



Hastaneler İçin Diğer Binalara Göre Farklı Enerji Verimliliği Uygulamaları

Mustafa Zeki Yılmazoğlu¹

ÖZ

Bu çalışmada, hastaneler özelinde diğer bina tiplerinden farklı olan bazı enerji verimliliği uygulamaları ele alınmıştır. Hastaneler, diğer bina tiplerinden enerji tüketimi açısından farklı bir yapıya sahiptir. Enerji kullanım yoğunluğu yüksek olan bu bina tipinde özellikle tasarım ve işletme açısından farklı enerji verimliliği uygulamaları mevcuttur. 2023 yılına kadar enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü olan binalarda referans değere göre en az %15 enerji tasarrufu sağlanması zorunluluğu bulunmaktadır. Uygulama rehberinde belirtilen enerji verimliliği uygulamalarına ek olarak, bu çalışmada, hastanelerde diğer binalardan farklı olan bazı enerji verimliliği uygulamaları belirtilmiştir. Özellikle bina otomasyonu ile basınç ilişkileri korunarak kullanım dışı zamanlarda ameliyathanelerdeki debi azaltımı (gece modu), yoğun bakımlarda H13 yerine F9 filtre kullanımı ve basınçlı hava sisteminde basıncın mümkün olan en düşük değere göre ayarlanması ve atık ısıdan ısı pompaları ile faydalanılması ele alınmıştır. Ameliyat olmadığında klima santrallerini gece modunda çalışma ile vantilatör ve aspiratörden %25 debi azaltımı için yaklaşık %33.7 enerji tasarrufu imkanı olduğu hesaplanmıştır. Yoğun bakımlarda H13 yerine F9 filtre kullanımı ile Türkiye genelinde işletme maliyetinden 40,640,000 TL tasarruf edilebileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hastane, enerji verimliliği, ameliyathane, yoğun bakım, basınçlı hava

Particular Energy Efficiency Applications for Hospitals Compared to Other Buildings

ABSTRACT

In this study, energy efficiency applications that differ from other building types in hospitals are discussed. Hospitals have a different characteristic from other building types in terms of energy consumption. There are different energy efficiency applications especially in terms of design and operation in this building type with high energy usage intensity. There is an obligation to achieve at least 15% energy saving compared to the reference value in buildings that are obliged to appoint an energy manager until 2023. In addition to the energy efficiency applications specified in the application guide, some energy efficiency applications in hospitals that are different from other buildings are specified in this study. In particular, by preserving pressure relations with building automation flow rate reduction in operating rooms during non-use hours (night mode), use of F9 filters instead of H13 in intensive care units, adjustment of the pressure in the compressed air system to the lowest possible value and utilization of waste heat with heat pumps were discussed. It was calculated that there is a 33.7% energy saving opportunity for 25% air flow reduction from the ventilator and aspirator by operating the air handling units in night mode in the absence of surgery. It was also found that 40,640,000 TL can be saved in operating costs across Turkey by using F9 filters instead of H13 in intensive care units.

Keywords: Hospital, energy efficiency, operating room, intensive care, compressed air

Geliş/Received : 27.07.2021
Kabul/Accepted : 04.10.2021

¹ Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara
zekiyilmazoglu@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7874-768X



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Hospitals are buildings where energy consumption is intense, different air conditioning requirements must be met in each zone, and energy, especially electrical energy, must be provided uninterruptedly. The continuity of the energy is of vital importance for the smooth operation of medical devices and the pressure relations between the air conditioning systems that serve different areas of the hospitals and the spaces between each other. It was determined by the circular letter that public buildings, which are required to appoint an energy manager, should achieve 15% energy savings by the end of 2023. Hospitals, with their different structures and operating characteristics, have the potential to save energy apart from the measures to be taken in other buildings.

Objectives

Considering the savings potential and the circular, the improvements that can be made in hospitals and effective energy management will both reduce annual energy consumption and minimize the risk of cross-contamination by operating the systems efficiently and properly. In this context, first of all, design and operation evaluations in terms of HVAC systems in intensive care will be examined. The effects of choosing a filter with a higher class than it should be on the annual energy consumption are given with examples. Single room arrangement in intensive care units, reduced airflow rate applications in operating theaters, measures that can be taken in compressed air systems are discussed within the scope of this study. It is aimed to examine the effects of energy consumption by reducing the airflow rate in operating rooms during non-use hours, reducing the compressor outlet pressure in compressed air systems, and using the waste heat of the compressor with heat pumps to produce hot tap water.

Methods

In the study, the necessity of taking different measures to ensure energy efficiency in hospitals is discussed with engineering approaches. The metrics in the calculation of energy density in hospitals were examined. To minimize the risk of cross-contamination, infection risks in different zones in the hospitals were calculated with the Wells-Riley approach and the precautions taken were summarized. The amount of savings was calculated by reducing the airflow rate in operating theaters during non-use hours. The effect of using H13 filter instead of the last stage F9 in three-stage filtration in intensive care units on energy consumption was investigated. In addition, the savings that can be achieved by producing hot water through heat pumps by the waste heat of the compressed air systems and reducing the pressure by 1 bar are examined.

