



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **BÜTÜNLEŞİK YAPILAR İÇİN ENERJİ ETKİN MEKANİK SİSTEM TASARIMI METODOLOJİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA**

**MEHMET ZİYA SÖĞÜT  
T. HİKMET KARAKOÇ  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**

**HAMİT MUTLU  
MEKANİK PROJE MÜHENDİSLİK**

# BÜTÜNLEŞİK YAPILAR İÇİN ENERJİ ETKİN MEKANİK SİSTEM TASARIMI METODOLOJİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA

*Energy Efficient Mechanical System Design Methodology for Integrated Structures and a Case Study*

**Mehmet Ziya SÖĞÜT**  
**T. Hikmet KARAKOÇ**  
**Hamit MUTLU**

## ÖZET

Bu çalışmada, çok yapılı bütünleşik bir kurumsal yerleşkenin ısı kaynaklı enerji sistemi için geliştirilmiş, maliyet etkin ve enerji de verimli bir mekanik sistem tasarım ve uygulama süreci incelenmiştir. Söz konusu yerleşke, yerleşim alanlarından uzak birincil kaynak akışının olmadığı bir bölgededir. Çalışmada öncelikle proje etkinliği yönüyle bir metodoloji tanımlanmış ve proje adımları, sistem seçim kriterleri ile birlikte enerji ve maliyet analiz yöntemleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu uygulanan metodoloji ile birlikte, bu tür kurumsal yerleşkeler için bir ilk özelliği olacak, farklı bir su kaynaklı ısı pompası uygulaması, bina talep yönetimi esas alınarak geliştirilmiş enerji etkin lokal çözümlerle tasarım modelleri tanımlanmıştır. Yapılan süreç analizlerinde kaynak tercihleri, sistem tercihinin farklı kaynak türlerindeki etkileri, enerji tüketim performanslarıyla birlikte ayrı ayrı ele alınmıştır. Yapılan analizlerde, önerilen model sürdürülebilir bir yapı oluştururken, ısı pompalı tercihinin göre, enerji tüketim maliyeti yönüyle Fuel-oil yakıtlı sisteminin 3,4, LNG yakıtlı sisteminin 2,8 ve doğal gaz yakıtlı sistemini ise 1,6 kat daha yüksek bir tüketim maliyetine sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Gün ışığı, Gün ışığı faktörü, Ofis binaları, Enerji kazanımı, Güneşle ısıtma.

## ABSTRACT

In this study, a cost effective and energy efficient mechanical system design and application process developed for a heat source energy system of a multi-built integrated institutional settlement was been investigated. The campus is a district, where there is no primary source stream, away from settlements. In the study, firstly, a methodology was defined in terms of project activity and the project steps, system selection criteria and energy and cost analysis methods were determined separately. Along with this applied methodology, a different water source heat pump application, which will be a first feature for such institutional settlements, was developed based on building demand management and design models were defined with energy efficient local solutions. In the process analysis made, resource preferences were considered separately with the system preferences in different resource types, energy consumption performances. In these analyzes, while the proposed model creates a sustainable structure, the heat pump option of the cost of energy consumption was found to be 3.4 times higher for the fuel oil system, 2.8 times for the LNG fuel system and 1.6 times higher for the natural gas fuel system,

**Key Words:** Daylighting; Daylight factor, Office buildings, Energy saving, Solar heating.

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de genel enerji tüketiminin % 23’ü sanayide, % 24’ü konutlarda, %30’u çevrim sektöründe ve %19’u ulaşım sektöründe tüketilmektedir [1]. Binalarda kullanılan enerjinin, toplam enerji tüketimindeki payının büyüklüğü ve bunun önemli bir kısmının da ısıtmada kullanıldığı göz önüne alınırsa, ısıtma sistemlerinde verimliliğin artırılması, ısıtmadan kaynaklı oluşan hava kirliliğinin önlenmesi, büyük

önem taşımaktadır. Enerji verimliliğini temel alan bina teknolojilerinde sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla binalarda düşük sıcaklıkta ısıtma, yüksek sıcaklıkta soğutma sistemlerinin geliştirilmesi alternatif enerji kaynaklarının kullanımı için gerekli bir ön koşul olarak kabul edilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak binalarda enerji talebinin temiz, konforlu ve sağlıklı bir çevreyle sağlanması hedeflenmiştir. Bu nedenle ısıtma sistemlerinin tercihinde seçim kriterlerinde verimlilik ve çevre parametrelerinin de dikkate alınması önem kazanmıştır.

