertifikası Aldı. <https://www.ecobuild.com.tr/single-post/2018/01/30/Erol-Olcok-Egitim-ve-Arastirma-Hastanesi-LEED-NC-Healthcare-Sertifikasi-Aldi>, (01.10.2018).
- [32] Hoşgör H. "Yeşil hastane konsepti ve Türkiye deneyimi". *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 1(2), 75-84, 2014.
- [33] Bakaimis B, Papanikolaou I. "Electrical Energy saving policies, initiatives, results, challenges and lessons Learned for the Grevena Hospital". *Procedia Environmental Sciences*, 38, 882-889, 2017.