

İKLİM KRİZİ VE KARBONSUZLAŞMA SÜRECİNDE, TİCARİ BİNALAR İÇİN ENERJİ ETKİN SİSTEMLER

İbrahim Atmaca¹

1. GİRİŞ

Dünya olarak Covid-19 pandemisi ile büyük bir sınavdan geçtik. Yaşadığımız bu salgın, aslında küresel sorunlar karşısında dünyamızın, ekonomiden sosyal hayata kadar birçok alanda kırılğan bir yapıya sahip olduğunu da gözler önüne serdi. Unutulan bir diğer gerçek de aslında sonuçlarıyla pandemiden daha büyük bir kriz oluşturacağını düşündüğümüz iklim değişikliği gerçeğidir. Karbonsuzlaşma yolunda önemli adımlar, söylemden öteye taşınarak eylemsel olarak atılmazsa bu krizin de ağır faturalarıyla yüzleşmemiz kaçınılmaz gözükmektedir. 2001 sonrası sıcaklık değerlerinin, saptanan en yüksek sıcaklıklar olması gerçeği, iklim değişikliğinin artık kaçınılmaz etkilerinin kendini göstermeye başladığının da göstergesidir. Sıklaşarak yaşanan yangınlar ve seller bunun açık ilk belirtileridir. Susuzluk ve neden olabileceği gıda kıtlığı ile birçok canlı türünün tükenmesi ile oluşabilecek zincir-

leme sonuçlar, önümüze en büyük tehdit olarak çıkıyor. Yerelden başlayarak küresele doğru eylemsel olarak, çok kısa sürede çözüm odaklı projeler gerçekleştirilemezse, insanlığın sosyal problemlerden, doğal afetlere kadar birçok gerçeğe yüzleşeceği ve bunların faturasının pandemiden de ağır olabileceği açıkça görülmektedir.

İklim değişikliğinin ana nedeninin karbon salınımları olduğu bilinen bir gerçektir. Bir buçuk santigrat derece sıcaklık artışına neden olan atmosferik karbondioksit yoğunluğunun üzerine çıkılmaması gerektiği bilinirken, dünyanın tehlikeli sınır olarak referans alınan iki santigrat derecelik artışa neden olacak atmosferik karbondioksit yoğunluğuna doğru yol aldığı görülüyor. Çare ise özellikle ticari binalardan sanayiye, tarımdan ulaşıma kadar her alanda karbonsuzlaşma adımlarının atılması ile olası görünüyor. Bu da fosil yakıtların verimli kullanılması veya fosil yakıtlara seçenek sağlanması ile olabilecektir [1].

¹ Prof. Dr. Akdeniz Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı, MMO Antalya Şube Yönetim Kurulu Başkanı - atmaca@akdeniz.edu.tr

Yaşantımızın önemli bir kısmını kapalı ortamlarda geçiriyoruz. Ofis binaları, plazalar, alışveriş merkezleri, oteller, hastaneler, okullar gibi birçok ticari binada ısıtma, soğutma, aydınlatma ve özellikle de pandemi koşullarında iyice artan oranda havalandırma temelinde ciddi oranda enerji harcanmaktadır. İklim krizi ile mücadelede, karbonsuzlaşma adımına bu ticari binaların hızlıca uyarlanması gerekmektedir. Öncelikle enerji verimli cihazlar, otomasyona dayalı akıllı bina enerji yönetim sistemleri, ısı geri kazanım üniteleri, ısı pompası uygulamaları ve ikili veya üçlü enerji üretim sistemleri olan kojenerasyon ya da trijenerasyon gibi uygulamalar ile binalarda tasarruf sağlanarak, binaların enerji gideri azaltılmalıdır [2]. Ardından ise gereksinim duyulan enerjinin temini için güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerjilere yönelim sağlanmalıdır [3].

Bilindiği üzere ülkemizde 2007 yılında “Enerji Verimliliği” kanunu yayınlanmış ve bu kanun kapsamında da 2008 tarihinde yayınlanan ve 2009 tarihinde yürürlüğe giren “Bina Enerji Performans Yönetmeliği” ile binalarda enerji kullanımı üzerine birtakım yaptırımlar getirilmiştir. Bu yönetmelikten akıllarda kalan en önemli kavram, “Enerji Kimlik Belgesi (EKB)” olmuştur. Enerji Verimliliği Kanunu gereği yeni yapılacak binalar için zorunlu olan EKB, mevcut binalar için önce 2017 daha sonra da 2020 itibarıyla zorunlu hale getirilmiştir.

Yakın zamanda, 19 Şubat 2022 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” yayınlanmış, yönetmelikte yüksek enerji performansına ve aynı zamanda belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip olan bina “Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB)” olarak tanımlanmıştır. Yönetmelik ile neredeyse sıfır enerjili bina uygulamaları 2023 yılında devreye girecek olsa da 2025’e kadar toplam yapı ruhsatı 5.000 metrekare ve üzeri olan binaların, 2025 itibarıyla ise 2.000 metrekare ve üzeri olan binaların, neredeyse sıfır enerjili bina olarak inşa edilmesi zorunlu tutulmuştur. Neredeyse sıfır enerjili bina kapsamındaki yapıların 2023 yılı itibarıyla enerji kimlik belgesindeki enerji performans sınıfının “B sınıfı” veya daha iyi olması zorunlu tutulurken, aynı zamanda bu tip binaların birincil enerji gereksiniminin en az yüzde beşi oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması da zorunludur. Yenilenebilir enerji kullanımındaki bu oran 2025 yılı itibarıyla ise yüzde on olacaktır.

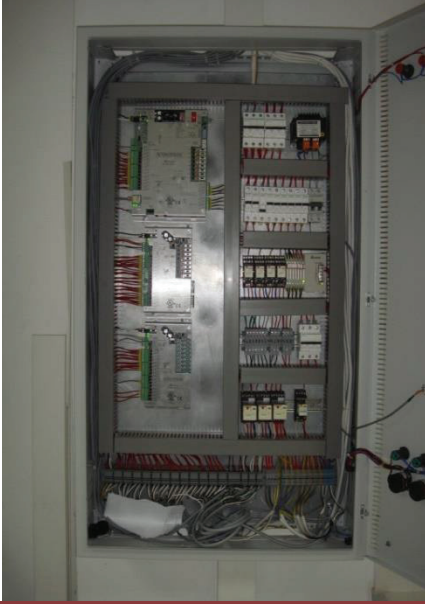
Binanın enerji tüketim sınıfının, en iyi düzeyi belirten A sınıfına yaklaşması için birtakım önlemler almak şarttır.