Results

The necessity of re-evaluating energy density metrics in hospitals has emerged especially during the pandemic period. The decrease of up to 40% in the number of outpatients with the pandemic has revealed the problem in calculating the energy density per outpatient number. Apart from this, different results have emerged with the pandemic in other metrics. To minimize the risk of cross-contamination, risk analysis was carried out with the Wells-Riley approach at different locations in the hospitals. It was determined that the risk can be reduced from 18.9% to 5.3% by arranging intensive care units as single rooms rather than arena type. It was calculated that approximately 30 MWh per year can be saved from an operating room by reducing the airflow rate by maintaining the pressure relationship in the operating rooms during non-use hours. The effect of the use of H13 filters on electricity consumption in the last stage of three-stage filtration in intensive care units was calculated and it was found that 40640 MWh electricity can be saved annually throughout Turkey. It is explained with application examples that there is a saving potential of about 6% by operating the compressor by reducing the pressure of 1 bar in compressed air systems and that it is possible to produce hot water by utilizing the waste heat with heat pumps.

Discussion and Conclusions

In this study, the circular of the Presidency on energy efficiency in public buildings and the application guide prepared based on this circular are not mentioned for hospitals, but some applications that are a very important energy efficiency opportunity are included. A major expense in the energy consumption of hospitals is HVAC systems, and there are many energy efficiency opportunities in the design, selection, and operation of these systems. Preservation of pressure relations, especially in operating rooms, reducing airflow rate, and designing without using H13 filter in intensive care units are applications that can be considered in terms of HVAC systems and have a very short payback period. In addition, in the risk analysis performed according to the Wells-Riley equation, it was shown that the risk of transmission could decrease from 18% to 5% by designing the intensive care units as single rooms rather than arena type. Compressed air systems are also an important energy expense item in hospitals, which are not commonly found in other buildings. If the appropriate design of these systems and the physical infrastructure allow, adjusting the system pressure to a pressure less than the pressure value specified in the standard and using the waste heat of the compressors with a heat pump are important savings points.



1. GİRİŞ

Hastaneler enerji tüketiminin yoğun olduğu, her bir mahalinde farklı iklimlendirme gereksinimlerinin karşılanması gereken ve enerjinin, özellikle de elektrik enerjisinin, kesintisiz olarak sağlanması gereken binalardandır [1]. Enerjinin sürekliliği gerek tıbbi cihazların sorunsuz çalıştırılması gerekse hastanelerin farklı alanlarına hizmet etmekte olan iklimlendirme sistemleri ve mahallerin birbirleri arasındaki basınç ilişkileri için hayati öneme sahiptir. Yaşamakta olduğumuz pandemi sürecinde hastanelerde çapraz bulaş riskinin minimize edilmesi adına yapılması gerekenler ulusal ve uluslararası öneriler ile paylaşılmıştır [2-5]. Hastane enerji yönetimi ve enfeksiyon kontrol komitelerinin birlikte çalışması gerekliliği bu süreçte daha iyi anlaşılmıştır.

T.C. Cumhurbaşkanlığı'nın yayımlanmış olduğu 2019/18 nolu genelgede [6], enerji yöneticisi görevlendirmesi zorunlu olan kamu binalarının (yıllık 250 TEP (ton eşdeğer petrol) veya toplam inşaat alanı 10,000 m² olan binalar) 2023 yılı sonuna kadar %15 enerji tasarrufu sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Bu genelgeye istinaden Kamu Binalarında Tasarruf Hedefi ve Uygulama Rehberi [7] yayımlanmıştır. Buna göre, 2016-2018 yıllarındaki TEP cinsinden enerji tüketiminin ortalaması referans değer olarak belirlenmiştir. Bu referans değer üzerinden yapılacak enerji verimliliği uygulamaları ile %14 ve altında tasarruf sağlayanlar 'başarısız', %14-16 tasarruf sağlayanlar 'başarılı' ve %16 ve üzeri tasarruf sağlayanların 'üstün başarılı' olarak sınıflandırılacağı belirtilmiştir. Başarısız olan binalardan gerekçeli rapor isteneceği ve 2026 yılı sonuna kadar referans değere göre %18 tasarruf sağlanması yönünde izlemelerin yapılacağı da belirtilmiştir. Uygulama Rehberinde enerji verimliliği önlemi; herhangi bir nihai enerji tüketimi alanında; enerji verimli ekipman ve sistem kullanımı, onarım, modifikasyon, rehabilitasyon ve proses düzenleme gibi yollarla tasarruf sağlanması, gereksiz enerji kullanımının, enerji kayıp ve kaçaklarının önlenmesi veya en aza indirilmesi ile birlikte atık enerjinin geri kazanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi konularda çözümleri içine alan önlemler olarak belirtilmiştir. Ayrıca, uygulanacak enerji verimliliği önlemlerinin ekonomik olarak uygulanabilir olması (aksi belirtilmedikçe basit geri ödeme süresi 10 yıldan kısa olan önlemler) ve uygulanacak enerji verimliliği önlemlerinin yatırım maliyetleri ilgili kurum ve kuruluşun bütçesi, enerji performans sözleşmeleri veya ulusal/uluslararası projeler aracılığı ile karşılanması belirtilmiştir.

