

# Büyük Yerleşkelerin Isıtma Sistemlerinde Hidrolik Balans ve Enerji Verimliliği; Örnek Uygulama

M. Ziya SÖĞÜT  
Hamit MUTLU  
T. Hikmet KARAKOÇ

## ÖZET

Bu çalışmada bir üniversite kampüsünün belli bir bölümünü besleyen mekanik sistemin enerji etkin çözümü ele alınmış, bu tür yapılar için mevcut buharlı sistem yerine önerilen 90/70 °C sistem seçimi ile birlikte geliştirilen hidrolik dengeli mekanik sistemin performansı incelenmiştir. Öncelikle geliştirilen hidrolik dengeli mekanik sistemin enerji verimli sistem yaklaşımıyla sağlanan enerji tasarrufu ve maliyet etkinliği değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmada sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılmış, analizlerde karşılaştırmalı sağlanan tasarruf potansiyeli, CO<sub>2</sub> emisyon eşdeğeri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çalışmada yerleşkelerde hidrolik dengeli sıcak su sisteminin tercihi, enerji ve ekserji performanslarında iyileştirme oranı sırasıyla %51,47 ve % 48,55 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte sistemde CO<sub>2</sub> emisyon potansiyelinde yaklaşık %61,57'lik tasarruf sağlanmıştır. Çalışmanın sonunda mekanik sistemlerde hidrolik denge ve uygulamaları ile performans değerlendirmelerinde ekserji analizlerinin önemine ilişkin bazı önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Büyük Yerleşkeler, Mekanik Tesisatlar, Hidrolik Denge, Enerji Analizleri, Verimlilik.

## 1. GİRİŞ

Türkiye enerji arzının yaklaşık %74'ü ile dışa bağımlı olan ve tüketimde büyük miktarda fosil kaynakları kullanan bir ülkedir. Binalarda kullanılan enerjinin, toplam enerji tüketimindeki payının %40'lara ulaştığı ve bunun önemli bir kısmının da ısıtmada kullanıldığı göz önüne alınırsa, ısıtma sistemlerinde verimliliğin artırılması, ısıtmadan kaynaklı oluşan hava kirliliğinin önlenmesi, büyük önem taşımaktadır. Günümüzde enerji verimliliğini temel alan bina teknolojilerinde, sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla binalarda düşük karbon teknolojilerinin kullanılması, düşük sıcaklıkta ısıtma, yüksek sıcaklıkta soğutma sistemlerinin geliştirilmesi, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı gibi pek çok çalışma öne çıkmıştır. Bu durum özellikle ısıtma sistemlerinin tercihinde verimlilik ve çevre parametrelerinin birlikte değerlendirilmesini sağlamıştır.

## Abstract:

In this study, energy efficient solution of the mechanical system that feeds a certain portion of the university campus were discussed, For this structures, mechanical system performance by hydraulic balance developed with together system choice 90/70 °C which is preferred instead of steam system are investigated. First, energy saving and cost-effectiveness provided with energy efficient system approach of mechanical system balanced hydraulic are evaluated. Besides, In this study, energy and exergy analysis have been made, the saving potential in providing a comparative analysis are calculated considering CO<sub>2</sub> emission equivalent. In this study, preferences of heating water (90/70 °C) developed with hydraulic balance, improvement potentials in energetic and exergetic performances are found as 51,47% and 48,55%. Besides, saving potential of CO<sub>2</sub> emission are provided approximately as 61,57%. In the end of the study, hydraulic balance in mechanical systems and applications, and some recommendations about importance of exergy analysis are made.

## Key Words:

Large Settlements, Mechanical Installations, Hydraulic Balance, Energy Analysis, Efficiency.

## Makale

Enerji 21. yüzyıla kadar nicelik olarak değerlendirilmiş ve verim hesaplarının yanı sıra verimlilik stratejilerinin belirlenmesinde de hep bu yaklaşım temel alınmıştır. Yapılan yeni çalışmalar; enerjinin akılcı yönetimi ile niceliğinin yerine niteliğinin yani kalitesinin göz önüne alınması, enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde geçerli bir parametre olduğunu göstermiştir. Sürdürülebilir çevre ve karbon salımlarının sabit tutulmasını hedefleyen çalışmalarda ise enerjinin niteliğinin göz önünde tutulması daha gerçekçi bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir.

Enerjinin niteliğini ifade eden ekserji kavramı referans çevre koşullarında, proste elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanır ve ekserji, kütleyle bağlı enerji akışında niteliğin bir ölçüsüdür [1, 2]. Ekserji analizi endüstriyel prosesler için etkili bir konsepttir ve modern termodinamik yöntemlerde gelişmiş bir araç olarak kullanılır. Ekserji analizleri, farklı termodinamik faktörlerin önemini karşılaştırılması, proses etkileri üzerinde termodinamik şartların etkilerinin iyi anlaşılması ve değerlendirilen prosesin geliştirilmesinde en etkili yollarının tanımlanması için yol gösterir [3]. Ekserjiyi doğru anlamak ve verimle sağlanabilecek bilgiler çevresel etki ve sürdürülebilir enerji sistemleri alanında çalışan bilim adamı ve mühendisler için gereklidir. Bu nedenle enerji stratejilerinin oluşumunda sürdürülebilir gelişme ve enerji, çevre ve ekserji, ekserji ve enerji arasındaki bağlantılar oluşturulmuştur [4, 5].

Özellikle 50'li ve 60'lı yıllardan günümüze bir yerleşke içinde yer alan kamu binaları ve tesislerin enerji çözümlerine ilişkin uygulamalarda bölgesel ısıtmanın yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Kampüs, kışla, çok katlı yüksek yapılar, pafta içinde çok sayıda bina bulunan yapı kompleksleri ve geniş hacimli ticari binalar gibi yerleşkeler, yoğun enerji tüketen yerleşim alanlarıdır. Bu tür yerleşim alanları sahip oldukları potansiyele bağlı olarak yüksek enerji tüketimleri ve maliyetleri ile yüksek CO<sub>2</sub> emisyon salımları nedeniyle enerji verimliliği ve tasarrufu yönüyle çalışılması gereken alanlardır.