Bunların başında binanın yalıtımı gelmektedir. Yalıtım ile enerji verimliliğinin sağlanması için ise yalıtımda doğru malzemenin tercih edilmesi, doğru kalınlıkların kullanılması ve doğru uygulamaların yapılması gereklidir. Bina yalıtımında kullanılacak malzeme, mimar tarafından tercih edilirken, kullanılacak yalıtım malzemesi kalınlığı Türk Standardı 825’e göre bir makina mühendisi tarafından yapılan hesaplamalar ile saptanabilmekte ve uygulama şantiye şefi genellikle bir inşaat mühendisi gözetiminde gerçekleştirilmektedir. Mevcut binalar yalıtılırken, rastgele tercihler yerine konusunda uzman meslek disiplinlerinin projelendirmeleri ve gözetiminde yapılacak uygulamalar mutlaka yarar sağlayacaktır. Binalarda yalıtım önceliklidir ama tek başına çözüm değildir. Yalıtımın yanında ısıtma, soğutma ve sıhhi sıcak su temininde kullanılan kazan, kombi, klima, ısı pompası gibi cihazların enerji verimli olması da oldukça önemlidir ve bu sistemlerin gerek projelendirmesi gerekse uygulaması, konusunda uzman bir makina mühendisi tarafından yapılmalıdır. Aydınlatma armatürlerinde yapılacak iyileştirmeler ile binalarda güneş enerjili sıcak su sistemleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da verimlilik sağlayacaktır.

Bu yazıda ticari binalarda enerji verimliliği için tercih edilebilecek enerji etkin uygulamalardan bahsedilecektir. Bu kapsamda akıllı binalar ve ısıtma-soğutma ve havalandırma (HVAC) uygulama otomasyonları, havalandırma ve ısı geri kazanımı, ısı pompaları, absorpsiyonlu soğutma ve trijenerasyon uygulamaları ile evaporatif soğutma uygulamalarından bahsedilecek, yapılan genel bir SWOT analizi ile konu tamamlanacaktır.

2. ENERJİ ETKİN AKILLI BİNALAR

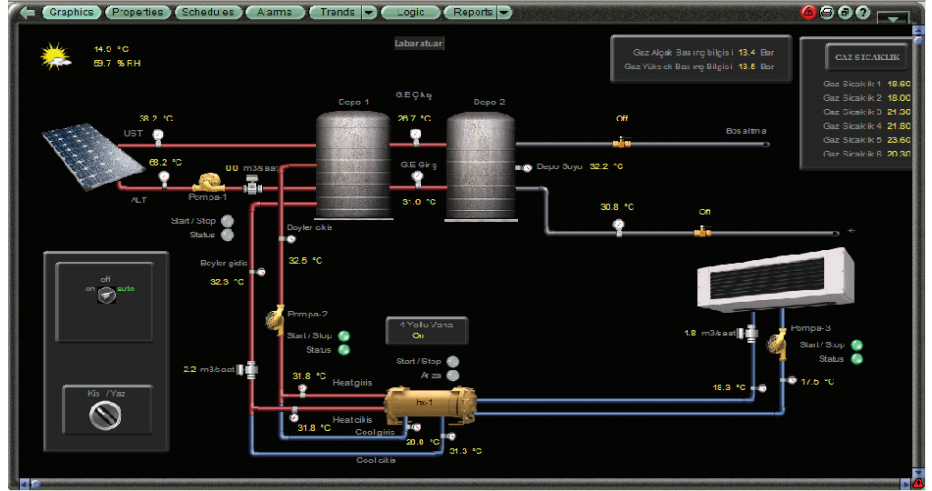
Akıllı binalar, gerek binanın kendi elemanları gerekse diğer ek donanımlar yardımıyla enerjinin verimli kullanılması için binanın enerji kullanımının otomasyon ile kontrol edildiği sistemleri barındıran yapılardır. Haliyle akıllı binadan beklenen, bina kullanıcılarının konforundan ödün verilmeden, binanın enerji harcamalarının en aza indirgenmesidir. Akıllı binalarda maliyetli otomasyon sistemleri bulunacağından bu teknolojinin, enerji kullanımının görece fazla ve kontrolü zor olan kullanım alanları ile kullanıcı kapasitesi yüksek binalar için uygun olacağı açıktır [4]. Kamuya ait büyük binalar, ofis binaları, turistik büyük otel binaları, hastane ve fakülte binaları bunlara örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 1. Veri Toplama ve Yönlendirme İçin Kontrolörler (PLC)

Bir binanın enerji verimlilik süreci, pasif ve aktif enerji verimlilik süreci olarak sınıflandırılabilir. Tüketimi düşük enerji verimli cihazların tercihi gerek bina gerekse tesisat ve donanımın yalıtımı gibi en temel düzenlemeler, pasif enerji verimliliği süreci içerisindedir. Maliyetli olan aktif enerji verimliliği sürecinde ise HVAC sistemlerinin kontrolü, güç tüketen cihazlarda frekans konvertörlerinin tercihi yanı sıra gerek ölçüm yapan saha elemanlarına gerekse bu elemanlardan gelen veriyi toplayacak ve Şekil 1'de gösterilen kontrolörlere ("PLC - Programmable Logic Controller") ve bu bilginin izleneceği ve Şekil 2'de gösterilen yazılım ekranlarına ("SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition") gereksinim olacaktır. Otomasyona bağlı bu çözümlerde zaman programlama ile sistemin gerekli olduğu zaman diliminde devreye girmesi, iç ve dış ortam sıcaklık ölçümlerinden faydalanılarak kazan ya da "chiller" cihaz kapasitelerinin doğru kullanılması, "fan-coil", radyatör, yerden ısıtma cihazlarının çalışma dönemlerinin denetimi ve izlenmesi olasıdır.

Ülkemizde sektörel olarak bakıldığında HVAC uygulamaları için hem proje hem de uygulama temelinde çok başarılı mühendislik şirketlerinin olduğu görülmektedir. Yine HVAC otomasyonu konusunda da başarılı mühendisler ve şirketler mevcuttur. Bu kapsamda enerji etkin akıllı binaların işletilmesi çok da güç değildir. Kaldı ki ülkemizde de çok sayıda başarılı uygulamalar bulunmaktadır. Bu konuda en büyük eksikliğimiz ticari bina sektöründe yet-



Şekil 2. Veri İzleme İçin Yazılım Ekranı (SCADA)

kin teknik personellere yeterince yer verilmemesi olarak göze çarpmaktadır. Yüklü maliyetler ile binalar akıllı bina haline gelse de, yatırımdan fayda alabilmenin yolu yazılım ekranını izleyebilecek ve gerekli ayarlamaları her an yapabilecek yetkin mühendislerin işletmelerde yer alması ile olasıdır. Ticari bina sektörüne bakıldığında ise işletmelerde yetkin teknik personellere yeterince yer verilmediği ve yapılan akıllı bina teknolojilerinden bu nedenle en üst seviyede yararlanılmadığı gözlemlenmektedir.