Binalarda enerji tüketiminin karşılaştırılması amacıyla çeşitli metrikler kullanılmaktadır. Birim alan başına yıllık enerji tüketimi enerji kullanım yoğunluğu (EKY) olarak tarif edilebilir. Enerji kullanım yoğunluğu, farklı amaçlara hizmet eden binalar için Lombard vd. [8] tarafından hesaplanmıştır. Enerji kullanım yoğunluğu okullarda 262 kWh/m² iken hastanelerde 786 kWh/m² olarak bulunmuştur. Energystar programı kapsamında yapılmış olan bir çalışmada ise [9], EKY hastanelerde 1200-1500 kWh/m² olarak bulunmuştur. Hastaneler en yoğun enerji tüketimine sahip binalar sınıfında

süpermarketlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır. “Yeşil Hastane” konsepti son yıllarda önem kazanmaya başlamış ve bu kapsamda Enerji Yönetimi ön plana çıkmış olan kavramlardan birisidir. Enerji yönetiminden başka hastanelerde, atık yönetimi, tehlikeli madde yönetimi, su yönetimi, emisyon düzenleme sistemi ve yenilikçi ve çevresel tasarımlar da dikkate alınmalıdır ve bütünsel bir bakış açısı ile hastane tasarlanmalıdır. Enerji yönetiminde alınabilecek tedbirler arasında fotovoltaiik paneller, verimli aydınlatma sistemleri, ısılı camlar, doğal havalandırma, bina otomasyon sistemi ve bina yalıtımı önerilmiştir [10]. 700 yataklı bir hastanede enerji tüketim noktalarında bina otomasyon sistemi uygulaması, HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemlerinin kontrolü ve tesisat sistemindeki iyileştirmeler ile yıllık CO₂ salımı 4130 ton azaltılmış ve yıllık yaklaşık %25 enerji tasarrufu sağlanmıştır [11]. Binaların yeşil bina olarak tasarlanması ve işletilmesi ile konvansiyonel binalara göre enerji kullanımında %24-50, katı atık miktarında %70, su tüketiminde %30-50, bakım maliyetlerinde %13 ve CO₂ salımında %33-39 azalma olabileceğini belirtilmiştir [12]. Hastanelerde kullanım alanlarında göre incelendiğinde HVAC sistemlerinin toplam elektrik tüketiminin %26.1’ini oluşturduğu bulunmuştur [16]. Barsbay [18], çalışmasında düşük karbon ekonomisinin şehir hastaneleri özelinde değerlendirmesini yapmıştır ve ÇED raporlarından hastanelerde kullanılan enerji sistemlerini ele almıştır.

Tasarruf potansiyeli ve genelge dikkate alındığında hastanelerde yapılabilecek iyileştirmeler ve etkili enerji yönetimi ile hem yıllık enerji tüketimi azaltılabilecektir hem de sistemlerin verimli ve düzgün çalıştırılması ile çapraz bulaş riski minimize edilebilecektir. Bu çalışmada, işlev ve işletme açısından diğer bina tiplerinden ayrılan hastaneler için genel enerji verimliliği alternatiflerine ek olarak alınabilecek bazı enerji verimliliği uygulamaları ve önerileri ele alınmıştır. Bu kapsamda, öncelikle yoğun bakımlarda HVAC sistemleri açısından tasarım ve işletme değerlendirmeleri incelenecektir. Olması gerekenden fazla bir sınıfa sahip filtre seçiminin yıllık enerji tüketimine etkileri örneklerle belirtilmiştir. Yoğun bakımlarda tekli oda düzenlemesi, ameliyathanelerde azaltılmış debi uygulamaları, basınçlı hava sistemlerinde alınabilecek önlemler bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

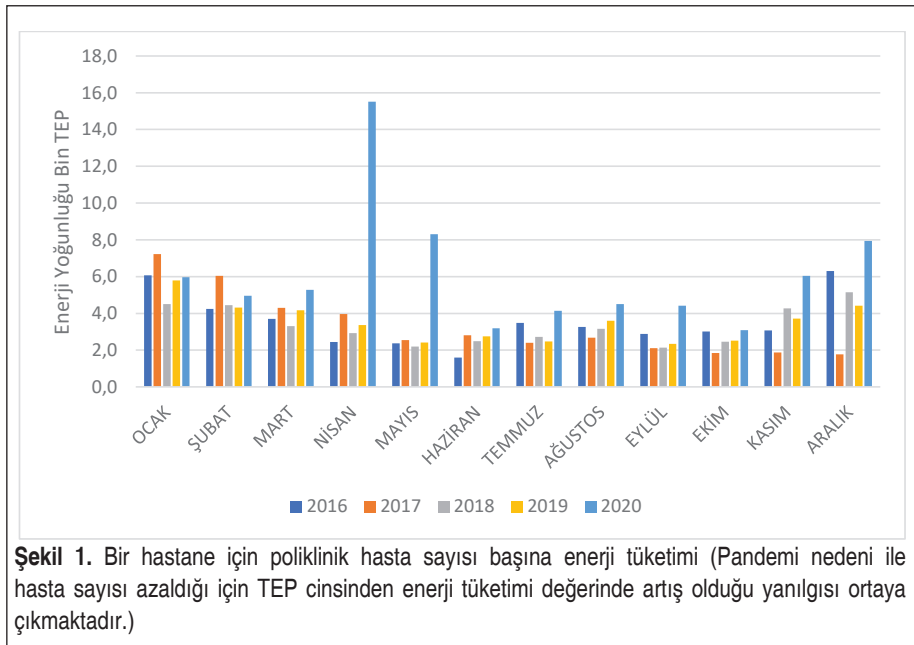
2. HASTANELERİN DİĞER BİNALARA GÖRE FARKLILIKLARI

Hastaneler, enfeksiyon riski nedeni ile diğer bina tiplerine göre daha farklı mekanik sistem işletme karakteristiklerine sahiptir. Ek olarak, sürekli basınçlı hava kullanımı, temiz oda uygulamaları, farklı şiddetlerde aydınlatma ihtiyacı gereksinimleri, verinin işlenmesi ve depolanması için bilgi işlem birimleri, atık depolama vb. gibi birçok özelleşmiş enerji tüketim noktasına sahiptir.

