



# BİNALARIN EKSERJİ BAZLI TERMODİNAMİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ

*Exergy-Based Thermodynamical Analyses and Assessments of Buildings*

**Arif HEPBAŞLI**  
**Hüseyin Günhan ÖZCAN**  
**Hüseyin GÜNERHAN**  
**Nurdan YILDIRIM**

## ÖZET

Enerjinin “kalitesi” olarak ekserji, enerjiyle ilgili sistemlerin potansiyelini kıyaslamak ve prosesler/sistemlerdeki olası iyileştirmeleri ortaya çıkarmak için çok önem taşımaktadır. HVAC mühendisleri, performansın değerlendirilmesinde, termodinamiğin birinci yasasına dayalı analizleri, başka bir deyişle enerjinin kalitesini göz önüne almadan, miktarına dayalı analizleri yapma eğilimindedir.

Bu çalışmada, öncelikle binaların ekserji analizinde kullanılan değişik yöntemler ele alınmaktadır. Daha sonra, geleneksel ve pasif binaların ekserjetik açıdan analizi ve kıyaslaması yapılmaktadır. Son olarak, elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır. Yazarlar, HVAC mühendislerinin ekserjiye dayalı bina analizleri konusunda yeni bir bakış açısı kazanmasına, gerek tasarım gerekse de test aşamasında, enerjetik ve ekserjetik değerlendirmeleri göz önüne almalarına katkı koymayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Binalar, Ekserji analizi, Performans değerlendirme, Enerji verimliliği, Ekserji verimliliği, Termodinamik analiz.

## ABSTRACT

As a measure of energy “quality”, exergy is of capital importance to compare the potential for energy-related systems and to deduct possible improvements in processes or systems. In assessing the performance, HVAC engineers have a tendency to perform analyses based on the first law of thermodynamics, in other words the quantity of energy, without taking the quality of energy into consideration.

In this study, various exergy analysis methods used in exergy analysis of buildings are treated first. Exergetic analysis and comparison of traditional (conventional) and passive buildings are then performed. Finally, the results obtained are discussed. The authors aim at contributing to that HVAC engineers will gain a new perspective on exergetic analysis of buildings and consider energetic and exergetic assessments at both design and test stages.

**Key Words:** Buildings, Exergy analysis, Performance evaluation, Energy efficiency, Exergy efficiency, Thermodynamic analysis.

## 1. GİRİŞ

Binalarda kullanılan ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri, dünyanın birincil enerji talebinin üçte birinden daha fazlasını oluşturmaktadır. Bina sektöründe enerji tedarikiyle talebi arasında kalite uyumunun iyileştirilmesi için büyük bir potansiyel vardır; çünkü düşük sıcaklıkta ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek sıcaklıktaki kaynaklar kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıktaki ısıtma sistemleri,

sürdürülebilir enerji kaynakları ile sağlanan düşük değerli enerjinin kullanımını mümkün kılan sistemler olarak tanımlanabilir. Bu sistemler, pratik olarak, oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtma ve soğutma enerjisi sağlarlar.

Günümüzde enerji politikaları ve uygulamaları, enerji üretiminin ekonomikliğinden-maliyetinden ve miktarından önce, doğal kaynakları tüketmeyen, iklim sözleşmesine uygun, yenilenebilir, sosyal ve toplumsal maliyeti en az olan enerji üretimi yapılması esasına göre düzenlenmektedir. Bugün, enerji kullanımı ve tüketimindeki en önemli gerçek ise; en ucuz enerjinin, verimli kullanılan ve tasarruf edilen enerji olduğudur.

Enerji verimliliğinin ve tasarrufunun artırılması; yeni enerji kaynaklarının devreye sokulması için yapılacak yatırımlardan daha ekonomik, daha çabuk, daha ucuzdur. Bu nedenle, tüketiciler olarak, binaların verimliliğe ve enerji tasarrufuna önem verildiğinde, binalarda kullanılacak sistem ve cihazlar bilinçli seçildiğinde ve kullanıldığında, binaların yalıtımı için gerekli önlemler alındığında hem aile hem de ülke ekonomisine büyük bir yarar sağlamanın yanında, çevrenin korunmasına da büyük bir katkıda bulunulacaktır.

Son zamanlarda, ekserji analizi, değişik ısı sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin iş potansiyelinin bir ölçüsüdür. Bir bakıma, enerjinin kalitesi ve fırsatlarımızdır.

Günümüzde binalarda enerji hesaplamaları genelde termodinamiğin birinci kanuna göre yapılmaktadır. Bu tip hesaplamalarda, enerji korunumu ilkesi göz önünde bulundurulduğundan, sistemin enerji kullanımının tanımlanması yetersiz kalmaktadır. Bu bakış açısıyla ekserji analizi yöntemi, termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre birlikte hesaplama yapılması ile binalarda enerji akışının tasarımı ve kullanımının net olarak tanımlanmasında etkili olmaktadır.

Ekserji analizi ile binalarda ısı konforunun sağlanması daha etkin olmaktadır. En az ekserji ile çevre şartlarına göre iyi bir iç ısı konforunun sağlanması amaçlanır. Böylece, iyi bir ekserji optimizasyonu yapılarak, en iyi konfor şartlarına ulaşılabilir. Ekserji analiziyle, binalarda sistemlerin ve ekipmanların enerji akışına göre tasarlanması neticesinde verimin artırılması sağlanır [1]. Binaların enerji analizinde kullanılan binanın enerji performansı; kullanıcıların bina içerisinde konforunu sağlamak için gerekli olan enerji miktarı ile değerlendirilebilir. Bu çerçevede enerji ihtiyacını değerlendirmek için bir enerji dengesi kurulur. Isı kayıpları; iletim (duvar, çatı, toprak vb) doğal ve zorlanmış taşınım (havalandırma) ile hesaplanır. Ortam ile ilgili olarak, dış sıcaklıkların ortalama değerleri ay bazında alınabilir. Isı kayıpları; cihazlar, kullanıcılar ya da açık kazançlar (güneş enerjisi kazancı gibi) enerji kazanımları kısmen giderilebilir. Genel olarak enerji analizi; enerjinin her süreçte depolandığını ve tüketilemeyeceğini veya yok edilemeyeceğini belirten birinci termodinamik yasasına atıfta bulunur ve enerji sadece dönüştürülebilir. Ancak, bu kavram enerji kaynağı kullanımının bazı önemli yönlerini bina performansı olarak tasvir etmekte yetersiz kalmaktadır. Ekserji, belirlenen koşullar altında bir sistemin en fazla çalışma kapasitesini gösterir [2].