3. HAVALANDIRMA VE ISI GERİ KAZANIMI UYGULAMALARI

Şehirlerde yaşayan insanlar olarak zamanımızın yüzde 90'ından fazlasını kapalı hacimlerde geçirmekteyiz. Covid 19 riski hala vardır ancak ortadan kalksa bile başka iç ortam kirleticilerinin de olduğu ve bunların solunmasının da risk oluşturabileceği akıllardan çıkarılmamalıdır. Bu kapsamda kaliteli bir iç ortam havası için en ideal önlem de ortamın havalandırılmasıdır ve pandemi dönemi edindiğimiz bu alışkanlığın, pandemi sonrası yeni dönemde de sürdürülmesi son derece önemlidir.

Birçok iç ortam kirleticisi bulunmaktadır. Bunlar kimyasal ve biyolojik kirleticiler olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal kirleticilerden biri, çeşitli boyutlardaki tozlar ve genellikle dış kaynaklıdır. Tozlar cihazlardaki filtrelerle tutulabilmektedir fakat istenilen sonuca ulaşılabilmesi için bu filtrelerin temizliğinin sık sık yapılması gerekmektedir. Bir diğer kimyasal kirletici vardır ki bu genellikle iç kaynaklıdır. Uçucu organik bileşenler dediğimiz bu iç

kaynaklı kirleticiler, yapıştırıcılardan, temizlik maddelerinden, ahşap ürünlerden, oda kokularından ve parfüm gibi maddelerden kaynaklı çeşitli kimyasallardır. Bu uçucu organikler hiçbir şekilde filtreler ile tutulamazlar ve bunların yok edilmesi ancak havalandırma ile olasıdır. Bu nedenle kapalı hacimlerin dış ortam havasının temiz olduğu saatlerde havalandırılması ve kalabalık kapalı ortamlarda mekanik havalandırmanın sürekliliği önem arz etmektedir.

Kapalı ortamların kirleticilerden arındırılması ve kaliteli bir iç ortam havasının sağlanmasında üç ana önlem vardır. Bunlardan ilki, kirletici kaynağın ortama alınmamasıdır ancak bu, çoğunlukla gerçekleştirilememektedir. İkincisi, filtrasyon ile kirleticinin yok edilmesidir ancak her kirletici ve özellikle de uçucu organikler, filtreler ile tutulamamaktadır. Bu nedenle kaliteli bir iç ortam sağlanmasında en önemli önlem, iç ortamdaki kirletici düzeyini seyreltmek için yapılacak havalandırma. Kaliteli iç ortam havası; alerji, astım gibi birçok solunum yolu hastalığının önüne geçilmesinde önemlidir. Böylece çalışma alanlarında iş günü kaybı ve iş verimsizliğinin önüne geçilebilecek ya da okullarda öğrencilerimizin öğrenme hızlarının ve başarılarının artmasında fayda sağlanabilecektir. Bu nedenle pandemi döneminde edindiğimiz havalandırma bilincinin, pandemi sonrası dönemde de sürdürülmesi sağlığımız açısından da önemlidir.

Klimatize edilen her türlü ortam için iç çevre şartları ele alınırken ısı konfor, iç hava kalitesi ve enerji verimliliği bir bütün olarak değerlendirilmesi gereken önemli kavramlardır. Çünkü herhangi biri için yapılacak bir değişiklik veya iyileştirme, bir diğerini de önemli derecede etkilemektedir. İklimlendirilen ortamdaki kirlilik oranını azaltarak kabul edilebilir ölçüde temiz iç ortam havası elde edebilmek için, uygulamaya bağlı olarak değişen miktarlarda taze havanın mahal içine gönderilmesi ideal ancak maliyeti yüksek bir uygulamadır. En ideal yöntem olan havalandırma uygulanırken, toplam kalitede dikkate alınması zorunlu olan ısı konfor ve özellikle enerji verimliliği kavramları kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Havalandırma yapılırken en az enerji tüketimi sağlayabilmek önemli bir hedef olmalıdır. Günümüzde bu kapsamda ısı geri kazanım sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda havalandırma yapılırken ortamı kullanan insanların ısı konfor algısının bozulmamasının yanı sıra yeteri kalitede temiz havanın sağlanması ve en az enerji tüketimi sağlanması amacıyla



Şekil 3. Isı Geri Kazanım Sistemi ile Havalandırılan Bir Sınıf Ortamı

la vazgeçilmez hale gelmiştir. Şekil 3'te ısı geri kazanım sistemi ile mekanik olarak havalandırılan bir sınıf ortamı örnek olarak gösterilmiştir. Uygulamaya bağlı olarak plakalı-çapraz akışlı, rotorlu ya da bataryalı olmak üzere farklı tiplerde ısı geri kazanım sistemleri kullanılabilir [5], [6].

Havalandırma uygulamalarında enerji verimliliği için dikkat edilmesi gereken ikinci konu ise doğru havalandırma debilerinin belirlenmesidir. Bina tipi ve kullanım durumuna göre kişi başına gerekli taze hava miktarları standartlarca belirlidir. Tasarımların pik yük esasıyla yapıldığı dikkate alındığında binanın kullanımında varlık kontrolü olarak adlandırılan kişi sayısının saptanması son derece önemlidir. Böylece mahalde bulunan kişi sayısına bağlı olarak yeterli havalandırma debileri sağlanarak, enerji verimli havalandırma yapılabilir. Varlık kontrolü için çeşitli teknolojiler uygulanabilir;

- Pasif Infra-Red (PIR) Sensörleri: Dezavantajı – Hareketsiz duran kişileri algılamaması,
- Kamera Tarama Sistemi: Dezavantajı – Yüksek işlemci maliyeti, veri işleme ve kişisel gizlilik,
- RFID – “Radio Frequency Identification” (Radyo frekans tanımlaması): Dezavantajı – Kişilerin üzerinde bu teknolojileri kapsayan cihaz bulunması gerekliliği,
- CO₂ Sensörleri: Dezavantajı – Değişimlere geç yanıt vermesi.

Görüldüğü üzere her bir teknolojinin kendine ait bir dezavantajı bulunsa da, varlık kontrolü enerji verimliliği için kesinlikle tercih edilmelidir. Günümüzde CO₂ sensörleri,

değişimlere geç yanıt verse bile sadeliği nedeniyle sıklıkla bu alanda tercih edilmektedir. CO₂ ölçümüne dayanarak gerektiği kadar taze havanın mahale verilmesi, akıllı bina sistemlerinde otomasyonun önemli bir parçasıdır.