Hastanelerin diğer binalarla aynı metriklerle değerlendirilmesi dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Uygulama rehberine [7] göre yapılacak bildirimlerde, birim alan

başına enerji tüketimi yerine hastaneler için yatak sayısı veya hasta sayısı, çalışma süresi gibi farklı metriklerin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Pandemi dönemi, daha farklı bir metrikle değerlendirmenin yapılması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır (Şekil 1). Bu süreçte hasta sayıları, poliklinikler dikkate alındığında azalmıştır. Yatan hasta sayısı (yoğun bakımlar dahil) ise bölümlere göre değişmekle birlikte bir artış göstermiştir. Bu durumda, yalnızca yatak sayısı veya hasta sayısı ya da personel sayısı başına enerji tüketimi doğru bir karşılaştırma metriği oluşturmayacaktır. Pandemi döneminde yoğun bakımlarda yatak doluluk oranlarındaki artış, bu alanlardaki medical cihazlara ve iklimlendirme sistemine bağlı elektrik tüketimini ve oksijen tüketimi artırmıştır. Bu nedenle, hastaneler için yatak doluluk oranlarının dikkate alınması geçmiş yıllara göre referans değerlerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Normalleşme ile birlikte yalnızca yatak sayısına bağlı enerji tüketimi bu yıla ait değerlerin farklı yorumlanmasına neden olacaktır. Yıllık enerji tüketiminde aylara göre tüketim miktarı belirlenerek yapılacak regresyon analizi ile sabit tüketim miktarı belirlenmelidir ve dış iklim koşullarına göre de yapılacak düzeltme ile daha doğru bir karşılaştırma metriği belirlenebilir.

Uygulama rehberinde [7], binalarda enerji verimliliği için alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Bunlar: 1. Dış cephe yalıtım ve asgari C sınıfı enerji kimlik belgesi, 2. Isıtma ve soğutma sistemleri borularının yalıtımı, 3. Periyodik brülör ayarı, 4. İç ortam sıcaklığının yazın en fazla 24°C, kışın 22°C olarak ayarlanması, 5. Radyatörlerin



Şekil 1. Bir hastane için poliklinik hasta sayısı başına enerji tüketimi (Pandemi nedeni ile hasta sayısı azaldığı için TEP cinsinden enerji tüketimi değerinde artış olduğu yanlışlığı ortaya çıkmaktadır.)

önünün açılması, arkasına yalıtım plakları konulması ve termostatik vana kullanımı, 6. İnfiltrasyon kayıplarının önlenmesi, 7. Verimli pompa sistemlerinin kullanılması, 8. Yılda 2000 h'ten fazla çalışan ve 7.5 kW nominal gücün üzerindeki verimsiz elektrik motorlarının IE3 motorlarla değiştirilmesi, 8. İç ve dış aydınlatmada LED armatür kullanımı, 9. Verimsiz kazanların değiştirilmesi, 10. Kojenerasyon uygulamaları (5 yıldan kısa geri ödeme süreleri uygulanmak üzere), 11. Çatıda fotovoltaik panel kullanımı, 12. Isıtma-soğutmada yüksek verimli ısı pompası kullanımı, 13. Sıcak suyun solar termal sistemlerle karşılanması, 14. Kompanzasyon, 15. Enerji tedariği anlaşmaları, 16. Bina otomasyonu'dur.

Yukarıda belirtilmiş olan uygulamalar binaların hepsi için geçerli olmakla birlikte hastaneler özelinde ilave enerji tüketimi potansiyeli olan alanlar ayrıca belirtilmelidir. Bunlar arasında basınçlı hava sistemlerinde basınç regülasyonu, yoğun bakımlarda filtrasyona göre yapılabilecek tasarruflar ve ameliyathanelerde azaltılmış debi modu çalışması bu çalışma kapsamında detaylandırılacaktır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Hasta ve personel için ısıl konfor şartlarının sağlanmasında standartlarda belirtilmiş olan sıcaklık ve bağıl nem limitleri arasında kontrol, enerjinin verimli kullanımını sağlayabilir [13-15]. Buna göre, ameliyathanelerde (Klas B ve C) tasarım sıcaklıkları 20-24°C ve bağıl nem %20-60 olmalıdır. Yeni doğan yoğun bakım ünitelerinde ise tasarım sıcaklığı ve bağıl nemi sırasıyla 22-26°C ve maksimum %60 olmalıdır. Hastanelerde farklı özelliklere sahip tüm mahallerin ayrı ayrı kontrolü gerekebilir. Bu nedenle, doğru zonlama ile ısıl konfor sağlanabilir. Havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında farklı zonalarda gerekli olan saatlik hava değişim sayıları (ACH) ve basınç farkı ilişkileri de uluslararası standartlarda ve Sağlıkta Kalite Rehberlerinde belirtilmiştir. Pandemi sürecinde çapraz bulaşın önlenmesi için bu basınç ilişkilerinin uygun biçimde sağlanması gerekliliği daha iyi anlaşılmıştır.