Bir binanın ısıtma-soğutma ve iklimlendirme sistemi; çevresel etkiler ve ekonomik parametreler birleştirilerek, yaşam döngüsü analizi ile eksergoekonomik olarak incelenebilir yani geliştirilmiş ve yeni bir yöntemle değerlendirilebilir. Geliştirilmiş ekserji ve yaşam döngüsü ile bütünleştirilmiş ekonomik analizler ile; ekserji endeksleri tanımlanabilir. Sürdürülebilirlik endeksi ve tükenme oranı gibi yeni endeksleri tanımlanabilir ve bu endeksler bina sistemlerine uygulanabilir [3].

## 2. BİNALARIN ANALİZİNDE KULLANILAN EKSERJİ BAZLI YÖNTEMLER

Ekserji analiz yöntemi termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını birlikte içermektedir ve en genel anlamda ele alınan sisteme/prosesine ait maksimum iş yapma potansiyelini verir. Bilindiği üzere termodinamiğin birinci yasası enerjinin miktarı ile ilgilenirken ısı, iç enerji, iş vb. enerji türlerine ait korunum denklemlerini ele alır. Öte yandan, termodinamiğin ikinci yasası ise enerjinin kalitesi ile

ilgilenir ve entropi kavramını ortaya koyar. Bu kavram tüm gerçek sistem/proses analizlerinde tersinmezliklerden dolayı sürekli olarak artmaktadır ve kullanılamayan enerji miktarını belirler (anergi). Bu koşullar altında sisteme/prosesine ait ekserji ise enerji ile anergi arasındaki farkı ortaya koyar ve haliyle azalma eğilimindedir. Sonuç olarak bir sisteme/prosesine ait gerçekleştirilen birinci ve ikinci yasa analizleri kapsamında entropi üretilirken ekserji yok olmaktadır. Bu noktada önem kazanan bir diğer kavram ise sıcaklık, basınç ve kimyasal kompozisyon tanımları ile belirlenen referans ya da ölü hal koşullarıdır ve ekserji analizleri bu koşullara doğrudan bağlıdır. Tüm bu tanımlamaların ardından ekserji kavramını temel alan ve binaların analizinde kullanılan yöntemler ise aşağıda verilmiştir [4].

## 2.1. Geleneksel Ekserji Analizleri

Ekserji bazlı yöntemler uygulanabilirliğinin pratik olması, inovatif çözümleri değerlendirebilmesi ve insan konforu ile iç ortam koşullarını irdelemesi vb. özelliklere sahip olduğundan ötürü binaların analizinde kullanılabilir. Bu noktada özellikle bina enerji tüketiminde büyük pay sahibi olan ısıtma ve soğutma sistemlerinin ekserjetik açıdan değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu değerlendirme esnasında ekserji yıkım değeri, ekserjetik verim, sürdürülebilirlik indeksi, vb. parametreler önem kazanmaktadır. Bu kavramlar göz önünde bulundurulduğunda hali hazırda büyük çoğunlukla kullanılan yüksek kaliteli enerji kaynaklarının yenilenebilir enerji türleri ile yer değiştirmesi ve ekserjetik açıdan daha verimli sistem çözümlerine yer verilmesi ekserjetik bakımdan daha etkin seçenekler sunmaktadır. Ayrıca, ekserji analizlerini ekonomik ve/veya çevresel indekslerle birlikte gerçekleştirilerek daha kapsamlı bir yöntem olarak uygulanabilmektedir [4].

### 2.1.1 Ekserjetik

Enerji kimyasal, mekanik, termal vb. birçok formda bulunabilmektedir. Tüm bu enerji formlarının ekserji içeriği ise birçok etkene bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve dikkatli ve uygun bir şekilde kalite faktörlerinin tanımlanması ile belirlenebilir. Örneğin termal enerjinin ekserji içeriği  $[1-(T_0/T_1)]$  Carnot çarpanı ile belirlenebilirken akış enerjisinin ekserjisi  $(h-T_0s)$  eşitliği ile elde edilebilir. Benzer şekilde binalarda kullanılan fosil yakıtlar ve enerji taşıyıcılara ait kalite faktörleri, bir başka deyişle ekserji içerikleri doğal gaz, akaryakıt, LNG ve kömür için 0,9 iken 100 °C deki bölgesel ısıtma ve elektrik için sırasıyla 0,21 ve 1 olarak tanımlanmıştır.

Binaların analizinde kullanılan ekserji bazlı yöntemler enerji tedarik zincirinin tümü için uygulandığında, enerji santralleri için güç çıkışını maksimize etmek ve binalarda soğutma ve/veya ısıtma amaçlı kullanan ve inovatif çözümler sunan sistemler için güç tüketimini minimuma indirmek temel amaç olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda Annex 37 “Binaların ısıtma ve soğutmasında kullanılan düşük ekserjili sistemler” ve Annex 49 “Yüksek performans binalar ve toplumlar için düşük ekserjili sistemler” gibi ön tasarımı aşamasında geniş perspektifte kullanılan ekserji analiz yöntemleri olduğu gibi SEPE “Ekserji performans değerlendirilmesi için yazılım” gibi daha çok ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerini temel alan programlarda mevcuttur. Bu programların temel mantığı ekserji akışını farklı bileşenlerin oluşturduğu birçok kademede (üretim, dağıtım, emisyon, vb.) irdelemektir. İlgili kademeler dikkate alındığında enerji dönüşümü ve ulaşımı sırasındaki ve sıcaklık değişimi kaynaklı tersinmezlikler ve bunun sonucunda oluşan ekserji yıkımı ve ekserjetik verimlilik belirlenebilmektedir. Bu sırada meydana gelen toplam (Eş. 1) ve özgül akış (Eş. 2) ekserji değerleri aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile bulunabilir. Bir sistemdeki toplam ekserji (Ex) dört ana değişken ile ifade edilmektedir. Bunlar; fiziksel ekserji  $Ex^{PH}$ , kimyasal ekserji  $Ex^{CH}$ , kinetik ekserji  $Ex^{KN}$  ve potansiyel ekserji  $Ex^{PT}$  şeklindedir [5].

$$Ex = Ex^{PH} + Ex^{KN} + Ex^{PT} + Ex^{CH}, \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

$$Ex = ex^{PH} + ex^{KN} + ex^{PT} + ex^{CH}, \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

Potansiyel ve kinetik ekserji değişimlerini ihmal ettiğimizde ve sistemdeki kimyasal ekserji değişimini olmadığını varsayarak, bir kütle akışının toplam ve özgül ekserjisi aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir;

$$ex^{PH} = (h-h_0) - T_0(s-s_0), \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3)$$

$$Ex^{PH} = dm/dt \cdot ex^{PH}, \quad (kW) \quad (4)$$

Burada “h” ve “s” özgül entalpi ve entropi dir, “T” sıcaklık parametresini ifade ederken, “0” referans çevre şartlarını göstermektedir.