Kyoto protokolünden bu yana, özellikle fosil kaynaklı enerji tüketimlerin neden olduğu çevresel tehditleriyle birlikte, toplumsal farkındalığın gelişmesi, bina sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesi, düşük karbon teknolojilerinin kullanılması daha yaygın bir hal almıştır. Nitekim Uluslararası enerji ajansının geliştirdiği kamu ve bina sistemleri programında enerji dönüşümünü hedefleyen çalışmada (LowEx) Uluslararası düşük sıcaklıklı ısıtma sistemleri araştırma programı (Annex 37), önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Bu program amaçlarını doğrudan binalarda ısıtma soğutma için daha verimli düşük sıcaklıklı ısıtma sistemlerinin kullanımının özendirilmesiyle enerjinin rasyonel kullanımına katkıda bulunmak olarak tanımlanmıştır. Ayrıca sürdürülebilir çevre ve bina teknolojilerinde aktif ve pasif sistem uygulamalarında düşük ekserji yaklaşımlarının oluşmasına da ortam yaratmıştır. Özellikle çevresel etkilerin ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla, bina ısıtma ve soğutma sistem uygulamalarında düşük değerli enerji kaynaklarının tercih edilmesini bir gereklilik olarak sunmuştur [2,3].

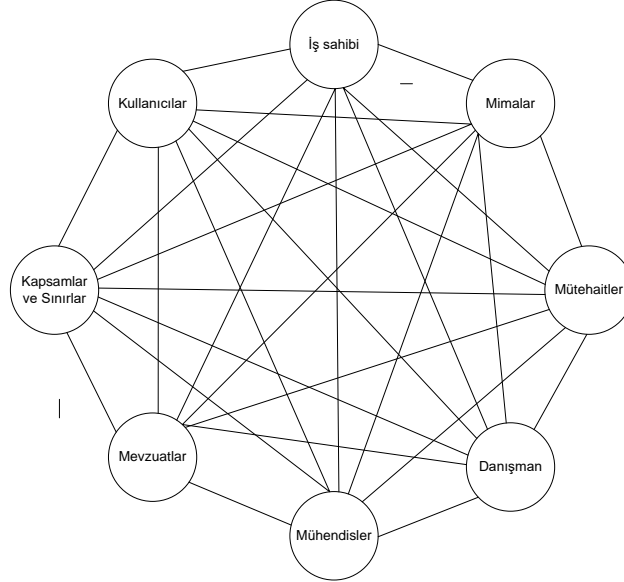
Yerleşkeler veya bütünlük yapılar çoğunluğu kamuya ait olan kompleks yapılar olarak değerlendirilir. Bu yapılarda, 50'li yıllardan itibaren binaları ve tesislerin enerji çözümlerine ilişkin uygulamalarda bölgesel bütünlük çözümlerin yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu sistem çözümlerinde, başta sınırlı çevresel etkiler, ısı sistemlerinin, yakıt tüketimlerinin kontrolü ve yangın, patlama gibi tehditlerin bina yerleşimlerinden uzak tutulması gibi avantajlar göz önüne alınmış ve bölgesel çözümler en verimli ve ekonomik sistemler olarak uygulanmıştır. Ancak çoğunluğu katı yakıt yakma sistemleri için tercih edilmiş bu uygulamalarda, enerjinin verimli kullanılmaması yanında, zom kontrollerinde yaşanan problemler, enerji sistem teknolojilerinin verimsizliği, sistemlerde otomasyon ve kontrol yetersizlikleri, etkin bir enerji yönetim sisteminin kurulmaması temel problemler olarak sayılabilir. Bu problemlere, ısıtma sistemlerinde hat kayıpları ve yalıtım problemleri de eklenebilir [4]. Bu tür yapılarda proje süreçlerinde ise, öncelikle taleple ilişkili olsa da, kamuda tip proje uygulamaları, standartların mevcut fosil yakıtlara bağlı primer devreyi tanımlayan basit çözüm yöntemleri, olası büyüme öngörülerini ile birlikte talepten büyük sistem seçimleri kötü uygulamaların nedenleri olarak görülebilir.