Ek olarak, mekanik havalandırma ve taze havanın mahallerde modifiye edilmiş Wells-Riley denkleminde göre [19-21] bulaş riskini azaltması Tablo 1'de hesaplanmıştır. Bu tabloya göre en önemli sonuç, arena tipi yoğun bakımlar yerine tekli yoğun bakımların bulaş riskini önemli ölçüde azaltmasıdır. Mekanik havalandırma sistemleri olmayan hasta odalarında bulaş riskinin ne kadar yüksek olduğu göz önüne alınmalıdır (Tablo 1).

Ameliyathaneler (Klas B ve C) için bir pozitif basınçlandırma, koridor tarafından içeriye sızabilecek kirleticileri önleyecektir. Minimum hava değişim sayısı 20 ve minimum taze hava değişim sayısı 4 olarak belirtilmiştir [13]. Yoğun bakımlarda toplam hava değişimi 6 iken taze hava değişimi 2'dir. Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzunda ise ameliyathaneler için hava değişimi 3 ACH taze hava / 15 ACH toplam olarak belirtilmiştir. Bu değer ASHRAE'nin son yaptığı güncelleme

**Tablo 1.** Hastanelerde Farklı Mahallerde Havalandırma Miktarına Göre Bulaş Riskinin Belirlenmesi

Hastane alanlar	Hasta Sayısı	Personel Sayısı	Alan	Yükseklik [m]	ACH	Debi [m ³ /h]	Süre [h]	Risk
Yoğun Bakım Arena	10	5	230,8	3,2	6	4430	8	18,80%
Yoğun Bakım Tekli	1	1	10,9	3,2	6	210	1	5,34%
Yoğun Bakım İzolasyon Odası	1	1	10,9	3,2	12	419	1	2,71%
Ameliyathane	1	6	50	3,2	25	4000	2	0,57%
Hasta odası	1	1	21	3	0,2	12,6	0,2	31%
Konferans Salonu AHU Açık	1	50	300	3,2	0,8	774	1	1,60%
Konferans Salonu AHU Kapalı	1	50	300	3,2	0,2	200	1	6%

ile 4/20 ACH değerinin de altında olmakla birlikte bu sayıların (3/15 ACH) dayanağı belirtilmemiştir. DIN 1946-4'e göre yapılan bir ameliyathane tasarımında hava değişim sayıları belirtilen minimum değerlerin oldukça üzerinde çıkmaktadır. %100 taze havalı klima santrali ile çalışan mahallerde yüksek hava değişim sayılarının ciddi bir enerji kaybına neden olduğu ortadadır. Karışım havalı klima santralleri ile bu kayıp bir miktar azaltılabilir de ameliyathanelerdeki esas sorun klima santrallerinin otomasyonsuz olarak 7/24 aynı debide ve sıcaklık set değerlerinde çalıştırılmasıdır.

Ameliyathanelerin günün büyük çoğunlukla yaklaşık 8 saatinde aktif olarak kullanıldığı geri kalan zamanda ise aynı debi ile çalışmaya devam ettirildiği düşünülecek olursa ameliyathane ve koridor arasındaki basınç ilişkisinin korunması şartıyla, otomasyon üzerinden varlık sensörü, zaman ayarlı çalıştırma vb. seçeneklerle debinin azaltılması ciddi bir tasarruf noktası olacaktır. Tablo 2'de aynı kapasiteler için %25 ve %40 debi azaltılması seçeneklerinde yıllık tasarruf miktarı belirtilmiştir. Bir klima santralindeki tasarruf miktarı elektriğin birim fiyatının 1 TL kabul edilmesi ile (vergiler dahil) %25 debi azaltımı için yıllık yaklaşık 28,000 TL, %40 debi azaltımı için 38,000 TL olmaktadır.

Yoğun bakımlarda T.C. Sağlık Bakanlığı'nın denetlemelerinde kullanılan değerlendirme formu, erişkin yoğun bakımlarında merkezi havalandırmanın olmasını, en az %90 filtrasyon sağlayan saatte 6 hava değişimi yapabilen, sıcaklığı 22-28°C ve bağıl nemin %30-60 aralıklarında ayarlanabildiği merkezi iklimlendirme sistemi tarif edilmiştir. Burada belirtilen sıcaklık aralığı Asgari Tasarım Standartları Kılavuzundan (21-24°C)