Bu akış enerjilerinin belirlenmesinin ardından her bir prosese ya da kademeye ait ekserji yok oluşu, ekserjetik verim ve sürdürülebilirlik indeksi aşağıda yer alan eşitliklerle belirlenebilir [5-6].

$$dBina_{kontrol\ hacmi}/dt = \sum_j [1-(T_0/T_i)]Q_i - W_{kontrol\ hacmi} + \sum Ex_{giren} - \sum Ex_{çıkan} - Ex_{yok\ edilen}, \quad (kW) \quad (5)$$

$$\psi = Ex_{çıkan}/Ex_{giren} = 1 - (Ex_{yok\ edilen}/Ex_{giren}), \quad (-) \quad (6)$$

$$SI = 1/(1-\psi), \quad (-) \quad (7)$$

Yukarıda verilen denklemler temel alınarak binaların ekserjetik performans analizleri enerji tedariki ve talebi kısımlarının birlikte değerlendirilmesiyle aşağıda Tablo 1 ile verilen eşitliklerin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu analizler sayesinde daha akılcı bir enerji çözümü sunulabilmektedir. Örneğin, doğrudan elektrik enerjisinin ya da fosil yakıtların kullanıldığı bir çözümde en düşük ekserji verim değerleri (yaklaşık % 0,07) elde edilirken, ekserjetik analiz bakış açısıyla atık ısı, ısı pompası veya güneş enerjisi çözümlerine yönelmenin daha akılcı olduğu ortaya çıkmaktadır [4].

**Tablo 1.** Ekserjetik analiz denklemleri [6].

Denklemler	Eşitlikler
Isı yükü	$Q_h = (Q_T + Q_V) - (Q_s + Q_{i,o} + Q_{i,e} + Q_{i,l})$
Odaya ait ekserji yükü	$Ex_{oda} = F_{q,oda} Q_h$
Isıtıcıya ait ekserji yükü	$Ex_{ısıtıcı} = F_{q,ısıtıcı} Q_h$
Emisyon sistemi boyunca ekserji değişimi	$\Delta Ex_{HS} = \{(T_{in} - T_{ref}) - T_{ref} \ln(T_{in}/T_{ref})\} * (Q_h + Q_{loss,HS}) / (T_{ref} - T_{in})$
Dağıtım sistemi boyunca ekserji değişimi	$\Delta Ex_{dis} = T_{dis} - (T_{ref} \ln(T_{dis}/(T_{dis} - \Delta T_{dis})) Q_{loss,dis} / \Delta T_{dis}$
Üretim sistemine ait ekserji yükü	$Ex_{HP} = \{Q_h + Q_{loss,HS} + Q_{loss,dis} (1 - F_s) / \eta_{CP}\} * F_{q,s}$
Fabrikaya ait ekserji yükü	$Ex_{plant} = (P_l + P_v) F_{q,el}$
Gerekli birincil enerji	$E_{p,tot} = Q_{HP} F_p + (P_l + P_v + P_{aux,HP} + P_{aux,dis} + P_{aux,HS}) F_{p,el}$
Ek yenilenebilir enerji girdisi	$E_R = Q_{HP} F_R + E_{env}$
Gerekli birincil ekserji	$Ex_{tot} = Q_{HP} F_p F_{q,s} + (P_l + P_v + P_{aux,HP} + P_{aux,dis} + P_{aux,HS}) F_{p,el} + E_R F_{q,R}$

### 2.1.2. Eksergoekonomik

Eksergoekonomik ya da termoekonomik analizler kullanılarak geleneksel ve ileri ekserjetik analizler finansal bileşenlerle (yatırım ve işletme-bakım maliyetleri, yıllık çalışma süresi, faiz oranı, sisteme ait ömür, hurda değeri, vb.) birlikte değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda EXCEM [7] ve SPECO [8] yöntemleri kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ise eksergoekonomik faktör hesaplanarak bu katsayı üzerinden bir değerlendirme gerçekleştirilmektedir [9].

### 2.1.3. Eksergoçevresel

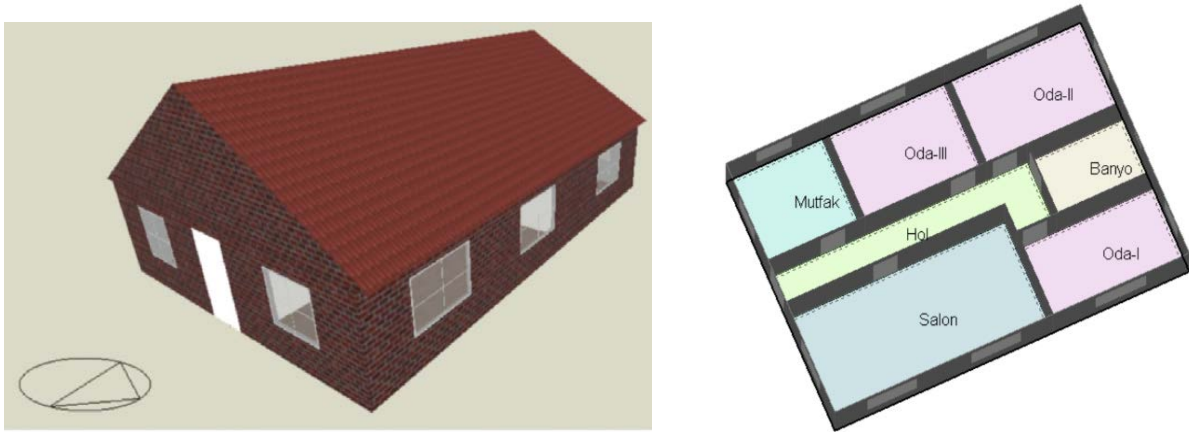
Bu analiz türü geleneksel ve ileri ekserjetik analizleri ile yaşam-döngü analizinin berleşiminden meydana gelmektedir. Yukarıda tanımlanan eksergoekonomik analizle benzerlik göstermekte olup maliyet ifadeleri ile eşleştirilen ekserji ifadeleri bu analiz türünde çevresel etki ile eşleştirilir. Eksergoçevresel analiz temel olarak üç adımdan meydana gelmektedir. İlk olarak ekserji analizleri yapılacak, ardından yaşam-döngü analizi ve son olarak yaşam-döngü analizinden elde edilen çevresel etki bileşenleri ekserji akışıyla eşleştirilecektir [10].