4. ISI POMPASI UYGULAMALARI

Ticari binalarda enerji verimliliği için tercih edilebilecek önemli sistemlerin başında ısı pompaları gelmektedir [7]. Bu sistemler, bünyesinde bulunan kompresörde tükettiği elektrik ile düşük sıcaklıklı bir kaynaktan aldığı ısıyı, daha yüksek sıcaklıktaki bir başka kaynağa aktarabilen sistemlerdir [8], [9]. Isı pompası sistemlerinin en önemli özelliği, çevrimin oluşması için kompresörde harcanan enerjiden daha fazlasını kaynaklar arasında ısı olarak aktarabilmesidir. Böylelikle elektrikli ısıtmaya kıyasla, ısının alındığı kaynak sıcaklığına bağlı olarak, COP ("coefficient of performance") olarak adlandırılan performans katsayısı ile iki ile altı kat daha avantajlı olabilmektedirler. Gereksinime göre, istenildiğinde ısıtma, istenildiğinde de soğutma amaçlı kullanılabilmesi, ilk yatırım maliyetinin geri kazanımında en önemli avantajlarıdır [10]. Sistemlerde kaynak olarak; hava, su veya toprak tercih edilebileceği gibi sistemlerin toplam verimlerini artırabilmek adına güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji türleri ile melezlenmeleri de olasıdır. Sistemde kullanılacak kaynak belirlenirken, kaynağa ulaşılabilirlik, kaynağın sıcaklık seviyesi ve yıl içindeki sıcaklık değişimlerinin yanı sıra kurulum maliyetleri de önemlidir.

Isı pompası uygulamaları için en yaygın kaynak, sınırsız olarak bulunabilen havadır. Havadan havaya ya da havadan suya olarak tasarlanabilen hava kaynaklı sistemlerin kurulumu da basit ve oldukça hızlıdır. Buna karşın, hava sıcaklığının yıl boyunca dalgalanması ve düşük hava sıcaklıklarında sistem COP değerinin düşmesi dezavantajına sahiptirler. Soğuk iklimlerde hava kaynaklı ısı pompası kullanımı için verim düşüklüğünün yanı sıra sistem evaporatöründe gerçekleşen buzlanma ve haliyle defrost gereksinimi de diğer önemli dezavantajlar olarak sıralanabilir.

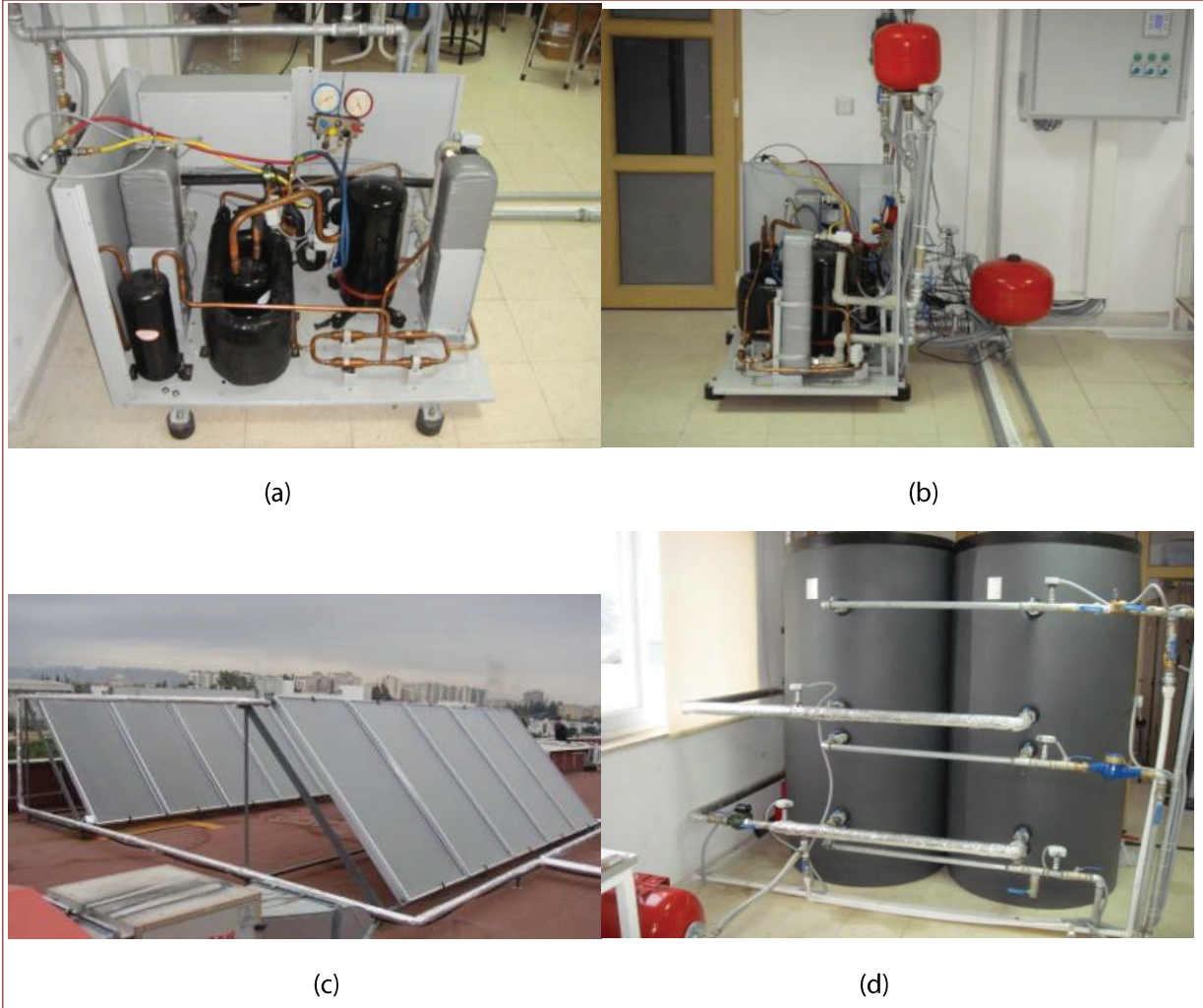
Isı pompalarında ısıtma ve soğutma yapabilmek için hem iklimlendirilen ortamın hem de kullanılan kaynağın sıcaklığı, sistem COP değeri ve cihaz kapasiteleri üzerine etkindir. Isıtma için ısı alınan kaynak sıcaklığı arttıkça ve/veya ısıtılan ortam sıcaklığı düştükçe hem COP hem de cihaz kapasitesi yükselmektedir. Soğutma için de benzer

durum söz konusudur. Soğutmada da ısı atılan kaynak sıcaklığı düştükçe ve/veya iklimlendirme de tercih edilen sıcaklık değeri yükseldikçe hem cihaz COP değeri hem de kapasitesi artmaktadır. Bu nedenle havanın dezavantajlarını yenmek adına su ve toprak gibi farklı kaynaklar uygulamada tercih edilebilmektedir [11].