Son yıllarda düşük karbon teknolojilerinin geliştirilmesi, yapı standartlarında düşük karbon veya sıfır karbon standartlarının devreye girmesi, enerji verimliliğinde LEED energy star gibi bağımsız değerlendirme ve sertifika programlarının hayata geçmesi, temelde bütünlük yapılar için enerji sistem tasarımı ve uygulama kriterlerini değiştirmiştir. Özellikle enerji maliyetlerinin etkileri, teknolojinin getirdiği avantajlar ile birlikte, talebin kontrol altına alınabileceği yönetim sistemleri, başta mekanik sistemler olmak üzere tüm yapılarda uygulanabilir bir enerji verimliliği yüksek bir sistem tasarımı çalışmasını desteklemiştir. Bu yönü ile bu çalışma, mekanik proje süreçleri için temel bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmada bir bütünlük yapı için yönetilebilir enerji etkin ve düşük karbon teknolojisinin kullanıldığı mekanik sistem tasarımı ve analizleri sunulmuştur. Bu kapsamda öncelikle bütünlük yapı kavramı tanımlanmalıdır.

## 2. BÜTÜNLEŞİK YAPILAR

Modern dünyada konfor talebi, yüksek performanslı bina teknolojilerinin geliştirilmesine ortam yaratmıştır. Bu bina mimarilerinde bir gelişme yaratmakla birlikte, binalarda gerçekleştirilen faaliyetlerin çeşitlenmesi, enerji sistemlerinde düşük karbon teknolojilerini ön plana çıkartmıştır. Bu koşul mimaride olduğu gibi mekanik sistem tasarımı da bütünlük sistem yaklaşımını ön plana çıkartmıştır. Bu kapsamda bir tasarım süreci doğrudan, bina tipolojisi ile birlikte konfor şartları, çevresel etkenlere bağlı olarak hedeflerin doğru tanımlanmasına bağlıdır [5].

Bütünleşik yapılarda mekanik proje tasarımı tıpkı mimaride olduğu gibi, tüm bileşenleri ve oyuncuları ile birlikte, enerji etkin bir çözümü öne çıkarır. Bu kapsamda tasarım sürecinde de en az işgücü ve zaman kaybı dikkate alınarak çalışılmalıdır. Bütünleşik tasarım kısaca, mimari, statik, mekanik ve elektrik tesisatı gibi tüm bileşenlerin bütünleşik tasarımı olarak ifade edilir. Bu kapsamda mekanik sistemlerde, ısı taleplerinin konfor şartlarına bağlı oldukça düşük seviyede tutulması, yenilenebilir enerji payının yükseltilmesi, net sıfır enerji hedeflerine yaklaşabilecek bütüncül bir yapı oluşturulması hedeflenmiştir. Bu yaklaşımla son yıllarda LEED gibi pek çok değerlendirme sertifikasyon programıyla tanımlansa da, yeşil bina konsepti, düşük karbon ve sıfır karbon binalar olmak üzere pek çok türü görülebilir. Bu kapsamda bütünleşik bina konsepti Şekil 1'de görüleceği gibi tüm katılımcıların birbiriyle etkileşimde olduğu bir yaklaşım geliştirir.