## 2.2. İleri Ekserji Analizleri

Bu analiz yöntemi geleneksel ekserji analizlerinin (ekserjetik, eksergoekonomik, eksergoçevresel) devamı ve tamamlayıcısı niteliğindedir. Geleneksel ekserji analizleri ile belirlenen ekserji yıkımı önlenemez, önlenemez, iç ve dış olmak üzere parçalara ayrılarak, daha detaya inen kapsamlı bir analiz yöntemi uygulanabilir. Bu sayede sisteme ve/veya bileşene ait ekserji yıkımının teknolojik ve ekonomik kısıtlara dayalı kısmı (önlenemez/önlenemez) ve diğer sistem ve/veya bileşenler ile etkileşimi neticesinde ortaya çıkan kısmı (iç/dış) hesaplanabilmektedir. Bu sayede geleneksel ekserji analizleri daha detaylı bir şekilde ele alınabilmektedir [11].

## 3. GELENEKSEL VE PASİF BİNALARIN EKSERJETİK AÇIDAN KIYASLANMASI

Bu çalışmada, 3 oda ve 1 salondan oluşan  $117 \text{ m}^2$  ( $13 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ ) taban alanına sahip, 2,5 m kat yüksekliği ile  $292,5 \text{ m}^3$  hacme sahip müstakil tek katlı bir konut ele alınmıştır. İncelenen konutun panoramik görüntüsü ve kat planı Şekil 1'de gösterilmekte, mimari özellikleri de Tablo 2'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Konut binasının panoramik görünümü ve planı [12].

Lokasyon olarak İzmir ili seçilmiştir. Isıtma yükü hesapları için iç hava sıcaklığı  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , dış hava sıcaklığının tasarım değeri, % 99,6 sıklıkla  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır [13].

Tablo 2. Konutun mimari özellikleri.

Bina Yapı Elemanı	Alan ( $\text{m}^2$ )				
	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	Toplam
Dış duvar	25,5	19,0	26,5	19,0	90,0
Pencere	7,0	3,5	6,0	3,5	20,0
Döşeme					117
Tavan					117
Dış kapı		2,5			

Geleneksel ev (Alternatif 1) öngörüsü ile bina kabuğu yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları (U) için TS 825 standardına [14] göre izin verilen maksimum değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır (Tablo 3). Pasif ev konusunda ülkemizde bir standard ve/veya yönetmelik henüz mevcut

olmadığından, pasif ev (Alternatif 2) için bina kabuğu yapı elemanlarının sahip olması gereken ısı transfer katsayıları için Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV)'nin web sayfasında belirttiği değerler kullanılmıştır [15].

SEPEV'e göre Pasif Ev'lerin sahip olması gereken temel tasarım özellikleri aşağıda özetlenmiştir [15]:

- Yapı elemanlarında yüksek düzeyde yalıtım malzemesi kullanılarak  $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- Yüksek düzeyde yalıtımlı pencere ve kapı sistemleri  $U_p < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- Hava sızdırmaz bina kabuğu ( $< 0,6/\text{h} @50 \text{ Pa}$ ),
- % 75 ve üzerinde verimliliğe sahip ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi,
- Mimari detay çözümleri ile ısı köprülerinin oluşmasına engellenmesi,
- Birim kullanım alanını ısıtmak için yıllık iharcanaan enerji  $25 \text{ kWh}$  değerini aşmamalıdır.

Geleneksel ve pasif ev alternatifleri için yapı elemanlarının hesaplamalarda alınan U değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Bina yapı elemanları U değerleri [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]

Bileşen	Alternatif 1	Alternatif 2
Dış duvar	0,7	0,15
Tavan	0,45	0,15
Döşeme	0,7	0,15
Dış kapı	2,4	0,8
Pencere	2,4	0,8

Geleneksel ev (Alternatif 1) öngörüsünde ısıtma sistemi için  $70 \text{ }^\circ\text{C}/60 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık rejiminde çalışan standart kazanlı ve radyatör ısıtma sistemi alınırken, pasif ev (Alternatif 2) için  $35 \text{ }^\circ\text{C}/22 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık rejiminde çalışan hava kaynaklı ısı pompası ve ısıtma sistemi alınmıştır.

Saatlik hava değişim oranı pasif ev (Alternatif 2) için 0,6, geleneksel ev (Alternatif 1) için 1,0 olarak alınmış, geleneksel evin doğal havalandırmalı pasif evin ise mekanik havalandırmaya sahip olduğu öngörülmüştür.

Geleneksel ve pasif ev alternatiflerindeki bir diğer farklılık arz eden özellik ise, pasif evde solar ısı kazancını arttırmak için güney cephedeki dış duvardaki pencere-duvar oranı dış duvara  $2 \text{ m}^2$  ilave pencere eklenerek % 18'den, % 25'e çıkarılmıştır.

Geleneksel ve pasif ev alternatifleri için gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizinde alınan sabit değerler ve yapılan kabuller Tablo 4'de özetlenmiştir.

Yapılan enerji analizi sonucu geleneksel ve pasif ev için elde edilen ısı yükleri Tablo 5'te verilmektedir. Tablo 5'ten görüldüğü üzere, konutun toplam ısı ihtiyacı geleneksel ev için  $3263,66 \text{ W}$ , pasif ev için ise  $58,33 \text{ W}$  olarak hesaplanmıştır. Uygulanan yüksek yalıtım ile pasif evde iletim ısı kaybı akımının önemli oranda düştüğü, güney yönündeki pencere alanının artırılması ile solar ısı kazancının geleneksel eve göre arttığı görülmektedir. Geleneksel ev doğal havalandırmalı, pasif ev de mekanik havalandırmalı olarak öngörüldüğünden, geleneksel evde havalandırma kaynaklı ısı kaybı daha fazla olmakta, diğer yandan ise pasif evde mekanik havalandırma nedeniyle yaklaşık  $157 \text{ W}$ 'lık bir enerji tüketimi söz konusu olmaktadır.