Günümüzde AVM veya otel binalarında tercih edilen sistem su kaynaklı ısı pompaları olarak dikkat çekmektedir. Korozyona karşı ara bir eşanjör kullanımı ile yer altı suları ya da deniz suyu kaynaklı uygulamalara artık sıklıkla rastlanabilmektedir. Mevsimsel su sıcaklık değerlerinin havaya göre kışın daha sıcak, yazın ise daha soğuk olması, ısı pompası sistem COP değeri ve cihaz kapasiteleri üzerine olumlu etkindir.

Yataya ya da sondaj ile dikine serme şeklinde yapılan toprak uygulamalı ısı pompası sistemleri de bulunmaktadır. Toprak sıcaklığının ortamdaki hava ve ulaşılabilen su kaynağına göre yazın daha serin, kışın daha sıcak olmasının yanı sıra yıllık dalgalanma seviyesinin de düşük olması, cihaz COP ve kapasite değerleri için pozitif olmasına ek olarak tasarım kolaylığı da sağlamaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının bu avantajına karşın bazı toprak tiplerine uygulama zorluğu ve bu sistemlerin yüksek maliyeti gibi dezavantajları da unutulmamalıdır. Toprak kaynaklı ısı pompaları doğrudan veya dolaylı buharlaşmalı sistemler olarak sınıflandırılabilir. Doğrudan sistemde sirkülasyon pompasına gerek duyulmadan topraktaki ısı direkt olarak aracı akışkan ile alınarak ortama taşınır. Dolaylı sistemlerde ise toprak ile ısı alışverişi ikincil bir akışkan olan su ile yapılır. Ancak böyle bir sistem kurulumu için bir sirkülasyon pompası ve eşanjör gereksinimi olacağı da unutulmamalıdır. Dolaylı sistemin en önemli avantajı ise gerektiğinde kompresör çalıştırılmadan toprak ile ısı alışverişi yapılacak şekilde pasif soğutmaya izin vermesi olarak görülebilir. Şartların uygun olması ve ilk yatırım maliyetine katlanılması durumunda, yüksek COP değerleri nedeniyle toprak kaynaklı sistemler, enerji etkin sistemler olarak göze çarpmaktadır.

Sistemlerin güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar ile melezlenmesi de olasıdır. Şekil 4'te sudan suya ısı pompasına güneş enerjisi desteğinin yapıldığı bir uygulama görülmektedir. Bu tip bir sistemle yapılan hacim ısıtma uygulamasının çalışma periyodunda sistem en fazla 4,06, en az 2,18 COP değerlerinde çalışırken, ortalama COP değeri 2,93 olarak saptanmıştır.



Şekil 4. Güneş Enerjisi Destekli, Sudan Suya Isı Pompası Uygulaması (a) Isı Pompası, (b) Isı Pompası Ve Yardımcı Elemanlar, (c) Kolektörler, (d) Boylerler

5. TRİJENERASYON

Daha önceleri sadece sanayi tesisleri için uygulanan ve kojenerasyon – trijenerasyon olarak adlandırılan ikili ya da üçlü üretim şeklindeki birleşik ısı-güç sistemleri, günümüzde artık büyük otel tesisleri ve hastane binalarının enerji etkin tasarımlarında da yer almaktadır. Genellikle doğalgaz yakıtlı bir gaz motoru ile elde edilen elektrik enerjisi sonrası, gaz motoru bacasından atılan yüksek sıcaklık ve debideki yanmış gazlar ile motor ceket suyu soğutması ve “aftercooler” olarak isimlendirilen yakıt hava karışımının soğutma ısısı kullanılarak ısıtma, soğutma, sıhhi sıcak su ve buhar üretiminin bir veya birkaçının yapılabilirdiği bu sistemlerde verim, iç tüketimler de dikkate alındığında yüzde seksenin üzerinde seyretmektedir. İşletmede soğutma gereksinimi varsa trijene-

rasyonda tek veya iki kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımı tercih edilmektedir. Kompresörlü çevrime karşın düşük COP ile çalışsa da, atık ısı ile soğutma yapılabildiğinden, absorpsiyonlu soğutma çevrimi, trijenerasyon sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Elektrik tüketildiği yerde üretilmesi böylece kayıpların en aza inmesi ve tesisin elektrik arz güvenliğinin sağlanması yanı sıra atık enerjinin ısıtma ve soğutmanın çeşitli uygulamaları için kullanılabilirdiği olması da günümüz şartlarında trijenerasyon sistemlerini avantajlı kılmaktadır. Bununla birlikte ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olacağı unutulmamalıdır. Ancak kesintisiz çalışan bina işletmeleri için yatırım maliyetini geri alma süreleri kısalmaktadır. Sistemlerin belirli dönemlerde büyük bakımlardan geçeceği ve bunun oluşturacağı götürü de yatırım maliyetini geri alma analizlerinde detaylı bir şekilde yer

Tablo 1. Trijenerasyon Sistemleri İçin Farklı Uygulama Örnekleri

Örnek	Üretim-1	Üretim-2	Üretim-3
1	Kaynak: doğalgaz Cihaz: gaz motoru Üretim: elektrik	Kaynak: baca gazı Cihaz: atık ısı kazanı Üretim: buhar	Kaynak: ceket soğutma ve "aftercooler" soğutma suyu Cihaz: plakalı eşanjör Üretim: yüksek (yaklaşık 80 °C) ve düşük sıcaklıklı (yaklaşık 30 °C) sıhhi sıcak su
2	Kaynak: doğalgaz Cihaz: gaz motoru Üretim: elektrik	Kaynak: baca gazı Cihaz: absorpsiyonlu soğutma sistemi Üretim: soğutulmuş su (yaklaşık 7 °C)	Kaynak: ceket soğutma ve "aftercooler" soğutma suyu Cihaz: plakalı eşanjör Üretim: yüksek (yaklaşık 80 °C) ve düşük sıcaklıklı (yaklaşık 30 °C) sıhhi sıcak su
3	Kaynak: doğalgaz Cihaz: gaz motoru Üretim: elektrik	Kaynak: baca gazı Cihaz: atık ısı kazanı Üretim: buhar	Kaynak: ceket soğutma suyu Cihaz: absorpsiyonlu soğutma sistemi Üretim: soğutulmuş su (yaklaşık 7 °C)

almalıdır. Trijenerasyon sistemleri ile ısı ve güç üretiminde yapılabilecek birçok farklı uygulamadan ticari binalar için geçerli yaygın örnekler özetle Tablo 1'de sunulmuştur. Tablodan da görüleceği üzere doğalgaz yakıtlı gaz motorunda elektrik üretimi ile birlikte bacadaki yanmış gazlar ile atık ısı kazanında buhar ya da absorpsiyonlu soğutma sisteminde soğutulmuş su üretmek olasıdır. Gaz motorunun 90 °C / 78 °C döngüsündeki ceket soğutma suyu ısı ve hava yakıt karışımının soğutulduğu "aftercooler" ünite soğutma suyu (42 °C / 40 °C) ile de yüksek ve düşük sıcaklıklı sıhhi sıcak su elde edilebildiği gibi, ceket soğutma suyu ısı ile tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminde 7 °C'de soğutulmuş su elde edilebilmektedir.