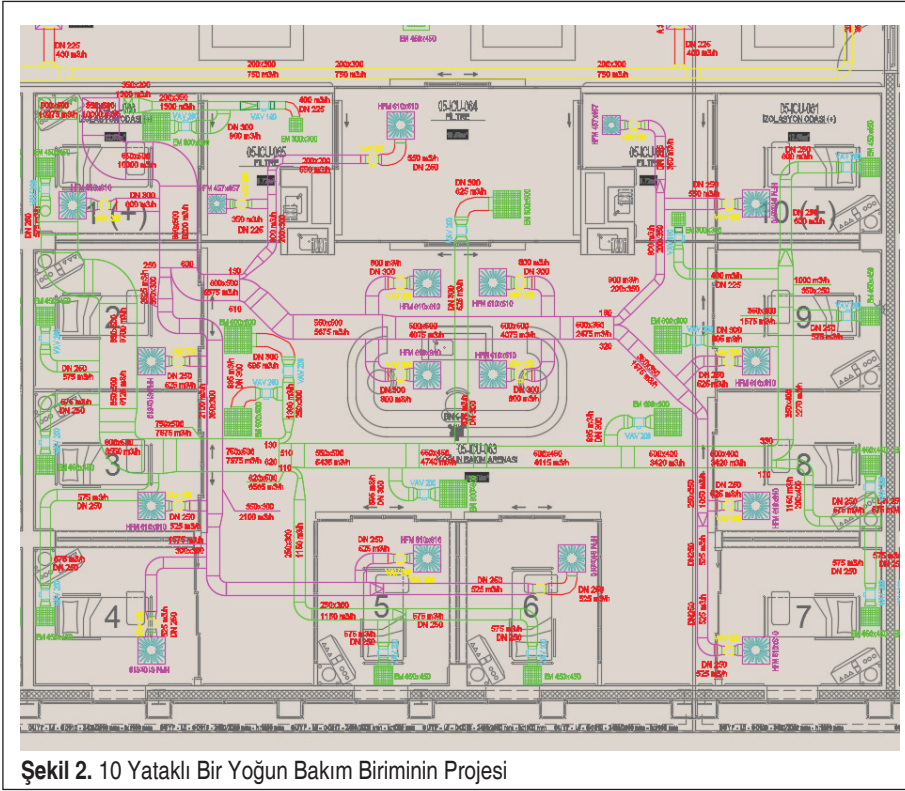
Tablo 2. Ameliyathanelerde Basınç İlişkisinin Korunması Şartıyla Debinin %25 ve %40 Azaltılması Durumlarında Enerji Tüketimleri

	Normal çalışma	%25 debi azaltımı	%40 debi azaltımı
Vantilatör gücü [kW]	5.5	2.32	1.19
Aspiratör gücü [kW]	4	1.69	0.87
Otomasyonlu çalışma süresi [h]	-	10	10
Vantilatör enerji tüketimi [kWh/yıl]	48180	31930	26156
Aspiratör enerji tüketimi [kWh/yıl]	35040	23236	19015

farklılıklar içermektedir. Merkezi havalandırma sisteminin validasyonu, periyodik kontrolleri ve standardizasyonunun yetkili kuruluşlara yaptırılması gereklilikleri ayrıca belirtilmiştir. DIN 1946-4:2008'e göre yoğun bakımların ISO Klas 8 (hava değişimi 6) olması gerektiği belirtilmiştir. İzolasyon odalarında ise ISO Klas 7 (hava değişimi 12) gerekliliği belirtilmiştir. Yoğun bakımlarda 'dinamik oda' koşullarında periyodik bakımların ve partikül sayımının yapılacağı düşünülürse bu durumda ISO Klas 8 için bir partikül limiti bulunmamaktadır. Filtrasyon durumları incelendiğinde ise Asgari Tasarım Kılavuzunda yalnızca 'koruyucu ortam' için HEPA filtre gerekliliği belirtilmiştir. Ülkemizde ise yoğun bakımlarda üç kademeli filtrasyon yukarıdaki denetim şartları da dikkate alındığında genel tasarım prensibi olarak uygulanmaktadır. Bu durumda, HEPA filtrelerin olmadığı, son filtrenin klima santralinde F9 sınıfı filtre ile yapıldığı durumda gerek motor gücünde gerekse de yıllık işletme maliyetinde bir azalma olacaktır. Şekil 2'de bir yoğun bakım ünitesinin projesi verilmiştir. 10 yataklı olarak tasarlanan bu yoğun bakım biriminde 2 yatak izolasyon odası (pozitif basınçlı) olarak tasarlanmıştır.

Pandemi koşulları da dikkate alınarak egzoz gerektiğinde yatak seviyesine indirilebilecek bir tasarımla gerçekleştirilmiştir. Burada normal uygulama hasta yatak başı tarafından havanın beslenmesi olsa da pandemi nedeni ile tasarımda egzoz ve beslemenin konumları değiştirilmiştir. Sistem gerektiğinde komple negatif basınçta ve %100 taze hava ile çalıştırılacak biçimde tasarlanmıştır. Bulaşıcı hastalık durumunda klima santralinde bir HEPA filtre takılması opsiyonu düşünülmüştür. Son filtre kademesi HEPA filtre olarak tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında gelecekteki ISO Klas 8 kaygıları nedeni ile bu yaklaşımın işletme anlamında ciddi bir maliyeti olmaktadır. Tablo 3'te son filtre kademesinin H13 veya F9 olması durumlarında fan seçim çıktıları gösterilmiştir.