**Tablo 4.** Enerji ve ekserji analizinde yapılan kabuller ve alınan değerler

Parametre	Birim	Sembol	Alternatif 1	Alternatif 2	
			Değer		
Isı kayıpları	Hava değişim oranı	[ach/h]	$n_d$	1	0,6
	Isı değiştiricisi verimi	[-]	$\eta_v$	0,8	
	İç havanın özgül ısı	[kJ/kgK]	$C_p$	1,005	
	İç havanın yoğunluğu	[kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	1,2	
Isı kazançları	Pencere çerçeve oranı	[-]	$F_f$	0,3	
	Toplam geçirgenlik	[-]	$g_i$	0,58	
	Güneş radyasyonu:				
	GD-GB,			85,3	
	KB-KD	[W/m <sup>2</sup> ]	$I_{s,j}$	54,4	
	Diğer yönler			50	
	Kişi başı yayılan ısı akımı	[W/kişi]	$\dot{Q}'_o$	80	
	Ekipmanlara özgü iç kazanç	[W/m <sup>2</sup> ]	$\dot{Q}'_e$	2,0	
Diğer kullanımlar	Özgül aydınlatma gücü	[W/m <sup>2</sup> ]	$p_l$	2	
	Özgül havalandırma gücü	[W/m <sup>2</sup> ]	$p_v$	0,26	
Dağıtım Sistemi	Sıcaklık düşüşü	[K]		<5	
	Isı kaybı/verim	[-]	$\eta_{dis}$	0,86	
	İkincil (yardımcı) enerji oranı	[W/kW <sub>isi</sub> ]	$P_{aux,dis}$	9,02	
Isıtma sistemi	Giriş sıcaklığı	[°C]	$T_{in}$	70	35
	Dönüş sıcaklığı	[°C]	$T_{ret}$	60	22
	İkincil (yardımcı) enerji akımı	[W/kW <sub>isi</sub> ]	$P_{aux,HS}$	0,2	8,02
	Max. ısı emisyonu	[W/m <sup>2</sup> ]	$\rho_{isi,max}$	100	34
	Isı kaybı/verim	[-]	$\eta_{HS}$	0,95	0,95
DHW sistemi	DHW ihtiyacı	[l/pers.d]	$V_w$	45	
	Verim	[-]	$\eta_{G,DHW}$	0,75	
	Kaynağın birincil enerji faktörü	[-]	$F_{P,DHW}$	1,30	
	Kaynağın kalite faktörü	[-]	$F_{q,s,DHW}$	0,95	
Isı Üretimi	Verim	[-]	$\eta_{HP}$	0,8	2,5
	Kaynağın birincil enerji faktörü	[-]	$F_P$	1,3	3,0
	Kaynağın kalite faktörü	[-]	$F_{q,s}$	0,95	1,0
	Max. besleme sıcaklığı	[°C]	$T_{HP,max}$	90	35
	İkincil (yardımcı) enerji akımı	[W/kW <sub>isi</sub> ]	$P_{aux,Gen}$	1,80	10
	İkincil (yardımcı) enerji akımı sabiti	[W]	$P_{aux,gen,const}$	20	
	Birincil enerji elektrik faktörü	[-]	$F_{P,el}$	-	1,5

**Tablo 5.** Geleneksel ve pasif ev alternatiflerinin ısı yükleri

Isıl yük elemanları	Birim	Alternatif 1	Alternatif 2
İletim ısı kaybı akımı	[W]	4157,01	1156,72
Havalandırma ısı kaybı akımı	[W]	372,35	223,41
Solar ısı kazancı akımı	[W]	477,7	533,81
İç ısı kazancı akımı (insanlar)	[W]	320	320
İç ısı kazancı akımı (elektrikli cihazlar)	[W]	234	234
Aydınlatma gücü	[W]	234	234
Havalandırma gücü	[W]	0	157,95
Toplam ısı ihtiyacı	[W]	3263,66	58,33
Özgül ısı ihtiyacı	[W/m <sup>2</sup> ]	27,89	0,5

Tablo 6'da geleneksel ve pasif ev için yapılan ekserji analizinin başlıca sonuçları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, pasif ev öngörüsünde hava kaynaklı ısı pompası kullanıldığında yenilenebilir enerji yükü söz konusudur. Pasif ev için elde edilen ekserji yükleri, havalandırma dışında, geleneksel evin ekserji yükleri ile kıyaslandığında önemli oranda düşük olduğu açıkça görülmektedir.

**Tablo 6.** Ekserji analizi sonuçları [W]

Ekserji yükü dağılımı	Alternatif 1	Alternatif 2
Oda ekserji yükü (bina kabuğu)	211,53	3,78
Isıtıcı ekserji yükü (İç hava)	428,25	4,37
Isıtma sistemi ekserji yükü	650,00	5,59
Dağıtım sistemi ekserji yükü	117,61	2,10
Depolama ekserji yükü	53,26	0,34
Isı üretim sistemi ekserji yükü	2889,65	17,40
Birincil enerji dönüşümü ekserji yükü	5498,05	1761,08
Aydınlatma ekserji ihtiyacı	234,00	234,00
Havalandırma ekserji ihtiyacı	0	157,95
Sistemin ekserji yükü	777,80	566,95
Sıcak su birincil ekserji ihtiyacı	571,67	175,00
Birincil yenilenebilir enerji yükü	0	26,09