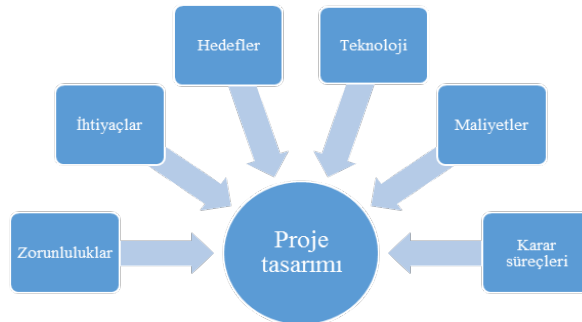


Şekil 1 Bütünleşik yapı tasarım modeli [6,7]

## MEKANİK PROJE TASARIM METODOLOJİSİ

Bütünleşik yapı süreçlerinde mimari tasarımdan sonra konfor parametrelerinin karşılanması için en önemli aşama mekanik sistem tasarımıdır. Bu süreç binanın yaşam döngüsünde en önemli işlem olarak görülebilir. Özellikle binalarda enerji maliyet ilişkisi esas alındığında, ömür sürecinde toplam enerji maliyetlerin yaklaşık %83'ü kullanım ile ilişkili olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda mekanik tasarım kriterlerinin doğru tanımlanması ve enerji etkin bir proje yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır.

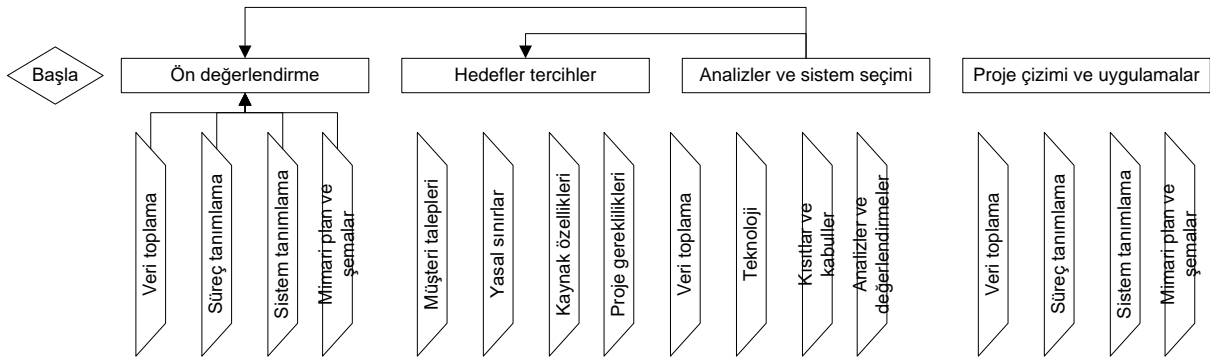
Proje tasarımı, gerçekte pek çok disiplini içinde barındıran bir mühendislik sürecidir. Projenin en temel kuralı uygulanabilir ve maliyet etkin olması olarak görülmelidir. Projenin hayalden çok mevcut teknolojilerle şekillendirilmesi ve yapı maliyet etkinliğini koruması da istenilebilecek temel bir konudur. Bunların bütüncül değerlendirilmesi, proje tasarımında Şekil 2'de verilen bazı temel kriterleri öne çıkartmıştır.



Şekil 2. Proje tasarım süreçleri için temel adımlar

Yerel ulusal ve uluslararası standartlar, kurallar, kanunlar ve kabullerin getirdiği zorunluluklar, yapı mimarisinin mevcut çevre koşullarında ihtiyaçları, yapı fiziğinde mekanik sistemden beklenen hedefler, teknolojinin ve maliyetlerin getirdiği tasarım sınırlamaları, projecinin güvenilirliği ve yetkinliği ile birlikte bir bütün olarak ele alınmalıdır. Bu yönüyle bir projecinin tanımlanması ve projenin güvenilirliğinin sağlanması ilk aşama olarak değerlendirilebilir.