Bu tür yerleşim alanlarında ısıtma iklimlendirme ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılanması çoğunlukla

buhar veya kaynar sulu ısıtma sistemleriyle yüksek enerji tüketimine bağlı olarak karşılanır. Yaygın mekanik sistem özelliğine sahip bu tür büyük yapılarda doğru sistem seçimi yanında denge problemleri; çoğunlukla reglaj, debi kontrolü veya şönt pompa uygulamaları gibi standart uygulamalarla yapılır. Sistemlerde enerji tüketim kontrollerinde ise çoğunlukla lokal uygulamalar tercih edilir. Oysa sürdürülebilir enerji verimliliği ancak bütüncül yaklaşımlarla yapılırsa doğru ve etkin sonuçlar sağlar. Bu yönüyle öncelikle sistem seçimi, işletme şekli ve parametreleri değerlendirilmeli ve sistemde seçilen her bir enerji tüketim ve kontrol elemanının etkinliği sorgulanmalıdır. Daha sonra ihtiyaç duyulan yüke bağlı olarak enerjinin etkin kullanımı için tüm sistemde hidrolik denge sağlanmalıdır. Bu amaçla, çalışmada bir üniversite kampüsünün belli bir bölümünü besleyen mekanik sistem incelenmiş ve yenilenmiştir. Çalışmada enerji etkin çözümü ele alınmış, bu tür yapılar için mevcut buharlı sistem yerine 90/70 °C sistem seçimi ile birlikte geliştirilen hidrolik dengeli mekanik sistemin performansı incelenmiştir. Öncelikle geliştirilen ve imalatı gerçekleştirilen hidrolik dengeli mekanik sistemin enerji verimli sistem yaklaşımıyla sağlanan enerji tasarrufu ve maliyet etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada sistemin enerji ve ekserji performansı karşılaştırılarak sağlanan tasarruf potansiyelleri CO<sub>2</sub> emisyon eşdeğerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

## 2. YERLEŞKELERDE ISITMA SİSTEMLERİ VE HİDROLİK DENGE

Yerleşkelerde ısıtma kaynaklı enerji ihtiyacı ısıtma, kullanım sıcak suyu ve proses ihtiyaçları olarak ele alınır. Bir yerleşke içinde, farklı kapasitelerde ve farklı kullanım amaçlarına sahip binalar için genellikle bir veya birkaç makine dairesine sahip merkezi sistemler tercih edilir. Bu sistemler genellikle buharlı ısıtma ve kızgın sulu ısıtma olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır. Ancak nadir olarak küçük kapasiteli yerleşkeler için sıcak sulu sistemler de kullanılır. Klasik 90/70 °C'lik sıcak su uygulamaları çoğunlukla toplu konutlarda, 500 m yarıçaplı tesislerde tercih edilir. Günümüzde kampüs özellikli yaygın yerleşim özelliğine sahip yerleşkelerde, 10 km yarıçaplı bina uygulamalarında buhar tehdine karşın kızgın sulu

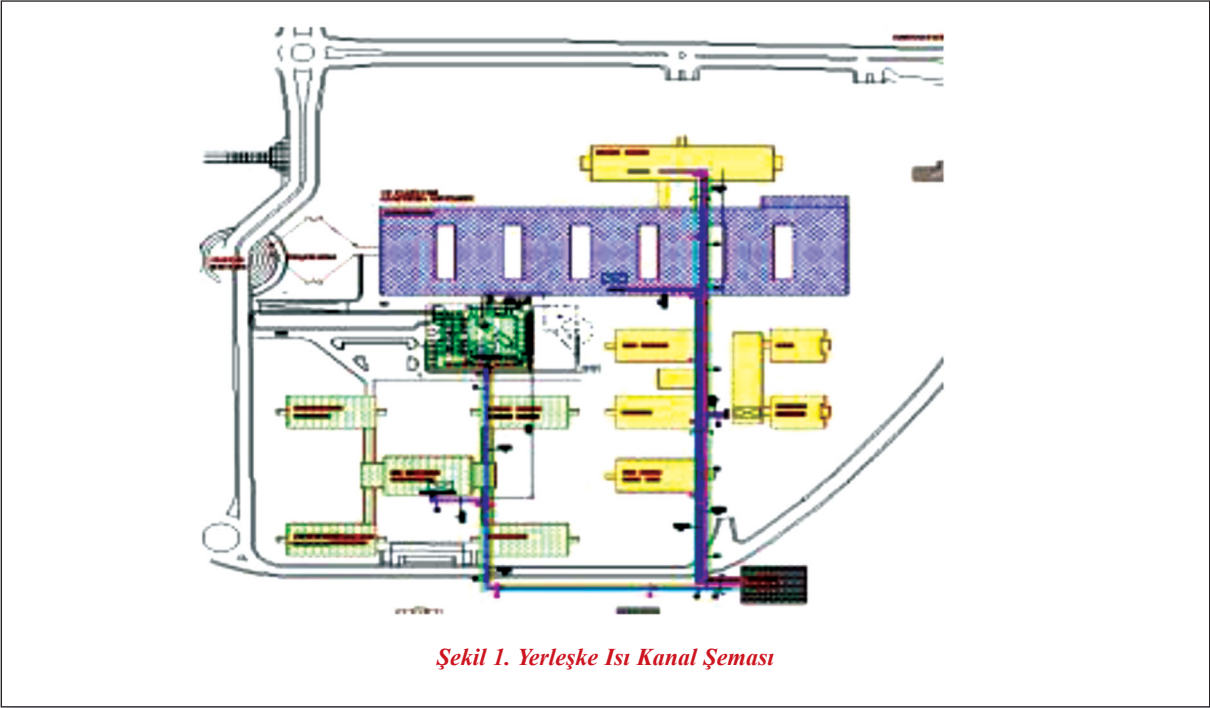
sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır ve bu tesislerde bakım onarım buharlı sistemlere göre daha kolay yapılır. Bu sistemlerde ısıtılacak yerleşkenin özelliğine göre gidiş sıcaklığı 120-200 °C ve dönüş sıcaklığı 70-110 °C seçilir. Ancak bu sistemlerin yatırım maliyetleri diğer sistemlere göre oldukça yüksektir. Buhar sistemleri alçak ve yüksek basınçlı olmak üzere iki farklı uygulama alanına sahiptir. Alçak basınç buharlı uygulamalar merkezi konut ısıtımalarının ilk uygulamalarıdır. Artık günümüzde ısıtma amaçlı doğrudan tercih edilmeyen sistemlerdir. Farklı ısıtma ihtiyacı duyulan özellikle endüstriyel uygulamalarda veya benzer yapıları ticari binalarda yüksek basınç buharlı ısıtma uygulamaları yaygın tercih edilir. Özellikle prosesler için ısıtma, pişirme, işleme gibi farklı ihtiyaçları veya yüksek kapasiteli ısıtma ihtiyaçlarını kolaylıkla karşılayabilir. Ancak yüksek kondens kayıpları, yüksek korozyon, ısıtma ihtiyaçlarında düşük tercihler, eğim problemlerine bağlı akış problemleri gibi sorunlar sistemin olumsuz yanındır[6].