HEPA filtreli (H13) konfigürasyonda cihaz dışı basınç 1000 Pa olarak hesaplanmış iken F9 filtreli konfigürasyonda cihaz dışı basınç 400 Pa olarak hesaplanmıştır. Yal-



Tablo 3. Filtre Son Kademesinin H13 ya da F9 Filtre Seçilmesi Durumunda Klima Santrali Çıktıları

Fan	Birim	H13 filtre durumu	F9 filtre durumu
Hava debisi	m ³ /s	2.78	2.78
Cihaz dışı statik basınç	Pa	1000	400
Toplam statik basınç	Pa	1697	1079
Dinamik basınç	Pa	70	70
Toplam basınç	Pa	1767	1149
Fan şaft gücü	kW	6.17	3.95
Motor gücü	kW	7.5	5.5

nızca bu durumun etkisi ile vantilatör için elektrik motoru gücü H13 durumunda 7.5 kW, F9 durumunda 5.5 kW olarak hesaplanmıştır. Türkiye’de 25466 yoğun bakım yatağı bulunmaktadır ve her 10 yoğun bakım yatağına bir klima santrali tarafından hizmet verildiği düşünülürse yaklaşık 2540 klima santralinin olduğu sonucu ortaya çıkar. Her iki durum arasındaki kurulu güç farkı 5080 kW olarak hesaplanabilir. Yıllık 8000 h’lik çalışma durumunda bu seçimin Türkiye genelinde elektrik tüketimi farkı 40,640 MWh, işletme maliyeti farkı ise 40,640,000 TL/yıl olarak hesaplanabilir. Ülke genelinde yukarıda belirtilen zorunluluklar nedeni ile yalnızca seçim ile işletme maliyetinde boşa harcanan değer tasarımın önemini ortaya koymaktadır. Ek olarak, Sağlık Bakanlığı’nın denetiminde üçüncü taraf şirketlere yaptırılması zorunlu bırakılan validasyonlar da dikkatle ele alınmalıdır. Yeterli imkanı, tecrübesi ve personeli olan hastanelerde bu ölçümlerin iç kaynaklarla raporlanması düşünülmelidir.

Basıncılı hava sistemleri hastanelerde bir diğer enerji verimliliği fırsatı ve diğer bina türlerinde genellikle olmayan bir uygulamadır. Bu nedenle, bu sistemlerde yapılacak tasarım ve işletme verim artışlarının bir enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır [17]. Basıncılı hava sistemlerine ait en ciddi yanılğı bina kullanıcıları arasında basıncılı havanın bedava olmasıdır. Basıncılı hava verilen enerjinin %90’a varan kısmını ısı enerjisi olarak atmaktadır. Bu ısıdan çeşitli faydalanma yolları bulunmaktadır. Havadan suya bir ısı pompası ile yaklaşık 45-50°C civarında sıcak su elde edilebilir. Bu su, kullanım sıcak suyu ya da yerden ısıtma sistemleri ile mahal ısıtmasında kullanılabilir. Şekil 3 havadan suya ısı pompası ile yazın kullanım sıcak suyu kışın mahal ısıtması yapılmış olan bir sistem yapısını göstermektedir. Basıncılı hava sistemlerinde özellikle





hastanelerde yağsız kompresörler tercih edilmelidir. Bu hava hastalara verilebileceği için seperatördeki bir arıza tüm sistemin yağ ile dolmasına neden olabilir. Basınçlı hava sistemlerinde tasarım aşamasında ilgili standartlara göre belirlenmiş 10 bar basıncı bulunmaktadır.

Ancak, hastanede hemen hemen hiçbir kullanım yerinde bu kadar yüksek bir basınç gereksinimi olmamakla birlikte bakır boru tesisatının minimum basınç kaybı yaratacak biçimde tasarlanması bu basınç değerinin azaltılmasına imkan verecektir. Yapılmış olan bir uygulamada bu tank basınç aralığı 8-8.5 bar olarak verilmiştir ve kompresör 8 barda çalışmaya başlayarak 8.5 barda devreden çıkmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinde 1 bar basınç azaltımı kompresör enerjisinde yaklaşık %6'lık bir tasarruf sağlayacaktır. Ek olarak tek bir basınç hattı ile kullanım alanında regülasyon yapmak yerine birisi 5 bar diğeri 8.5 bar olan iki hat çekmek de ilave bir işletme tasarrufu sağlayacaktır. Basınçlı hava sistemindeki kaçakların da enerji tüketimine ciddi bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle bu kaçakların ultrasonik ya da ultrasonik+görselleştirme imkanı sağlayan ölçüm ekipmanları ile giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Kompresörün havayı aldığı noktada bir ısı kaynağının olmaması da enerji tüketimi açısından önemlidir. Hatta, havanın soğuk olacağı gölgelemenin yüksek olduğu yerlerde bu cihazların tasarlanması yine enerji tüketimini azaltacaktır. Giriş havası sıcaklığının 10°C azaltılması enerjide yaklaşık %7.5 tasarruf sağlayabilir. Bu nedenle, hastanelerde oksijen sisteminin evaporatöründeki soğuk, kompresörler için giriş havası soğutması olarak kullanılabilir [22-23].