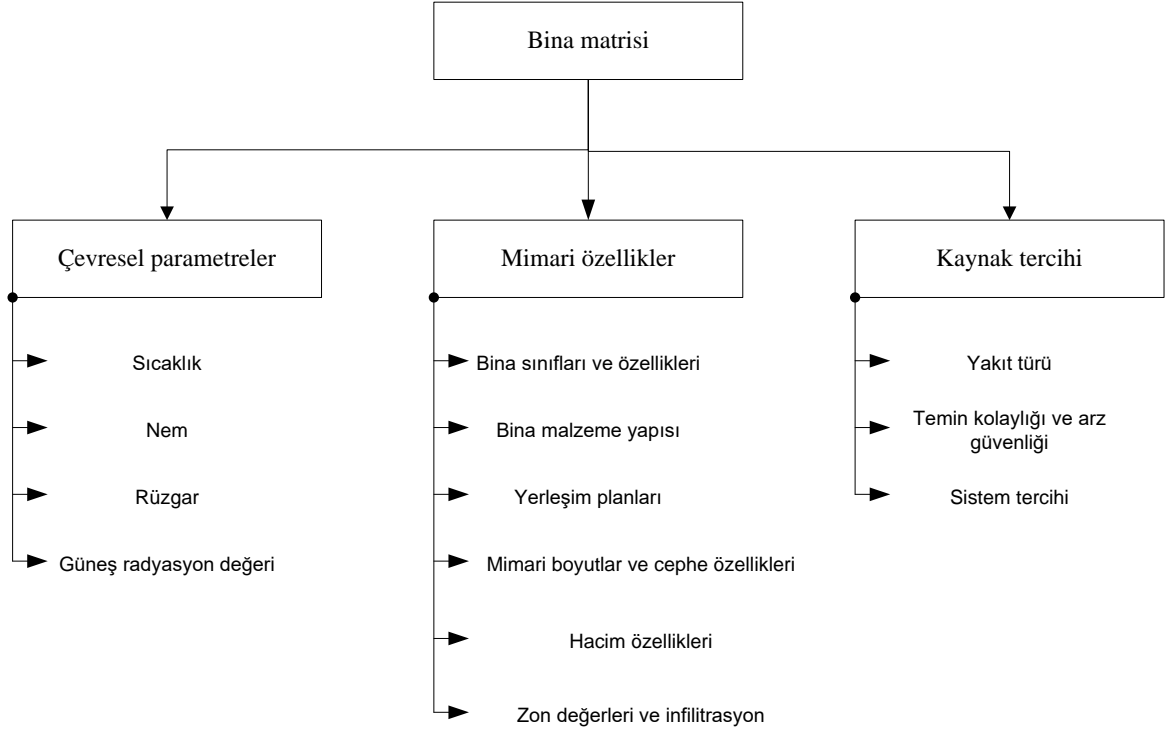
Pek çok mühendislik proje çalışmalarında, basit temel kabuller ile başlanır. Özellikle bütünleşik yapılar için tip proje uygulamalarında benzer uygulamalar veya arşiv proje geçmişinden yararlanır. Oysa her proje uygulaması kendine özgün özellikler gösterir ve örneğin konfor kriterleri, çevre şartları değişir. Her proje sürecinin başlangıcında yapı koşullarını tanımlayan gerçek veriler üzerinden yapılması proje etkinliği ve verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda her proje tasarımı bir metodolojik uygulama gerektirir. Bu çalışmada yapılan proje sunumu Şekil 3'de geliştirilen metodolojik yöntemle sunulmuştur.