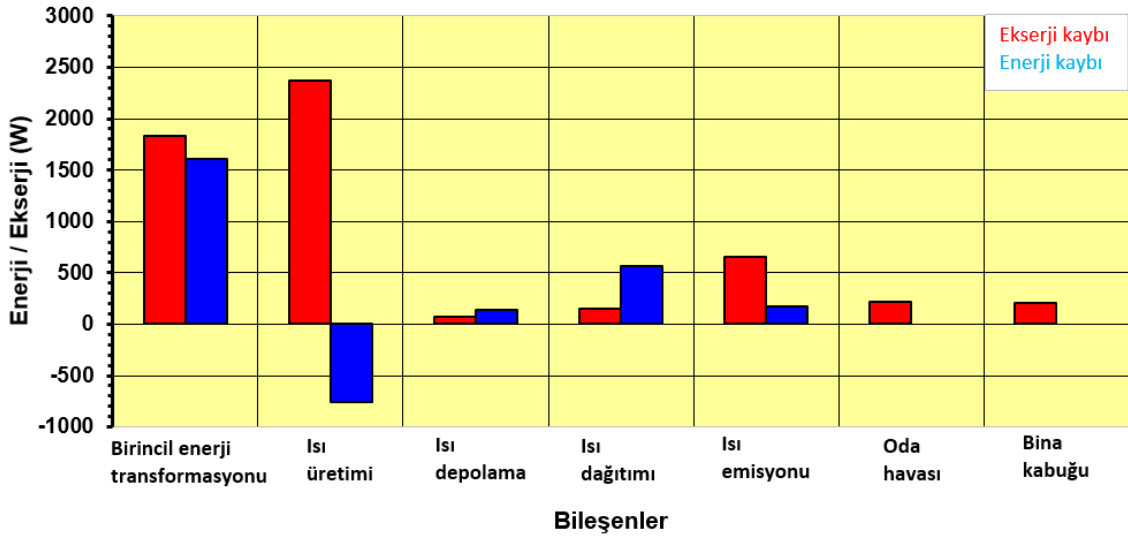
Geleneksel ve Pasif Ev alternatifleri, enerji ve ekserji verimleri, birim enerji ve ekserji ihtiyaçları, esneklik faktörü ve sürdürülebilirlik indeksine göre karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere pasif ev için ekserji yıkımı % 33,24 oranında daha düşük değere sahiptir. Ayrıca her bir kademede enerji ve ekserji kayıplarının da Şekil 2 ve 3 ile gösterildiği gibi pasif ev için daha düşük mertebelerde gerçekleştiği görülebilir. İlaveten aynı iç ortam koşullarını sağlamada pasif eve ait enerji ve ekserji girişinin geleneksel eve göre sırasıyla % 24,78 ve % 33,31 oranında daha düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan her ne kadar enerji/ekserji talebi ve tedariki kısımlarında pasif ev çözümü çok daha az miktarlara ihtiyaç duysa da enerjetik, ekserjetik verim ile bu verime bağlı olarak belirlenen sürdürülebilirlik indeksi ile esneklik faktörü kavramları bakımından geleneksel ev ön plana çıkmaktadır. Bu noktada binaya ait enerji/ekserji tüketiminin azaltılmasının yanında bu enerjinin ilk kaynaktan alınarak bina kabuğunu terk edene kadar nasıl değerlendirildiğinin de önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Örneğin ısı üretiminde kazan, ısı pompası, solar kolektör, atık ısı destekli bölgesel ısıtma, vb. teknolojiler kullanılabilirken emisyon sistemi kapsamında hava ısıtma/soğutma, radyatör, radyan paneller, yerden ısıtma, vb. sistem seçeneklerine yer verilebilir.

**Tablo 7.** Enerji ve ekserji analiz sonuçları

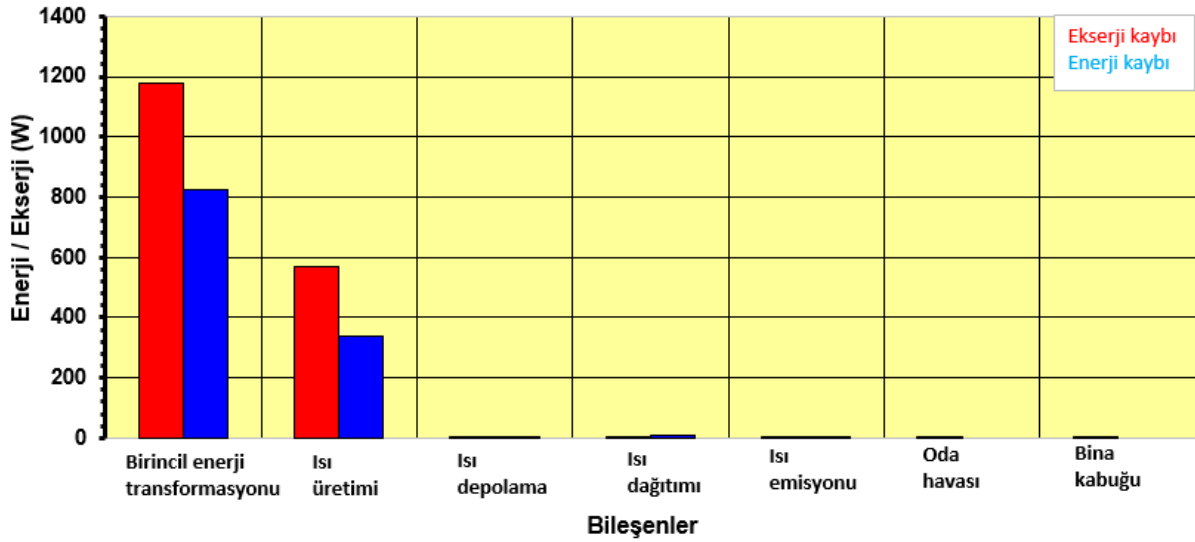
	$\eta_{sys}$	$\psi_{sys}$	$\dot{E}x_{dest}$	$\dot{E}''_{tot,pa}$	$\dot{E}''_{tot,pv}$	$\dot{E}x''_{tot,pa}$	$\dot{E}x''_{tot,pv}$	$F_{flex}$	SI
	[%]	[%]	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>3</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]
Alternatif 1	0,654	0,0385	5286,52	42,65	17,06	45,18	18,07	0,196	1,040
Alternatif 2	0,046	0,0022	1757,29	10,57	4,23	15,05	6,02	0,006	1,002

Şekil 2 ve 3 ile gerek geleneksel gerekse pasif ev çözümlerine ait enerji ve ekserji kayıpları birincil enerji transformasyonundan başlayıp bina kabuğunu terk edene kadarki tüm basamakları içerecek şekilde gösterilmiştir. En genel anlamda, pasif eve ait ilgili kayıpların oldukça düşük mertebelerde gerçekleştiği söylenebilir. Bileşenleri içeren kademe bazlı inceleme yapıldığında ise maksimum enerji ve ekserji kaybı geleneksel ev için birincil enerji transformasyonu (1602,85 W) ile ısı üretimi (2368,13 W) kademelerinde meydana gelirken, pasif ev için birincil enerji transformasyonunda (824,05 W ve 1176,73 W) kademesinde oluşmaktadır. Buna karşın, minimum ekserji kaybı geleneksel ev için ısı depolama basamağında (72,14 W) meydana gelirken, pasif ev için oda havası (0,59 W) kısmında oluşmaktadır.