4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Cumhurbaşkanlığı'nın kamu binalarında enerji verimliliği ile ilgili genelgesinde ve bu genelgeye istinaden hazırlanmış olan uygulama rehberinde hastaneler özelinde değinilmemiş ancak çok önemli ölçüde bir enerji verimliliği fırsatı olan bazı uygulamalara yer verilmiştir. Hastanelerin enerji tüketiminde önemli bir gider HVAC sistemleridir ve bu sistemlerin tasarımı, seçimi ve işletmesinde birçok enerji verimliliği fırsatı bulunmaktadır. Özellikle ameliyathanelerde basınç ilişkilerinin korunması ile yarı debi uygulaması ve yoğun bakımlarda H13 filtre kullanılmadan tasarımların yapılması HVAC sistemleri açısından ele alınabilecek ve geri ödeme süreleri oldukça kısa olan uygulamalardandır. Ek olarak, Wells-Riley denklemine göre yapılan risk analizinde yoğun bakımların arena tipi değil, tekli odalar olarak tasarlanması ile bulaş riskinin %18'lerden %5'lere düşebileceği gösterilmiştir. Basınçlı hava sistemleri de diğer binalarda yoğun olarak bulunmayan ancak, hastanelerde önemli bir enerji gideri kalemidir. Bu sistemlerin uygun tasarımı ve sistem basıncının fiziksel alt yapı imkan veriyorsa standartta belirtilen basınç değerinden daha az bir basınca ayarlanması ve kompresörlerin atık ısılarından ısı pompası ile yararlanılması önemli tasarruf noktalarındandır.

KAYNAKÇA

1. Yılmazoğlu M.Z. Hastanelerde Enerji Yönetimi, TTMD Dergisi, 102, 38-46, 2016.
2. İnternet, <https://www.ashrae.org/technical-resources/resources>, Erişim tarihi: 27.02.2021.
3. REHVA, Covid-19 Guidance Document 4.0, 3 Ağustos 2020.
4. MMO, İklimlendirme Teknik Kurulu, <https://www.mmo.org.tr/merkez/iklimlendirme-tek-nik-kurulu-calismalari>, Erişim Tarihi: 27.02.2021.
5. TTMD Covid-19 Görüş Metni, <https://www.ttmd.org.tr/covid-19/ttmd-covid-19-gorus-metni>, Erişim tarihi: 27.02.2021.
6. İnternet, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/08/20190816-10.pdf>, Erişim tarihi: 27.02.2021.
7. İnternet, <https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/09/KAMU-B%C4%B0NALARINDA-TASARRUF-HEDEF%C4%B0-VE-UYGULAMA-REHBER%C4%B0.pdf>, Erişim tarihi: 27.02.2021
8. **Lombard, L.P., Ortiz J., Pout C.** 2008. A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40, 394-398.
9. İnternet, <http://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/use-portfolio-manager/understand-metrics/what-energy>, Erişim tarihi: 27/01/2014.
10. **Terekli G., Özkan O., Baayın G.** 2013. Çevre Dostu Hastaneler: Hastaneden Yeşil Hastaneye, *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 12; 2, 37-54.
11. İnternet, https://www.siemens.com.tr/i/Assets/saglik/yesil_hastaneler/%20References_Re-inkenheide_verkl.pdf Erişim tarihi: 10/03/2016.
12. **Hoşgör H.** 2014. Yeşil Hastane Konsepti ve Türkiye Deneyimi, *Sağlık Yönetimi, HSP* 1(2):75-84.
13. ASHRAE 170-2017, Ventilation of Health Care Facilities.
14. DIN 1946-4 2008, Ventilation And Air Conditioning - Part 4: Ventilation In Buildings And Rooms Of Health Care
15. TS EN ISO 14644, Temiz Odalar, 2006, Temiz odalar ve bunlarla ilgili kontrollü ortamlar-Bölüm 3-Deney metotları.
16. Aunion-Villa J., Gomes-Chaparro M., Garcia-Sanz-Cacedo J., Study of the energy intensity by built areas in a medium-sized Spanish hospital, *Energy Efficiency*, 14, 26, 2021.
17. Sapmaz S., Kaya D. Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği ve emisyon azaltım fırsatlarının incelenmesi, *Mühendis ve Makina*, 58, 689, 23-36, 2017.
18. **Barsbay, M.Ç.** Sağlık sektöründe düşük karbon ekonomisi: Tezat mı, Mümkün mü?, *Verimlilik Dergisi*, 2019/4, 113-134.
19. **Guo Y., Qian, H., Sun, Z., Cao, J., Liu, F., Luo, X., Ling, R., Weschler, L.B., Mao, J., Zhang, Y.** 2021. Assessing and controlling infection risk with Wells-Riley model and spatial flow impact factor, *Sustainable Cities Society*, doi: 10/1016/j.scs.2021.102719.
20. **Zhang, S., Lin, Z.** 2021. Dilution-based evaluation of airborne infection risk – Through expansions of Wells-Riley model, *Building and Environment*, 194, 107674.
21. **Aganovic, A., Bi, Y., Cao, G., Drangsholt, F., Kurnitski, J., Wargocki, P.** 2021. Estimating the impact of indoor relative humidity on SARS-CoV-2 airborne transmission risk using a new modification of the Wells-Riley model, *Building and Environment*, 205, 108278.
22. **Saidur, R., Rahim, N.A., Hasanuzzaman, M.** 2010. A review on compressed-air energy use and energy savings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 4, 1135-1153.
23. **Mousavi, S., Kara, S., Kornfeld, B.** 2014. Energy efficiency of compressed air systems, *Procedia CIRP*, 15, 313-318.