Şekil 3. Tasarım metodolojisi

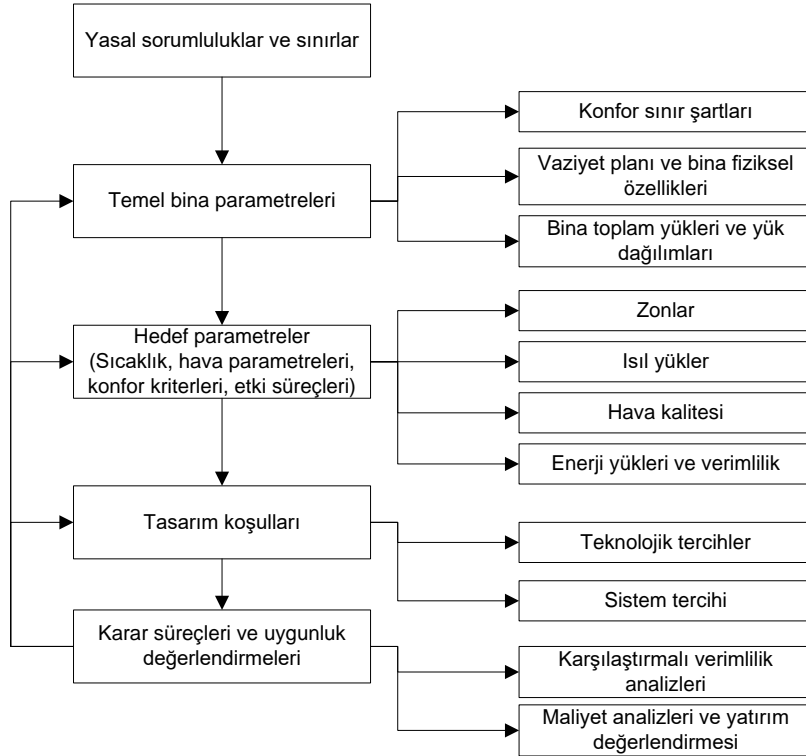
Gerçekte mekanik proje tasarım süreçlerinde kalıp olarak tanımlanmış bir yapı bulunmamaktadır. Bu öncelikle projecinin yeteneklerine, müşteri taleplerine ve maliyet etkinliğine bağlıdır. Ancak tüm sınırlamalara rağmen, enerji etkin bir proje tasarımı, yaratıcı zeka ürünü olarak görülmelidir. Bütünleşik yapılarda enerji sistem dizaynı öncelikle bir takım çalışması olarak planlanmalıdır. Özellikle Şekil 3'te tanımlana akış şemasında, mimari yük değerleri ve buna bağlı kaynak tercihleri, tasarımda geri dönüşlerin yapılmasını ve proje adımlarının tekrar gözden geçirilmesini sağlar. Tüm bu süreçlerden sonra sistem seçimi ve proje çizim süreçleri başlar. Bütünleşik yapılarda proje kriterlerini çevresel etkiler veya iklimsel veriler, mimari özellikler ve kaynak tercihleri önemlidir. Bu özellikler bir matris ile şekillendirilebilir (Şekil 4)

Bütünleşik yapılar için bir mekanik proje sürecinde her yapı bileşeni gereksinimlerine bağlı olarak ayrı ayrı sorgulanmalıdır. Yapı bileşenlerinde bir yük analizi yapmadan önce sahada detaylı değerlendirmeler ile birlikte bina parametreleri bütüncül ele alınmalıdır. Yerleşkelerin iç ve dış hava koşulları, bütün bina modüllerinin yük analizlerini doğrudan etkileyecektir. Proje çizim sürecinden önce yukarıdaki matris çalışmaları bize sistem tercihinde önemli avantajlar sağlayacaktır. Proje çizim sürecinden önce tasarım yapısı şekillendirilerek sınır şartlar tanımlanmalıdır. Bunlar seçilecek sistem için işletme ve yük analizlerini de içerebilir. Ancak bu projenin ve çevrenin temel kriterleri ile birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 4. Bina parametreleri matrisi

Proje takımı bu tercihlerinde enerji verimliliğini ve buna bağlı emisyon salınım potansiyellerini de tanımlayarak, seçilecek sistem için tasarım yapısı ve hedef değerleri belirlenmelidir. Bu kapsamda, proje takımı zorunluluklardan başlayarak kapsam ve sınırları, mekanik sistem tercihinin gereklilikleri için parametreleri, sınır şartlarını ve teknoloji tercihleri belirlemelidir. Şekil 4’de bütünlük yapı mekanik sistem tasarım yapısı ve hedef değerlendirmelere ilişkin akış şeması verilmiştir.