Günümüzde bina teknolojisindeki gelişmeler, düşük karbon teknolojilerinin gelişmesi, enerji maliyetlerinin işletmeler üzerindeki etkileri ve enerji etkin düşük sıcaklıklı ısıtma sistem tercihleri pek çok uygulamada sıcak sulu ısıtma uygulamalarını öne çıkartmıştır. Ancak yaygın bina uygulamalarına ve farklı ısı yüklerine sahip sistemlerde klasik uygulama bina yüklerini enerji kayıplarına bağlı olarak kazan pompa ve ısıtıcı elemanlar ve tesisat hatları oluşturulur. Yaygın sıcak su uygulamalarında yedekli sıcak su kazan sistemleri, düz ve yoğunlaşmalı kaskad sistemler öne çıkmaktadır. Sistem akışlarında kazan çıkışlarında güçlü pompa istasyonu ile ihtiyaçlar karşılanır. Modern uygulamalarda ise üç yollu veya dört yollu vanalar ile primer ve sekonder devre kontrolleri yapılır. Ancak yaygın ve büyük kapasiteli uygulamalarda sistemin emniyet payları 1,25'lere kadar taşınır ve sistemlerde ısı denge kontrolü kolay değildir. Eski tesisatlar da bu denge reglaj vanalarıyla veya sıkıntılı noktalarda şönt pompa uygulamalarıyla sağlanır. Günümüzde yüksek debili noktalarda balans vanaları kullanılarak sistemde denge aranır [7].

Çok amaçlı ve farklı ısı ihtiyacına sahip sistemlerde en önemli problem hidrolik balans ve buna bağlı kontrolsüz enerji tüketimidir. Özellikle emniyet payı yüksek sistemlerde farklı zonlarda ihtiyaç fazlası enerji tüketilirken bazı bölümlerde sistem beslemesi yetersiz kalmaktadır. Bu durum; 1°) pompa besleme problemleri, 11°) sistem basınç dengesizlikleri, 111°) uygun boru çaplarının seçilmemesi, 1v°) ısıtıcı ünitelerden eksik su geçişi veya ünitelerin yetersizliği, v°) ısıtıcı ünitelerde ve hatlarda akışkan sıcaklığının kontrol edilememesi olarak sayılabilir. Hidrolik balans probleminin çözümüne ilişkin; 1°) Sisteme giden su sıcaklığını arttırmak, 11°) Pompa debisini arttırmak, 111°) Devir kontrollü pompa kullanmak, 1v°) Boru hatlarında ve ısıtıcı akışlarında balans vanası kullanmak gibi pek çok eleman veya tesisat sistemi geliştirilmiştir [8]. Ancak tüm bunlar mevcut yapılar için kısmi çözümler getirir. İster eski tesisatlar olsun ister bugünkü uygulamalar olsun sistem optimizasyonları düşünülmeden yapılacak iyileştirmeler kısmi sorunları çöze de etkin bir verimliliği sağlamadığı görülmüştür. Aşağıda tüm bu etkiler dikkate alınarak geliştirilen sistem, tam otomasyon sağlanarak zon ihtiyaçlarını karşıladığı gibi, dış hava kompanizasyonu ile etkin bir enerji verimliliği yaratmıştır.

## 2.1 Yerleşkelerde Sıcak Sulu Sistem Dönüşümü Örnek Çalışma

Yerleşkelerde ısıtma ve sıcak su ihtiyaçları çoğunlukla buhar veya kaynar sulu ısıtma sistemleri temel alınarak hazırlanmıştır. Türkiye'de pek çok yerleşke maalesef 20-60 yıllık geçmişi olan, çoğu tesisat ömrünü tamamlamış mekanik sistemler, manuel veya kötü otomasyon uygulamalarına ve kötü bina teknolojilerine sahip olmaları nedeniyle yoğun ve kontrolsüz enerji tüketen yapılardır. Bu çalışmada 21 yıllık geçmişi olan bir buharlı ısıtma sistemine sahip yerleşkede 4 fakülte ve hastane binasının enerji ihtiyacını karşılayan bir ısı merkezi ile eşanjör dairelerinin tüm sistemi modifiye edilerek 90/70 sıcak su sistemine geçilmiş ve buna ilişkin hidrolik denge özellikli yeni bir mekanik tesisat oluşturulmuştur. Çalışma yapılan yerleşkenin ısı kanal vaziyet planı Şekil 1'de verilmiştir.

**Makale****Şekil 1. Yerleşke Isı Kanal Şeması**

Mevcut yerleşke hattı 4 adet 10.000 kg/h kapasiteli 4 adet buhar kazanı ile beslenmekte ve sistem 5 adet eşanjör dairesini beslemektedir. Eşanjör dairelerinde eşanjörler vasıtası ile mevcut sıcak su devresi ile birlikte binalardaki klima santrali ve radyatör devreleri beslenmektedir. Ayrıca, eşanjör dairelerinde 0,5 bar buhar ile çalışan yatık tip boyler ile kullanma sıcak suyu temin edilmektedir. Buhar devresinde buhar

sıcaklığı 150-160 °C aralığında çalıştırılmaktadır. Çalışma iki bölümde ele alınmıştır. Öncelikle ısıtma kaynağı değerlendirilerek prosesin doğrudan buhar ihtiyacı sorgulanmıştır. Sistemde sterilizasyon bölümü, çamaşırhane ve yemekhane olmak üzere toplam buhar ihtiyacı 1,762 kg/h olarak tespit edilmiştir. Sistemde buhar ihtiyacı duyulan üniteler ve kapasiteleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Ünitelerin Buhar İhtiyacı**

Bölümü	Ünitenin adı	Miktarı (Adet)	Buhar Tüketimi (kg/h)	Toplam Buhar Tüketimi (kg/h)	Basıncı (Bar)
Yemekhane	Tencere (400 lt)	5	80	400	0,8
Sterilizasyon	250 lt	3	70	210	4
	587 lt	2	140	280	4
Çamaşırhane	Yıkama (100 kg)	1	70	70	4
	Yıkama (80 kg)	1	56	56	4
	Yıkama (50 kg)	2	35	70	4
	Yıkama (40 kg)	1	28	28	4
	Yıkama (40 kg)	1	14	14	4
	Kurutma (100 kg)	3	110	330	4
	Kurutma (40 kg)	1	44	44	4
	Silindir ütü (3 m)	1	100	100	4
	Silindir ütü (2 m)	1	50	50	4
	Silindir ütü (2 m)	1	50	50	4
	Paskal ütü	1	16	16	4
<b>TOPLAM</b>		<b>24</b>		<b>1718</b>	

Binaların her bir eşanjör dairesi ayrı ayrı incelenerek yük ve sistem değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu kapsamda 5 eşanjör dairesinde yalıtımsız standart serpantinli boyler ve eşanjörler ile enerjisinin neredeyse tamamını bina ısıtması ve sıcak su ihtiyacı için kullanmaktadır.