Şekil 2. Geleneksel eve (Alternatif 1) ait enerji/ekserji kayıpları



Şekil 3. Pasif eve (Alternatif 2) ait enerji/ekserji kayıpları

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda binalara ait enerjetik değerlendirmelerin tek başına yetersiz kaldığı ve ekserjetik açıdan irdelenmenin gerçekleştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Bu irdeme yapılırken ise sadece enerji talebi kısmı ile sınırlandırılmayan topyekûn bir değerlendirmenin ele alınması önerilmiştir. Bu değerlendirme enerjinin ilk kaynağından başlayarak bina kabuğunu terk edene kadar bütün süreçleri içine almalıdır ve bileşen/teknoloji temelli olabileceği gibi bileşenleri içine alan farklı kademeleri içerecek şekilde de olabilmektedir. Bu çalışma özelinde ise birincil enerji transformasyonu, ısı üretimi, ısı depolama, ısı dağıtımı, ısı emisyonu (ısıtma ünitesi), oda havası ve bina kabuğu kademeleri geleneksel ve pasif ev için irdelenmiş olup aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.



- 3 oda ve 1 salondan oluşan 117 m<sup>2</sup> (13 m X 9 m) taban alanına sahip, 2,5 m kat yüksekliği ile 292,5 m<sup>3</sup> hacme sahip müstakil tek katlı bir konut için ısı ihtiyacı geleneksel ve pasif ev için sırasıyla 3263,66 W ve 58,33 W olarak hesaplanmıştır. En büyük fark ise bina kabuğu kaynaklı iletim ile ısı transferinde meydana gelmiştir.
- Hesaplanan ısı ihtiyacını karşılamak için birincil enerji dönüşümü ekserji yükleri ise sırasıyla geleneksel ve pasif ev için 5498,05 W ve 1761,08 W olarak belirlenmiştir.
- Bu ekserji yükünün birincil enerji dönüşümünden bina kabuğunu terk edene kadar taşınması sırasında maksimum enerji ve ekserji kaybı geleneksel ev için birincil enerji transformasyonu (1602,85 W) ile ısı üretimi (2368,13 W) kademelerinde meydana gelirken, pasif ev için birincil enerji transformasyonu (824,05 W ve 1176,73 W) kademesinde oluşmaktadır.
- Tüm sisteme ait ekserji yıkım değeri geleneksel ve pasif ev için sırasıyla 5286,52 W ve 1757,29 W olarak belirlenmiştir. Ekserji verimleri aynı sırayla % 3,85 ve % 0,22 olarak elde edilmiştir.

Yazarlar, enerjiyle ilgili işlerde uğraşan mühendislerden, tasarımcılardan, akademisyenlerden ve politika yapıcılardan, salt enerjiye dayalı analizleri/değerlendirmeleri göz önüne almamaları, bunun yanı sıra ekserjiye dayalı analizleri/değerlendirmeleri de ele almaları beklemektedirler.

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	alan (m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	özgül ısı (kJ/kg.K)
$\dot{E}$	Birim zamandaki enerji (W)
$\dot{E}''$	Enerji akısı (W/m <sup>2</sup> , W/m <sup>3</sup> )
$\dot{E}_x$	Birim zamandaki ekserji (W)
$\dot{E}_x''$	Ekserji akısı (W/m <sup>2</sup> , W/m <sup>3</sup> )
F	faktör (-)
g	toplam geçirgenlik (-)
h	özgül entalpi (kJ/kg)
I	radyasyon yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
k	ısı iletim katsayısı (kW/m <sup>2</sup> K)
n <sub>d</sub>	hava değişim oranı (ach/h)
n <sub>v</sub>	ısı değiştirici verimi (-)
n <sub>o</sub>	sayı (-)
P	güç (W)
p	özgül güç, basınç (W/m <sup>2</sup> , Wh/m <sup>3</sup> ; N/m <sup>2</sup> )
$\dot{Q}$	birim zamandaki ısı transferi (kW)
$\dot{Q}''$	ısı transferi akısı (kW/kişi, kW/m <sup>2</sup> )
s	özgül entropi (kJ/kgK)
SI	sürdürülebilirlik indeksi (-)
T	sıcaklık (K)
U	toplam ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$\dot{W}$	elektriksel güç (kW)
V	hacim (m <sup>3</sup> )

### Yunan harfleri

$\eta$	enerji verimi (-)
$\psi$	ekserji verimi (-)
$\rho$	yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\Delta$	fark

### Alt indisler

a	hava
air	iç ortam havası



aux	yardımcı enerji gereksinimi
const	sabit
dest	yıkım
DHW	sıcak su ihtiyacı
dis	dağıtım sistemi
e	ekipman
el	elektrik
env	çevre
f	pencere çerçeve oranı, parametre
flex	esneklik
G, Gen	üretim
HP	ısı üretim sistemi
HS	ısıtma sistemi
h	ısıtma
i	iç ortam, iç yük
in	giriş
j	sayılır değişken
l	aydınlatma
loss	ısı kayıp
max	maksimum
N	net
no	dik olmayan radyasyon etkisi
o	dış ortam, yolcu
P	birincil enerji
pa	birim alan
plant	tesis
pv	birim hacim
q	kalite
R	kısmi çevresel enerji
ref	referans
ret	dönüş
S	solar
s	kaynak
sh	gölge etkisi
sys	sistem
T	iletimsel
tot	toplam
V	havalandırma
w	pencere
W	su
0	referans koşulu

#### *Alt indisler*

CH	kimyasal
KN	kinetik
PH	fiziksel
PT	potansiyel

#### **KAYNAKLAR**

- [1] HEPBAŞLI, A., UTLU, Z., BALTA, M.T., KALINCI, Y., ÇALIŞKAN, H., YÜCER, C., "Isı Kaybı/Kazancı Hesabında Ekserji Bazlı Yeni Yaklaşımlar: Yarının Binalarının Ekserjetik ve Eksergoekonomik Bakımdan Optimum Tasarımı Kurs Notları", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan 2013.
- [2] SARTOR, K., DEWALLEF P., "Exergy Analysis Applied to Performance of Buildings in Europe", Energy and Buildings, Sayı: 148, Sayfa: 348–354, 2017.