Şekil 5. Bir Mekanik sistem için tasarım yapısı ve hedef değerlendirmeleri

## ÖRNEK PROJE TASARIM SÜRECİ

Mekanik proje tasarımında enerji etkin bir çözüm üretmek bir bütünleşik yapı projesi, tasarım metodolojisine bağlı olarak uygulanmıştır. Bu kapsamda enerji etkin bir tasarım için öncelikle proje teklifiyle birlikte proje yönetimi oluşturulmuş ve ön bilgilerin toplanmıştır. Proje Eskişehir il sınırları içinde, bir bütünleşik yapı özelliğinde birçok yapı bileşeninden meydana gelen bir araştırma ve mükemmeliyet merkezi projesidir. Bu kapsamda mimari yerleşke planı içinde, eğitim binaları, uygulama binaları, sosyal tesis binaları, destek hizmet binaları, yönetim binası ve güvenlik binalarından meydana gelmiş yaklaşık 12000 m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip bir yerleşkedir. Binalar yönetim, idari, eğitim ve sosyal binalar yanında, atölye işlemleri, yapısal faaliyet alanları ve güvenlik hizmetleri gibi işlevlerle de sınıflandırılabilir. Yerleşkenin yapımı, yerleşim alanlarında uzak, ana ulaşım hatlarına mesafeli bir bölgede tasarlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle temel enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında önemi bir problem tespit edilmiştir. Yerleşkenin özellikle enerji talebinin karşılanmasında, öncelikle depolanabilecek alan imkânı da değerlendirilerek doğalgaz, LNG(Sıvı doğal gaz), CNG(Sıkıştırılmış Doğal Gaz), 4 nolu fuel-oil ve kömür olmak üzere dört yakıt kaynağı değerlendirilmiştir. Ancak tüm kaynakların yerleşkeye getirilmesi önemli bir maliyet ve çevre problemlerini de ihtiva etmektedir. Bu kaynaklar için alternatifler değerlendirilmiş ve bölgedeki su kaynakları incelenmiştir. Eskişehir il sınırı içinde, porsuk havzasında yer almak ile birlikte, zemin suyunun statik yükseklığının az olduğu bilinmektedir. Ancak yerleşke sınırları içinde, yer altı su kaynaklarının durumu incelenmek üzere lokal sondajlar yapılmıştır. Özellikle tespit edilen üç kuyu bilgilerine göre, yeraltı su rezervlerinin bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Bu kapsamda öncelikle enerji kaynağı olarak su rezervlerine ilişkin resistive raporu elde edilmiştir. Böylelikle, suyun çıkarılacağı ve re-enjekte edilecek kuyuların yerleri ve özellikleri belirlenmiştir. Veri toplama ve sınıflandırma süreci saha verileri, mimari yapı verileri ve çevre verileri olarak üç sınıfta değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, mevcut bina yapıları, bina matrisi dikkate alınarak, mimari kat projeleri ve mekanik raporların hazırlanması da ayrı bir süreç olarak devam etmiştir.

Süreç yönetiminde yerleşke için en etkin enerji sistem çözümü, Su Kaynaklı Isı Pompası (Su kaynaklı VRV / VRF ) uygulaması olduğu görülmüştür. Ancak veri analizlerinde, diğer yakıtlar ile birlikte karşılaştırmalı analizler de yapılmıştır. Çalışmada COP'si 5,79 ile 6,90 olan bir nite referans alınmıştır. Proje süreci ve analizlerin sonuçları aşağıda tanımlanmıştır. Buna göre tasarım metodolojisinin her bir süreci aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