Yerleşke özellikli çok sayılı bina ihtiva eden veya yaygın özellikli çok katlı binalarda sistem seçimi ile birlikte öncelikli konu hidrolik dengedir. Hidrolik denge her bir zon için ihtiyaç duyulan enerjinin kontrollü ve tam olarak karşılanması, buna bağlı optimum enerji verimliliğinin korunması açısından önemlidir. Bu çalışmada sadece sistem değişimi değil aynı zamanda sistem modeliyle birlikte her bir zonu doğrudan kontrol eden tam otomasyonlu bir kontrol de planlanmıştır. Bu yönüyle modellenen kollektör plan şeması Şekil 2’de verilmiştir.

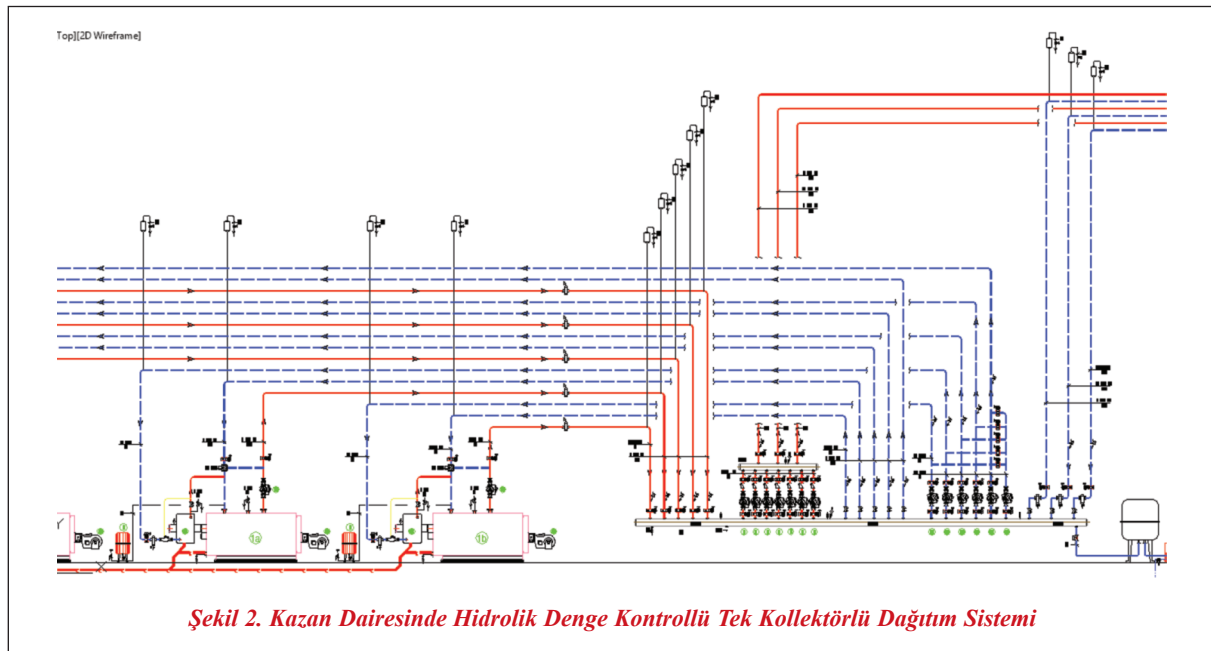
Yapılan yeni çalışmada her eşanjör dairesinde primer devresi 95/75 °C olan diğer devresi ise pik yüklerde 90/70 °C olarak çalışacak sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Eşanjör dairesine binadan gelen her hat ayrı bir bölüm olarak tasarlanmıştır. Her bölüm için sirkülasyon pompası düşünülerek 3 yollu vana ile dış hava kompanzasyonu yapılması tasarlanmıştır. Bu vasıta ile binaların bölümlerinin sıcaklıkları kontrol

altına alınarak enerji ekonomisi yapılması tasarlanmaktadır. Kazan dairesindeki kazanlar kaskad çalışan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Kapasite kontrolü yapılarak kazanların sırası ile devreye girip çıkmaları sağlanmaktadır.

Her kazan için baca gazı ekonomizörü monte edilerek bacadan dışarıya atılan sıcak gazlardan enerji ekonomisi yapılması tasarlanmıştır. Kazanlarda gaz yakıcı brülörler Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne uygun olarak frekans konvertörlü oransal kontrollü O2 trimli olarak seçilmiştir. Brülör motoru enerji verimliliği minimum IE2 enerji verimliliğinde seçilmiştir. Eşanjör devrelerindeki kapasiteler ve pompalar mevcut sistemdeki değerler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Yeni tesis edilen pompalar debi ve basınç kaybı hesapları yapılarak rapora eklenmiştir. Bu tür yerleşkeler için geliştirilen hidrolik denge uygulaması, Şekil 3’de görülebileceği gibi, başta eşanjör daireleri olmak üzere tüm mekanik dağıtım yerlerinde dikkate alınmış ve planlanmıştır.