6. ENDİREKT EVAPORATİF SOĞUTMA UYGULAMALARI

İklimlendirme sistemleri incelendiğinde yaygın olarak buhar sıkıştırımlı (kompresörlü) soğutma sistemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Bu sistemler yüksek performans değerleri ile çalışma bile alternatif enerji kaynaklarını veya atık ısıyı kullanabilen absorpsiyonlu soğutma sistemlerine kıyasla daha fazla elektrik enerjisi kullanmaktadır. Fakat yine de yaygın olarak bilinen ve üretilen bir teknolojiye sahip olmaları ve bunun yanı sıra absorpsiyonlu sistemler ile kıyaslandığında aynı kapasitede daha düşük ilk yatırım masrafı gerektirmeleri gibi nedenler ile öncelikli tercih edilen sistem olmaktadır. Bir diğer seçenek ise evaporatif soğutma olarak görülebilir. Ancak

nemin yüksek olduğu yerlerde performansının düşmesinin yanı sıra soğutulan havanın içerdiği yüksek nem nedeniyle genellikle ilk tercih olamamaktadır. Bu durumda ilk akla gelen ise buhar sıkıştırımlı sistemlerin tüketileceği enerjinin nasıl sınırlandırılacağı konusudur. Bir soğutma makinası için yoğuşma sıcaklığı düştükçe sistemin soğutma performansı yükselecektir. Bu da ancak yoğuşturucunun ısı atacağı ortam sıcaklığının düşürülmesi ile olasıdır. Buhar sıkıştırımlı çevrimin yoğuşturucusuna giren havanın sıcaklığı evaporatif soğutma ile düşürülürse, her iki sistemin de dezavantajları büyük ölçüde yok edilecektir. Yani hem evaporatif soğutma sonucunda oluşan yüksek nemli hava iklimlendirilen ortama verilmeyecek, hem de nemli ve kısmen serin havanın buhar sıkıştırımlı sistem yoğuşturucusuna verilmesi düşük elektrik girdileri sağlayabilecektir. Gerek sisleme gerekse soğutucu pedler ile yoğuşturucu giriş havasının soğutulması ve böylece buhar sıkıştırımlı sistem performansının incelenmesi amacıyla yönelik çalışmalar bulunmaktadır [12].

Şekil 5'te basit bir split klima dış ünitesine yetecek evaporatif ped tasarımı gösterilmiştir. Benzer şekilde ticari binalar için kullanılan "chiller" ünitelerin hava soğutmalı yoğuşturucu kısmına da bu pedler uygulanabilir. Bu durumu değerlendirmek için yapılan bir analiz burada sunulmuştur [13]. Belirtilen çalışmada, evaporatif olarak soğutulan kondensere sahip hava soğutmalı bir su soğutma grubunun ("chiller") performans analizi, Türkiye'deki üç ayrı şehir (Ankara, Şanlıurfa ve Antalya) için Türkiye



Şekil 5. Split Tip Klima Yoğuşturucusu İçin Tasarlanan Evaporatif Ped.(c) Kolektörler, (d) Boylerler

Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan veriler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada soğutma kapasitesi 230 kW ile 300 kW arasında değişen on beş ayrı chiller cihaza ait dış ortam sıcaklığına bağlı COP ve soğutma kapasitesi değişimleri istatistiksel olarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre evaporatif soğutmadan sonra soğutma grubundaki en yüksek COP artışı %40,5 değeri ile en kurak iklime sahip olan şehirde, en düşük artış ise %15,5 değeri ile en nemli şehirde gerçekleşmiştir. Bu iyileşme benzer şekilde soğutma kapasitesini ise en kurak iklimde %14,3 ve en nemli iklimde %5,56 oranında arttırmıştır. Bu duruma ek olarak, ortalama elektrik tüketimi en kurak iklimde %15,49 ve en nemli iklimde ise %6,97 olmak üzere önemli ölçüde düşmüştür.

Çalışmada en yüksek su tüketimi, 10 saatlik çalışma süresi ve 1.400 m³/dk. ortalama hava debisi için günde yaklaşık 5 ton olarak saptanmıştır. Kompresörlü soğutma sistemi yoğuşturucusu giriş havasının evaporatif soğutulduğu bu dolaylı uygulama, ticari binalarda kullanılan hava soğutmalı "chiller" üniteler için enerji etkin bir tasarım olsa da karar sürecinde, kullanılacak su miktarının da göz önüne alınması önemlidir.

7. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi; özellikle yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı ve çevre dostu olması nedeniyle daha hızlı olarak yaygınlaşabilecek niteliktedir. Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre kurulum maliyetlerinin yüksek olması, veriminin kısmen düşük olması gibi bazı teknolojik ve ekonomik sorunların çözümü ile birlikte, güneş enerjisi üretimi yakın gelecekte çok daha cazip hale gelecektir.

Güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye oldukça iyi bir coğrafi konumda olmasına karşın, sahip olduğu bu potansiyeli günümüzde yeterince kullanamamaktadır. Bu da ülkemiz için önemle ele alınması gereken bir konudur. Türkiye'nin çoğu bölgesinde güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi olasıdır [14]. Güneş enerjisi günümüzde daha çok binalarda kullanım suyunun ısıtılması ve gerektiğinde de ısıtma gereksiniminin karşılanmasında destek olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, ısıtma desteği sağlayan güneş enerji sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Yüzme havuzları ve çeşitli tesislerde sıcak su gereksiniminin karşılanmasında, bitkilerin kurutulmasında ve elektrik üretiminde de giderek artan miktarlarda güneş enerjisi kullanılmaktadır [15].

Güneş enerjisi teknolojileri temelde ikiye ayrılır. Bunlar ısı güneş teknolojileri ve fotovoltaik sistemler olarak adlandırılmaktadır. Her iki sistem yapısında barındırdığı malzemeler, uygulanan yöntemdeki amaç ve kullanım alanı olarak farklılık göstermektedir. Isıl güneş teknolojileri alanında ülkemizde en yaygın olarak kullanılan sistem düşük sıcaklık uygulamalarında tercih edilen güneş kolektörleridir. Fotovoltaik sistemler ise enerji kaynağı olarak güneş enerjisine dayalı olsa da burada amaç güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimidir [16]. Fotovoltaik sistemlerin tercih edilmesinde birçok neden sayılabilir. Ancak bunlardan en önemlileri çevreyi kirletmemeleri, yapılarının basit ve uygulamalarının kolay olmasıdır. Fotovoltaik sistemler uygulama çeşidine göre şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak, sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin konumlandırılmasına göre de sabit ve hareketli sistemler olarak tasarlanabilmektedir [17], [18].