- [3] ACIKKALP, E, HEPBASLI A, YUCER, CT, KARAKOC TH, “Advanced Life Cycle Integrated Exergoeconomic Analysis of Building Heating Systems: An Application and Proposing New Indices”, Journal of Cleaner Production, Sayı: 195, Sayfa: 851-860, 2018.
- [4] MOLINARI, M., “Exergy Analysis in Buildings a Complementary Approach to Energy Analysis”, Licenciate thesis KTH-Stockholm, Sweden, 2009.
- [5] BALDI, M.G., LEONCINI, L., “Thermal Exergy Analysis of a Building”, Energy Procedia, Sayı: 62, Sayfa: 723-732, 2014.
- [6] HEPBASLI, A., “Low Exergy (LowEx) Heating and Cooling Systems for Sustainable Buildings and Societies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sayı: 16, Sayfa: 73-104, 2012.
- [7] ROSEN, M.A., DINCER, I., “Exergy–cost–energy–mass analysis of thermalsystems and processes”. Energy Conversion and Management, Sayı: 44, Sayfa: 1633-1651, 2003.
- [8] YILMAZ, C., “Thermoeconomic Cost Analysis and Comparison of Methodologies for Dora II Binary Geothermal Power Plant”, Geothermics, Sayı: 75, Sayfa: 48-57, 2018.
- [9] GHAEBİ, H., NAMIN, A.S., ROSTAMZADEH, H., “Exergoeconomic Optimization of a Novel Cascade Kalina/Kalina Cycle using Geothermal Heat Source and LNG Cold Energy Recovery”, Journal of Cleaner Production, Sayı: 189, Sayfa: 279-296, 2018.
- [10] AÇIKKALP, E., ARAS, H., HEPBASLI, A., “Advanced Exergoenvironmental Assessment of a Natural Gas-Fired Electricity Generating Facility”, Energy Conversion and Management, Sayı: 81, Sayfa: 112-119, 2014.
- [11] GHOLAMIAN, E., HANAFIZADEH, P., AHMADI, P., ”Advanced Exergy Analysis of a Carbon Dioxide Ammonia Cascade Refrigeration System”, Applied Thermal Engineering, Sayı: 137, Sayfa: 689–99, 2018.
- [12] BILIR, L., YILDIRIM, N. “Modeling and Performance Analysis of a Hybrid System for a Residential Application”. Energy, Sayı: 163, Sayfa: 555-569, 2018.
- [13] YILMAZ, T., BULUT, H., “Türkiye İçin Yeni Dış Ortam Sıcaklık Tasarım Değerleri”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, Sayfa: 293-311, 2001.
- [14] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Türk Standardı, [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/cf3e258fbdf3eb7\\_ek.pdf?tipi=68](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf?tipi=68), 1998.
- [15] SEPEV (Sıfır Enerji ve Pasif Ev) Derneği web sayfası, <http://sepev.org/pasif-ev-nedir/>, 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumludur. 36 yıllık iş yaşamının, 10 yılı İzmir'de değişik sanayi kuruluşları ve geri kalanı ise, 1996 yılından beri, yurt içi ve dışında değişik üniversitelerde çalışarak geçmiş olup, halen Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesidir. 650 (300'den fazlası SCI kapsamında)den fazla bilimsel eseri vardır (14 Ocak 2019'e göre, akademik ayak izi; 14810 atıfla Google Akademik 'de 67 ve 7782 kendisiz atıfıyla WOS'de 49'dir). Enerji/ekserji verimliliği ve yönetimi (standartı), sürdürülebilir/temiz enerji teknolojileri ve HVAC sistemleri üzerinde çalışmaktadır. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşlı, enerjiyle ilgili olarak, prestijli 7 uluslararası derginin Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve 1 uluslararası derginin Yardımcı Editörleri olup, ayrıca, çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Enerji Çalışma Grubu üyesidir. Sertifikalı Enerji Yöneticisi olan Dr. Hepbaşlı; İngilizce ve Almanca bilmekte olup, bir kız babasıdır.

### Hüseyin Günhan ÖZCAN

1985 yılı Bodrum doğumludur. 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek Lisans çalışmasını ise Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2013 yılında tamamlamıştır ve aynı yıl doktora öğrenimine başlamıştır. SAFKAR A.Ş.'de Araştırma ve Geliştirme Mühendisi olarak 2,5 yıl çalışmasının ardından Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak 2014 yılında çalışmaya başlamış ve halen bu görevini sürdürmektedir. Araştırma alanları temiz enerji teknolojileri, HVAC sistemleri, soğutucu akışkanlar ve çeşitli enerji sistemlerinin farklı türden ekserji analizleridir.

**Hüseyin GÜNERHAN**

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim dalında profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerjisi depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

**Nurdan YILDIRIM ÖZCAN**

1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis, 2010 yılında da Doktor unvanını aldı. 2000-2010 yılları arasında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Şubat 2010-Mart 2013 tarihleri arasında İzmir'de özel bir firmada enerji bölümünde Proje Müdürü olarak çalıştı. Halen Yaşar Üniversitesi'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2002 yılında İzlanda Hükümeti ve Birleşmiş Milletler bursu ile İzlanda'daki 6 aylık Birleşmiş Milletler Üniversitesi Jeotermal Eğitim Programına katıldı. Daha sonra 2004-2005 yılları arasında da NATO bursu ile Belçika'daki dünyaca ünlü Von Karman Institute'teki 9 aylık akışkan dinamiği konusundaki Diploma Kursu'na katıldı. Başta Enerji Yöneticisi sertifikası olmak üzere Doğalgaz İç Tesisat, Mekanik Tesisat, Soğutma Tesisatı, Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Uzman Mühendis Yetki Belgelerine sahiptir. Başta jeotermal enerji olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları ve uygulamaları ile enerji verimliliği alanlarında çalışmalarını yürütmekte olup, 2 çocuk annesidir.