### 3. YERLEŞKELERDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ

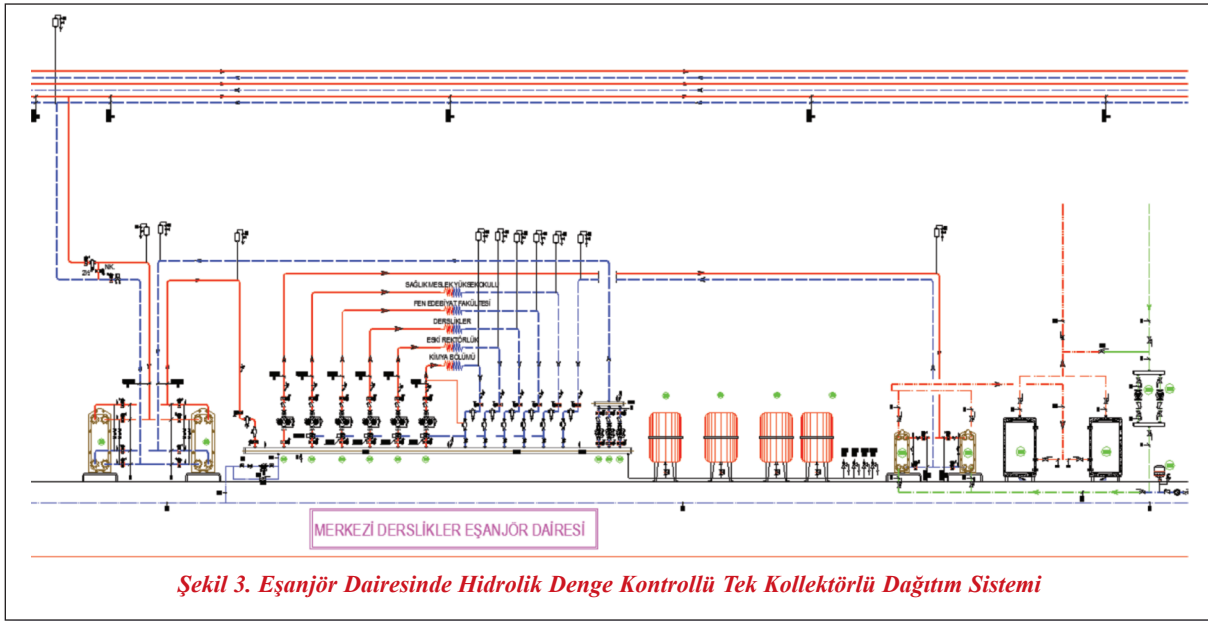
Yerleşkeler birçok bina modelinden oluşan yerleşim alanlarıdır. Ancak ağırlıklı analiz ve değerlendirme parametreleri binalarda ısı kayıpları ve kazançlar



Şekil 2. Kazan Dairesinde Hidrolik Denge Kontrollü Tek Kollektörlü Dağıtım Sistemi



## Makale



Şekil 3. Eşanjör Dairesinde Hidrolik Denge Kontrollü Tek Kollektörlü Dağıtım Sistemi

olarak değerlendirilmelidir. Günümüzde binalarda enerji yükleri tasarım süreçlerinde sürdürülebilir ve sürekli koşullar için değerlendirilir. Türkiye’de bina enerji ihtiyaçları ve özellikle ısıtma ihtiyacı TS825 bağlı olarak Bina Enerji Performans Yönetmeliği ile şekillendirilmiştir. Bu yapı öncelikle bina yıllık enerji ihtiyaçları toplam aylık ihtiyaçlara göre ( $\dot{Q}_{yu} = \sum \dot{Q}_{ay}$ ) tespit edilir. Bir binada aylık ısıtma enerji ihtiyacı;

$$\dot{Q} = [\dot{Q}_h(\theta_i - \theta_d) - \varphi_{ay}(\phi_i - \phi_{s,ay})]t_{ay} \quad (1)$$

dır [9]. Burada  $\dot{Q}_h$  binanın toplam ısı yükü,  $(\theta_i - \theta_d)$  iç ve dış sıcaklık farkı,  $\varphi_{ay}$  aylık kullanım faktörü,  $\phi_i$  aylık ortalama iç kazançlar,  $\phi_{s,ay}$  aylık ortalama güneş enerji kazançları,  $t_{s,ay}$  aylık saniye olarak zamandır. Bir sistemde toplam ısı yükü sistemde ortaya çıkan kayıplarla kazançların toplamı olarak değerlendirilir. Termodinamik olarak birinci yasaya dayanan bir bina için toplam enerji yükü;

$$\dot{Q}_h = \sum \dot{Q}_{kayıplar} - \sum \dot{Q}_{kazançlar} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_h = [(\dot{Q}_T - \dot{Q}_v) - (\dot{Q}_s - \dot{Q}_o - \dot{Q}_e - \dot{Q}_i)] \quad (3)$$

dir. Burada  $\dot{Q}_T$  taşınimsal ısı kayıpları,  $\dot{Q}_v$  infiltrasyon ısı kaybı,  $\dot{Q}_s$  güneşle ısı kazancı,  $\dot{Q}_o$  insanlardan elde edilen kazançlar,  $\dot{Q}_e$  ekipmanlardan elde edilen

kazançlar,  $\dot{Q}_i$  aydınlatmadan elde edilen kazançlar olarak tanımlanır [10]. Termal yüklerde ısı ihtiyaçları, fosil yakıt kaynaklı primer yakıtlarla karşılanır. Bir sistemde toplam enerji yükü için ihtiyaç duyulan yakıt miktarı ( $M_y$ );

$$M_y = \frac{\dot{Q}_{yu}}{H_u \eta_{cihaz}} \quad (4)$$

dır. Burada  $H_u$  yakıtın alt ısıl değeri,  $\eta_{cihaz}$  cihazın ısıl verimidir [11]. Sistemin toplam enerji verimi sistemlerde talep edilen yıllık enerjiye bağlı olarak tüketilen yıllık yakıt miktarı ile tanımlanır. Bu da;

$$\eta_t = \frac{\text{Talep Edilen Isı}}{\text{Giren Enerji}} \Rightarrow \eta_t = \frac{\dot{Q}_{yu}}{M_y} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır [12]. Sürdürülebilir düşük enerjili binalar için geliştirilen ECBCS Annex 37 ve Annex 49 dokümanları ile ekserjetik yaklaşımlar geliştirilmiştir [13, 14]. Genel tanımlamadan farklı olarak bir binanın ihtiyaç duyduğu minimum enerji olarak şekillendirilen ekserji analizleri temelde birinci yasa analizlerine dayanır. Bir binanın enerji talebine benzer olarak ekserji talebi binaların ekserji analizi için önemli bir parametredir. Ekserji kavramı tüm sistemler için; 1°) farklı kimyasal kompozisyon, yanma ve reaksiyonel etkileşim prosesleri için kimyasal ekserji, 11°) sistemlerde sıcaklık farkına bağlı olarak tanımlanan ısıl ekserji, 111°) basınç farkına

bağlı olarak tanımlanan mekanik ekserji olmak üzere üç farklı yapıda ele alınır [13]. Bina yapılarının ısıtma ve soğutma işlevleri bu yönüyle ısı ekserji kavramı içinde ele alınır. Binanın ısı yükleri tıpkı bir ısı makinası gibi binanın sıcak ve soğuk kaynak arasında ısıl harekete bağlı enerji üretimi olarak tanımlanabilir. Bu iki kaynak arasında ekserjetik sıcaklık faktörü olarak tanımlanan ekserji faktörü carnot verimine bağlı geliştirilen ekserji talebi olarak toplam ısı yükünün bir formudur. Bu faktör, talep edilen enerji yükü ile ekserji talebinin bir oranı olarak ta tanımlanır [15]. Bu yönüyle elde edilen faktör talep edilen enerji yükü için sistemin talep ettiği ekserji yükünün bir oranını tanımlar. Bu durumda ekserji faktörü;