Hemen hemen sıfır enerjili bina tasarımında fotovoltaik sistemler kilit öneme sahip olsa da tek ve yalnız başına bir çözüm olamayacağı akıllardan çıkmamalıdır. Binalar sıfır enerjiye yaklaştırılırken öncelikle akıllı bina teknolojileri, ısı geri kazanımı, ısı pompaları gibi enerji verimli sistemlerin yanı sıra trijenerasyon uygulamaları gibi birçok enerji etkin çözüm ile binanın elektrik girdisi düşürüldükten sonra geriye kalan tüketim fotovoltaik ile sağlanmalıdır. Ancak bu durumda fotovoltaik sistemler için makul geri ödeme süreleri söz konusu olacaktır. Bu durumu değerlendirmek için yakın zamanda yapılan bir analiz burada sunulmuştur [19]. Analizde Antalya ili Belek ilçesine inşa edilmesi düşünülen otelin, sıcak kullanım suyu gereksiniminin ısı pompası ile karşılanması için bir ısı pompası

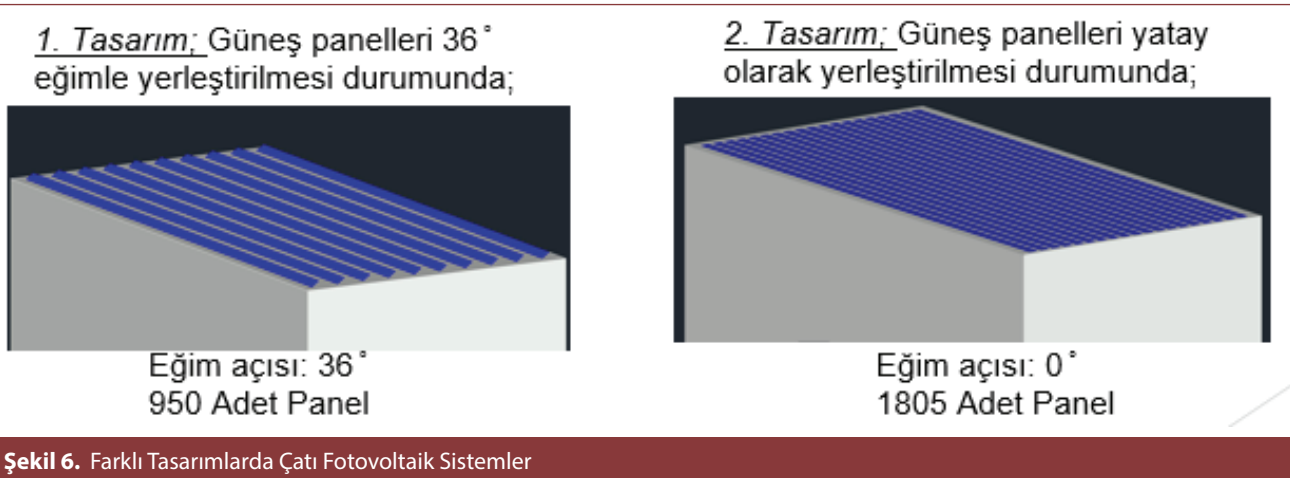
sistemi tasarımı yapılmış ve tasarlanan sistem için solar fotovoltaik desteği incelenmiştir. Isı pompası sistem tasarımında otel sıcak su gereksinimi, armatür sayısı ve tüketilecek su miktarı üzerinden 27.930 lt/gün, gerekli suyun depolanması için boyler kapasitesi ise 9 m³ olarak belirlenmiştir. Dalgıç pompa ve gerekli diğer pompaların basma yüksekliği ve debisi de hesaplanmış ve tüm ısı pompası sistem donanımlarının güçleri belirlenerek, gerekli tüketim miktarı belirlenmiştir. Çalışmanın devamında ise ısı pompası sisteminin elektrik tüketimini karşılayacak şekilde güneş panellerinin 36° eğimli ve yatay olarak yerleştirildiği iki farklı fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Antalya Belek için güneş ışınımı, pik saat ve sistem kayıpları hesaplanmıştır. Her iki fotovoltaik sistem için de kullanılan paneller 310 W gücündedir. Şekil 6'da analiz edilen iki farklı tasarım görülmektedir. Otel çatısına 36° eğim ile yerleştirilen fotovoltaik sistem tasarımında 950 adet fotovoltaik panel yerleşimi yapılarak yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 394.865,9 kWh/yıl olabileceği ve otelin ısı pompası elektrik tüketiminin %92,8'ini karşılayabileceği saptanmıştır. Otel çatısına yatay yerleştirilen fotovoltaik sistem tasarımında ise 1.805 adet fotovoltaik panel yerleşimi yapılarak yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 696.912,7 kWh/yıl olabileceği ve otelin ısı pompası elektrik tüketiminin tamamını karşılayabileceği belirlenmiştir. Her iki sistem için de yatırım maliyetini geri alma süresi yaklaşık sekiz yıl olarak hesaplanmıştır. Her ne bu yatırım maliyetini geri alma süresi uzun gibi gözükse de elektrik maliyetlerinin günden güne artması bu yatırımların gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra fotovoltaik hücre tasarımındaki gelişmeler ve verim artışları da bu yatırım geri dönüş sürelerini düşürecek unsurlar olarak göze çarpmaktadır.

8. SONUÇ

Bu yazıda, ticari bina sektöründeki yüksek enerji tüketimlerini ve iklim değişikliği sürecinde karbon salınımlarını azaltabilmek adına yapılabilecek birçok uygulamadan bahsedilmiştir. Bu uygulamalardan bir veya birkaçı değerlendirilerek enerji etkin tasarımlar mutlaka sağlanabilir. Yine de tasarlanan sistemin işletme halinde tam verimle çalışması için aşağıdaki soruların yanıtlanması da yarar sağlayacaktır. Bu sorular şu şekilde sıralanabilir;

- ✓ Tasarım aşamasında HVAC için doğru sistem tercih edildi mi?
 - Mühendislik çalışması yapıldı mı? Kaynaklar nelerdir, seçenekler belirlendi mi?
 - Bina kullanıcılarının tercihleri dikkate alındı mı?
- ✓ Akıllı bina için otomasyon uygulaması bir uzman tarafından belirlendi mi?
- ✓ Binanın işletmesinde yetkin kişiler çalışıyor mu? Bu kişi otomasyon işlemini doğru okuyabiliyor mu, gerektiğinde doğru hamleler yapabiliyor mu? SCADA üzerinden alınan veriler yeterince analiz edilebiliyor mu?