$$\gamma = \frac{\dot{E}_x}{\dot{Q}_h} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (6)$$

dir [12, 13]. Carnot verimliliği olarak da tanımlanan bu faktöre bağlı olarak bir binanın minimum ekserji talebi bulunduğu çevre için iç konfor sıcaklığında minimum enerji ihtiyacını tanımlar. Buna göre ekserji talebi;

$$d\dot{E}_x = d\dot{Q}_h \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (7)$$

dir [15]. Burada  $Q_h$  sistemin yapı bileşenlerine bağlı ısı yükü,  $T_0$  binanın çevre sıcaklığı  $T$  ısı kaynak sıcaklığıdır. Sistemde tüketilen yakıt miktarıyla talep edilen ekserji arasındaki değer sistemin ekserjetik performansını ifade eder. Bu değer bir bina için sınır değerlerin toplam enerji tüketimine oranı olarak da ifade edilebilir. Bina yükleri yönüyle ekserji verimliliğinin en doğru ölçütü rasyonel ekserjidir. Bir bina için rasyonel ekserji, talep edilen ekserjinin kullanılan yakıtla bağlı ekserjiye oranı olarak tanımlanmıştır [12, 16].

$$\psi = \frac{E_{x_{Q_h}}}{E_{x_{fuel}}} \quad (8)$$

dir. Bu bir kontrol hacmi olarak sistemde gerçek tersinmezliklerin ve entropiye bağlı kayıpların ifadesidir. Benzer analizler binalarda enerji analizleri ve kullanılan enerji kaynaklarıyla incelenir ve her bir sistemin enerji veriminin ekserji faktörüne oranı olarak tanımlanır. Bu durumda kullanılan ısıtıcı sistemin ekserji verimi;

$$\psi = \frac{\eta_t}{\gamma_{fuel}} \quad (9)$$

dir [17]. Burada  $\gamma_{fuel}$  yakıtla bağlı ekserji faktörüdür. Çalışmada ele alınan doğal gaz için 1,06 kömür için 1,08'dir.

### 3.1 CO<sub>2</sub> Emisyon Yaklaşımları

Sanayileşmenin etkisiyle yaygınlaşan fosil yakıt tüketiminin olumsuz etkileri özellikle CO<sub>2</sub> başta olmak üzere daha fazla sera gazı etkisine sahip gazların atmosfere salınmasına yol açmıştır. Bu gazlar içinde CO<sub>2</sub> (%77 paya sahip), metan (CH<sub>4</sub> %14 paya sahip ve diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O %8 paya sahip) temelde fosil yakıt kullanımının etkisiyle artış gösteren gazlardır. 18'nci yüzyıldan bu yana emisyon potansiyeli hızla artan CO<sub>2</sub> yoğunluğu, 2007 yılında 380 ppm'lere ve 2013 yılında 400 ppm'e ulaşmıştır. Küresel sıcaklık artışının en önemli nedenlerinden biri olan CO<sub>2</sub> emisyonunun sınırlandırılmasına ilişkin olarak uluslararası teşekküllerle pek çok senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar arasında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 4'ncü değerlendirme raporunda bu değer 450 ppm olarak sınırlandırılmış ve bunun da dünya sıcaklık artışını sanayileşme öncesi değere göre (280 ppm) 2 °C arttıracığı öngörülmüştür. Ancak son yıllardaki bilimsel çalışmalar bu değerlerin yaratacağı iklimsel devrilmelerin yaşanmaması gibi önemli ekolojik dönüşümler yönüyle güvenlik sınırının 350 ppm'e çekilmesi gerektiğini ortaya koymuştur [18].

CO<sub>2</sub> emisyonu kavram olarak iki yönlü ele alınır. Biri gerçekte fosil yakıt tüketiminde yanma sonucu açığa çıkan ürünlerden biri olan CO<sub>2</sub> miktarıdır ve bu çoğunlukla ölçülebilir bir değerdir. Diğer sistemlerde tüketilen enerjiye bağlı olarak açığa çıkan ve CO<sub>2</sub> olmayan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gazlar (küresel ısınma potansiyeli GWP N<sub>2</sub>O için 21, CH<sub>4</sub> için 310'dur) gibi sera gazlarının neden olduğu küresel ısınma potansiyelinin tanımlanması için kullanılan eşdeğer CO<sub>2</sub> miktarıdır. Bu iki parametre arasında atmosferde 1 ppm CO<sub>2</sub> için yaklaşık 7,78 eşdeğer GtCO<sub>2</sub> değeri tanımlanır [18]. Binanın Enerji Performansı

## Makale

Yönetmeliği'ne göre emisyon salınımlarına bağlı bina performansı;

$$E_{P,SEG} = 100 \cdot (SEG_a / SEG_r) \quad (10)$$

dir. Burada SEG (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>-yıl) Binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen CO<sub>2</sub> salım miktarını, a ve r sırasıyla ve gerçek ve referans binaları tanımlar. Binalarda enerji tüketimine bağlı emisyon hesapları kısaca yakıt tüketiminin emisyon faktörü ile çarpımına bağlı hesaplanır. Bu;

$$SEG = m_{FUEL} \cdot F_{SEG} \quad (11)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada F<sub>SEG</sub> yakıt türüne göre (kgEşd.CO<sub>2</sub>/kWh)CO<sub>2</sub> dönüşüm katsayılarıdır ve doğalgaz için 0,234, linyit kömürü için 0,433, fuel-oil için 0,33 ve diğer fosil yakıtlar (motorin) için 0,320 değeri alınır [19].

#### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Proje bilgileri yukarıda verilen örnek yerleşme için hidrolik dengeli sıcak sulu ısıtma sistemi dikkate alınarak mevcut buharlı sistemle detaylı analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde öncelikle her iki durum için yıllık ortalama yükler referans alınarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen hidrolik sistemin iyileştirme oranları emisyon yükleri maliyet tasarrufları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çalışmada; 1°) Sistemde bağlantı noktalarında oluşan

hat kayıpları, 11°) Sistemlerde boru hatlarında sürtünmeden kaynaklanan kayıplar, 111°) yerleşkede işletmeden kaynaklanan kayıplar, 1111°) sistemlerde oluşan kinetik ve potansiyel etkilerden kaynaklanan kayıplar ihmal edilmiştir. Çalışma yerleşkenin 2012 yılı tüketimleri ve bina toplam ısı yük analizleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bu yönüyle yerleşkenin 2012 yılı yakıt tüketimi ve mevcut prosesin enerji analizi aylık ortalama değerlere göre Tablo 2'de verilmiştir.

Yerleşkenin enerji yükü dikkate alınarak genel ekserji verimi %38,4 olarak bulunmuştur. Yerleşkenin genel enerji dağılımı ise %28,6 ile %52,7 aralığında bir dağılım göstermektedir. Yerleşkenin genel enerji talebi dikkate alındığında mevcut yük için 150 °C buhar sisteminin oldukça yüksek bir tüketimi olduğu görülmektedir. Mevcut sistem yerine düşünülen sistemin enerji analizi ve yakıt talebi incelenmiş ve mevcut yük talebine bağlı olarak sistemin performansı Tablo 3'de verilmiştir.

Yerleşkede hidrolik dengeli sistem performansı yerleşkenin enerji verimini %89,89 ve sistemin enerji verimindeki iyileştirme oranı %51,47'lik bir iyileştirme artış oranı göstermektedir. Bu sistem performansında genel olarak 2,34 katlık bir artışı ifade etmektedir. Sistemin hidrolik dengeli kontrolü sistemin yük dağılımı dikkate alındığında, genel ekserji performansı ve özellikle sistemde entropi üretimi ile

**Tablo 2. Yerleşkenin 2012 Tüketimlerine Göre Enerji Analizleri**

Aylar (2012)	Yakıt tüketimi (m <sup>3</sup> /ay)	Yakıt tük. (m <sup>3</sup> /h)	Qh (kWh)	Sistem verimi
Ocak	639362	1937,46	22768335,50	0,340
Şubat	614506	1862,14	22686113,48	0,353
Mart	551586	1671,47	22473987,65	0,389
Nisan	273566	828,99	11191793,70	0,391
Mayıs	122604	371,53	3669381,21	0,286
Haziran	89734	271,92	3706659,33	0,395
Temmuz	88073	266,89	3671025,47	0,398
Ağustos	89300	270,61	3667076,34	0,392
Eylül	91794	278,16	3658464,94	0,381
Ekim	265707	805,17	10904922,23	0,392
Kasım	400285	1212,98	22074929,99	0,527
Aralık	563957	1708,96	21565032,13	0,365



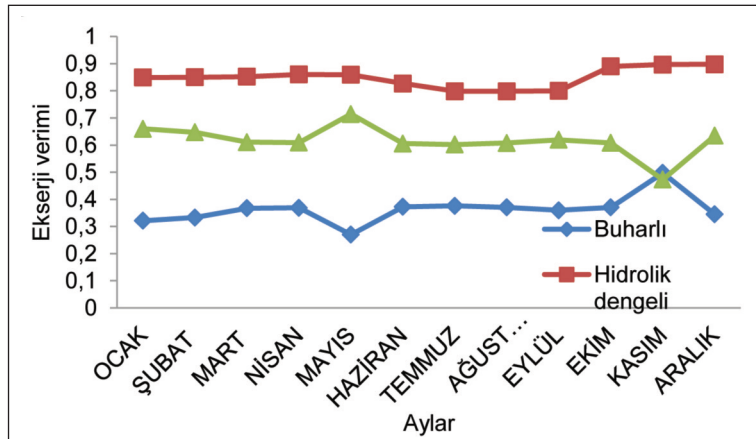
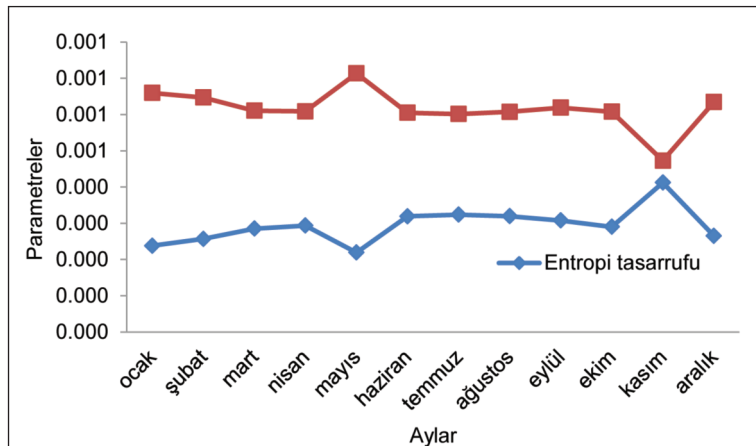
**Tablo 3. Yerleşkede Hidrolik Dengeli Sistemin Enerji Analizleri ve İyileştirme Oranları**

Aylar	Yakıt tüketimi (m <sup>3</sup> /ay)	Q <sub>h</sub> karşılama kWh	Q <sub>h</sub> talep kWh	Sistem verimi	İyileştirme artış oranı
Ocak	659,45	20490360,00	22768335,50	0,900	0,560
Şubat	657,07	20436722,01	22686113,48	0,901	0,548
Mart	650,93	20298765,50	22473987,65	0,903	0,514
Nisan	324,16	10203969,38	11191793,70	0,912	0,521
Mayıs	106,28	3342185,77	3669381,21	0,911	0,625
Haziran	107,36	3248152,59	3706659,33	0,876	0,481
Temmuz	106,33	3106104,43	3671025,47	0,846	0,448
Ağustos	106,21	3102987,09	3667076,34	0,846	0,454
Eylül	105,96	3099872,87	3658464,94	0,847	0,466
Ekim	315,85	10286390,62	10904922,23	0,943	0,551
Kasım	639,37	20974847,60	22074929,99	0,950	0,423
Aralık	624,60	20510924,52	21565032,13	0,951	0,586

tersinmezlik dağılımları incelenmiş iki sistem arasındaki toplam tüketimin yüke bağlı ekserji performansı eşitlik 9'dan yararlanılarak incelenmiş dağılım Şekil 4'de verilmiştir.

Yakıt tüketimi referans alındığında sistemin ekserji verimindeki değişim %48,55 olarak bulunmuştur. Bu değerlendirme sistemin ekserji dağılımı dikkate alındığında üretilen entropi ve buna bağlı kayıp ekserji yüküne karşılık yakıttaki tasarruf oranı incelenmiş ve sistemin yakıt tasarruf oranı değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde yıllık yakıt tüketimi dikkate alındığında, aylık ortalama %61,8 ile 590,23 m<sup>3</sup>/ay yakıt tasarrufu yapılmaktadır. Bu değerlendirme yıllık bazda 2.333.794,84 m<sup>3</sup>/yılılık bir tasarruf demektir.