Bu soruların ışığı altında ticari binalarda enerji etkin sistemler için yapılan SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler – “Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats”) analizi Şekil 7'de verilmiştir. Ülkemizde sektörde yer alan mühendislerimiz ticari bina sektörünü çok iyi tanımakta ve artık gereksinimleri rahatlıkla belirleyebilmektedir. Covid-19 pandemi sürecinin başında





MMO öncülüğünde oluşturulan komisyon çalışmaları ve önerilen önlemler bile bunun açık göstergesidir. Ülkemizin mevsimsel ve jeolojik özellikleri de seçenekli kaynak çeşitliliği sağlamaktadır. Lokal konuma göre hava, su ya da toprak kaynaklı çözümler rahatlıkla yapılabilmektedir. Başarılı mekanik tesisat projeleri ve uygulamaları yapan çok sayıda mühendislik firmamızın olması yanı sıra HVAC otomasyonunu da başarı ile gerçekleştiren mühendisler ve mühendislik şirketlerimizin varlığı, güçlü yönlerimizi daha da kuvvetlendirmektedir.

Açıklanan bu güçlü yönlerimiz karşısında, yapılan yatırımları tam anlamıyla verimli kullanabilmemizi engelleyen bir takım zayıf yönlerimiz de bulunmaktadır. Birçok ticari binanın HVAC sistemlerinin işletilmesinde, konusunda uzman olan yetkin mühendislerin görevlendirilmemiş oluşu en zayıf yönümüz olarak dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra özellikle kamu binaları başta olmak üzere birçok ticari binada akıllı bina otomasyon sistemlerinin eksik bırakılması da güçlü yönlerimizi örselemektedir.

Ülkemizde iyi tasarlanmış enerji etkin binalar bulunmak-

ta ve başarılı örnekler olarak diğerlerine fırsat oluşturmaktadır. Artan enerji maliyetleri tehdit gibi algılsa da enerji etkin bina tasarımları için yatırımcıyı güdüleyen bir fırsat olarak değerlendirilmelidir. Uygulamada birtakım güçlükler olsa da 2009 yılından beri yürürlükte olan ve güncellemesi devam eden "Bina Enerji Performans Yönetmeliği"nin varlığı ve günümüzde ulaşılan Endüstri 4.0 bilinci, enerji etkin bina tasarımları için bir fırsat niteliğindedir. Enerjide ve enerji etkin bina tasarımında kullanılan birçok cihaz ve ekipmandaki dışa bağımlılığımız ise en büyük tehdit olarak önümüzde durmaktadır. Bütün bunlara ek olarak enerji etkin sistem ve ekipmanlar ile donanımlı bir binadan en fazla faydanın alınabilmesi için bina tesisatının devreye alınması sırasında test-ayar ve dengeleme işleminin yapılması ve tesiste bulunan ekipman ve sistemlerin koruyucu bakım ile verimliliklerindeki sürekliliğin sağlanması da oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

1. MMO Yayın No 717, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020, Oda Raporu, Ankara

2. **Karakaya, T.** 2014. "İklimlendirme Teknolojilerinde Yeni Eğilimler", İKSES Sempozyumu ve Sergisi.
3. **Eljidi, R.** "The Growth of Renewable Technology and Air Conditioning", BSRIA Publications.
4. **Demirel, D.** 2013. 'Bina Otomasyon Sistemleri', Schneider Electric.
5. **Ekren, O., Karadeniz, Z.H., Atmaca, İ., Urbanlı-Çiçek, T., Sofuoğlu, S., Toksoy, M.** 2017. "Assessment and Improvement of Indoor Environmental Quality in a Primary School ", SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR THE BUILT ENVIRONMENT, vol.23, pp.391-402.
6. **Atmaca, İ., Ekren, O., Sofuoğlu, S., Karadeniz, Z.H., Toksoy, M.** 2016. "Investigation of Thermal Comfort in a Classroom Improved with Heat Recovery Ventilation System. ", XII. International HVAC+R Sanitary Symposium, İSTANBUL, TÜRKİYE, 31 Mart- 2 Nisan 2016, pp.195-200
7. **Fawcett, T.** 2011. "The future role of heat pumps in the domestic sector", ECEEE 2011 Summer Study
8. **Brown, R.** 2009. "Heat Pumps – A Guidance Document for Designers", BSRIA Publications.
9. **Korun, T.** 2013. "Isı Pompaları", FORM Şirketler Grubu.
10. **Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N.** 2009."Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları", Dora Yayıncılık.
11. **Atmaca, İ.** 2013. 'Energy and exergy analysis of a solar-assisted heat pump space heating system for clear days', Int. J. Exergy, Vol. 12, No. 2, pp.226–248.
12. **Atmaca İ., Koçak Soylu, S., Çağlar, A.** 2014. "Klima Dış Ünitesi Giriş Havaşının Evaporatif Soğutulmasında Kullanılması Planlanan Sistem Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi", 2. Ulusal İklimlendirme SoğutmaEğitimi Sempozyumu ve Sergisi, BALIKESİR, TÜRKİYE, 23-25 Ekim 2014, ss.578-587
13. **Koçak Soylu, S., Atmaca, İ.** 2016. "A Study on Air - Cooled Chillers with Evaporatively Cooled Condanser for 3 Types of Climate", ISI BİLİMİ VE TEKNİĞİ DERGİSİ-JOURNAL OF THERMAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, vol.36, pp.1-8.
14. **Taşova, M.** 2018. "Türkiye'nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri ve Güneş enerjisinden Faydalanma Olanakları", İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7 (3), 10-17.
15. **Kılıç, F. Ç.** 2015. "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40.
16. **Şenel A., Çengel, G., Koçak Soylu, S., Atmaca, İ.** 2019. "Aynı Ekonomik Ölçekteki Solar Termal ve Solar Fotovoltaik Uygulamanın Çok Yönlü Analizi", 10. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi YEKSEM 2019, ANTALYA, TÜRKİYE, 12-14 Aralık 2019, ss.44-53
17. YEGM. 2015. "Enerji verimliliği, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi, Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri", <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/yogunlastiricilar.html>, son erişim tarihi: 16.11.2015.
18. **Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E.** 2014. "Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu", Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım 2014, Bursa
19. **Çengel, G., Şenel, A., Koçak Soylu, S., Atmaca, İ.** 2019. "Deniz Suyu Kaynaklı Isı Pompası ile Sıhhi Sıcak Su Temini Uygulamasında Solar Fotovoltaik Desteğinin İncelenmesi", 10. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi YEKSEM 2019, ANTALYA, TÜRKİYE, 12-14 Aralık 2019, ss.130-139