Bina yük analizlerinde dağılımlar her bir aylık ortalama bina ekserji talebi eşitlik 6-8'den yararlanılarak her iki sistem için incelenmiş ve yerleşkenin entropi üretimine bağlı kayıplar hesaplanmıştır. Buna göre hidrolik denge sistemli uygulamanın entropi ve CO<sub>2</sub> emisyon tasarrufları Şekil 5'de verilmiştir.

**Şekil 4. Yerleşkenin Karşılaştırmalı Ekserji Verimi ve Dağılımı****Şekil 5. Hidrolik Dengeli Sistemin Entropi ve Emisyon Tasarruf Potansiyelleri**

## Makale

### 6. SONUÇ

Bu çalışma yerleşkeler gibi büyük yapı yoğunluğuna sahip sistemler için doğru mekanik sistem tercihinin sistem etkinliği ve performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılarak genel verimlilik performansları hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar kısaca aşağıda verilmiştir.

- Sistemin enerji verimliliği buharlı sistem için yıllık ortalamada %38,43 bulunurken, hidrolik dengeli 90/70 °C sistem için %89,89 bulunmuştur.
- Sistemin ekserji verimleri incelendiğinde, hidrolik dengeli sistem için verimlilikteki artış oranı %48,55 olarak bulunmuştur. Bu değer sistemin entropi üretiminde yıllık ortalamada %29,4'lük bir tasarruf sağlamıştır.
- Sistemin yıllık CO<sub>2</sub> emisyon etkisi incelendiğinde, mevcut tersinmezliklere bağlı hidrolik dengeli sistemin katkısı %61,57'lik bir tasarruf potansiyelini tanımlamaktadır.
- Tüm bu değerlendirmelerin yakıt tüketimi üzerinde %61,57'lik bir tasarrufla, yıllık bazda yakıt tüketim maliyeti üzerinden hidrolik dengeli sistem için 2.147.091,25 TL'lik bir tasarrufu tanımlamaktadır.

Tüm bu sonuçlar yerleşkelerde öncelikle tam otomasyonlu hidrolik dengeli ısıtma sisteminin klasik tesisat uygulamalarına yönelik performansının enerji tüketimi, maliyet ve çevresel etki yönleriyle oldukça etkin olduğunu göstermiştir. Ayrıca sistem tercihlerinde analizlerin ihtiyaçlara göre doğru tanımlanması, sistemlerde zon kontrollerinin çok daha kolay yapılabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, performanslarda kayıp enerjinin tanımlanması ve emisyon yüklerinin bunlara bağlı incelenmesi, sistemde tersinmezliklerin tanımlanması yönüyle ekserjetik analizlerin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

### KAYNAKLAR

[1] Schijnel P. P. A. J. V., Kasteren J. M. N., F. J. J. G., Janssen, 1998, "Exergy Analysis- a tool for sustainable technology – in engineering education", Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

[2] Dincer İ., M. A. Rosen, 2005 "Thermodynamic aspects of renewable and sustainable development", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 9 169-189

[3] Szargut J., D. CVR. Morris, F.C.R. Steward, 1988, "Exergy analysis of thermal and metallurgical processes", Hemisphere Publishing Corporation, TJ 265. S958 1988, USA.

[4] Dincer I., 2000, "Thermodynamics, exergy and environmental impact", *Energy Sources*, 22 723-732.

[5] Dincer I., 2002, "The role of exergy in energy policy making", *Energy Policy* 30, 137-149.

[6] Can Muhiddin, 1994, Merkezi ısıtma sistemlerinin teknik ve ekonomik analizi ve hava kirliliğini azaltmadaki önemi, *Ecology*, 1994, Nu:10, <https://www.ekoloji.com.tr/resimler/10-7.pdf>

[7] Malovrh M., 2002, The Importance of Hydraulic Balance of Hot Water Heating Systems for Efficient Energy Use, *Civil Engineering Institute ZRMK Dimiceva 12, SI-1000 Ljubljana Slovenia* [http://www.enef.eu/history/2002/en/pdf/Malovrh\\_AJ.pdf](http://www.enef.eu/history/2002/en/pdf/Malovrh_AJ.pdf)

[8] Doğan Veli, 2012, Hidrolik dengesizlik, *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 128-Mart/Nisan 2012, Sayfa 5-18. [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/7912e121450e326\\_ek.pdf?](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7912e121450e326_ek.pdf?)

[9] TS 825. 2008, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar, Ankara.

[10] Koçak S., Şaşmaz C., Atmaca İ. 2012, Farklı derece-gün bölgeleri için TS825'e uygun olarak yalıtılan bir alışveriş merkezinin teknik ve ekonomik yönden incelenmesi, *Tesisat Müh. Dergisi*, Sayı 128, Sayfa 76-88 [www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/c5b5fcd9974cdf5\\_ek.pdf?dergi=1232](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c5b5fcd9974cdf5_ek.pdf?dergi=1232)

[11] TMMOB, Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, Makine Mühendisleri Odası yayınları, 1992, 44:127.

[12] Hepbaslı A. 2012, Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 73-104.

[13] Annex 49. Energy conservation in buildings and community system slow exergy systems

- for high performance buildings and communities, <<http://www.annex49.com>> (01.12.13).
- [14] Annex 37, Energy conservation in buildings and community systems-low exergy systems for heating and cooling of buildings, <<http://virtual.vtt.fi/annex37/>> (01.12.13).
- [15] Wall G., 2009, Exergetics, Bucaramanga (<http://www.exergy.se/ftp/timetoturn.pdf>) 01.12.13
- [16] Cornelissen R. L., 1997, Thermodynamics and sustainable development: The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility, Ph.D thesis, University of Twente, The Netherlands.
- [17] Xydis G., Koroneos C., 2009, Polyzakis A., Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: An application Energy and Buildings, 41 402–406.
- [18] Algedik Ö., 2013, Yerel Yönetimlerin İklim Değişikliği ile Mücadelede Rolü, Sivil İklim Zirvesi Raporu, Kasım, [www.iklimzirvesi.org/wp.../11/Yerel-Yonetimlerin-ID-Mucadelede-Rolu.pdf](http://www.iklimzirvesi.org/wp.../11/Yerel-Yonetimlerin-ID-Mucadelede-Rolu.pdf)
- [19] Bayram M., 2011, Bep-Tr Hesaplama Yönteminde Referans Bina Kavramı ve Enerji Sınıflandırması, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13/16 Nisan, İzmir, Sayfa 755-762.