**Tablo 1** Örnek proje tasarım aşamaları

Süreç	Faaliyet	Açıklamalar
<b>Veri toplama ve sınıflandırma</b>	Müşteri talepleri	Konfor açısından uygun – kolay işletilebilir ve enerji ekonomisi yapan mekanik tesisat sistemi
	Yasal sınırların tanımlanması	BEP yönetmeliği – Mekanik Tesisat Projeleri Hazırlama Esasları. Uluslararası standartlar
	Saha verilerinin alınması	Mevcutta kullanılacak yakıt türleri incelendi. Topografik veriler alındı. Vaziyet planı incelendi. Resistive rapor alındı. Elektrik alt yapısı incelendi.
	Bina yapılarının tanımlanması	Proje üzerinden 6 farklı bina yapısı tanımlandı. Mekanik Tesisat ihtiyaç listeleri belirlendi.
<b>Süreç tanımlama</b>	Proje ekibinin tanımlanması	Mekanik tesisat hesapların yapılması tasarım yapılmasında çalışacak tasarım ekibin tanımlanması yapıldı. 2 adet Makine Mühendisi ve 4 adet teknik ressam ile yapılması kararlaştırıldı.
	Yapıların tanımlanması	Yapılar betonarme yapılar ile çelik konstrüksiyon yapılardan oluştuğu tespit edildi.
<b>Sistem Tanımlama</b>	Kaynak uygunluğu	Yerleşke için Doğalgaz, LNG(Sıvı doğal gaz), CNG(Sıkıştırılmış Doğal Gaz), 4 nolu fuel-oil ve kömür için değerlendirme yapıldı. Yeraltı su rezervlerine ilişkin resistive raporu alındı. Yeteri debide ve uygun sıcaklıklarda su olduğu tespit edildi. Yeraltı suyunun alınacağı kuyular ve re-enjekte edilecek kuyular belirlendi.

**Tablo 1.** Örnek proje tasarım aşamaları(DEVAMI)

	Enerji sistem tercihi	Yapılan değerlendirmede su rezervlerinin Su Kaynaklı Isı Pompası için uygun olduğuna karar verildi.
<b>Mimari Plan - Kesitler ve Görünüşler</b>	Vaziyet Planı	Mimari ofisin tasarlamış olduğu kat planları alındı. Mahal tanımlamaları yapıldı.
	Kat planları	
	Kesit ve Görünüşler	Kesit ve görünüşler temin edildi. Mahal yükseklikleri tanımlandı.
<b>Hedef sınırlarının şekillendirilmesi</b>	Konfor şartları	Yaz ve Kış Proje sıcaklık ve nem değerleri mahal özelliklerine göre yapıldı tespit edildi.
	Kontrol sistemleri	Sıcaklık ve nem değerlerine göre kontrol yapılacağı karar verildi.
<b>Kaynakların tanımlanması</b>	Su kaynakları	Yeterli miktarda yeraltı suyu bulunmaktadır.
	Isı	Resistive raporuna göre yeraltı su sıcaklığı 17 – 21 °C arasında
	Elektrik	Yeterli şebeke elektrik kaynağı mevcut
<b>Lokal yüklerin tanımlanması</b>	Isı kayıpları ve kazançlarının hesaplanması	Hourly Analiys Program ile ısı kayıp kazanç hesapları yapılmıştır.
	İklimlendirme ve havalandırma yükleri	ASHRAE standartlarına uygun olarak taze hava debileri belirlenmiştir.
	Temiz ve Pis su hesapları	Bina ve kullanım özelliklerine göre Sıhhi Tesisat Proje Hazırlama Esasları kullanılmıştır.
	Yangın Sistemleri	Yangın Yönetmeliğine göre yangından korunma projeleri tasarlanmıştır.
<b>Bina yüklerinin hesaplanması</b>	Bina enerji ihtiyaçlarının tanımlanması	Hesaplar yapılarak toplam ısı ve soğutma ile beraber havalandırma değerleri belirlenmiştir.
	Yerleşkenin toplam yüklerinin tanımlanması	Meteororm programı vasıtası ile Eskişehir iline ait saat – saat sıcaklıklara göre değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre toplam ısıtma değerleri hesap edilmiştir.
<b>Sistem seçimi</b>	Yakıt türlerine göre karşılaştırmalı analizler	Su kaynaklı ısıtma ve soğutma sistemi Doğalgazlı ısıtma sistemine göre % 83 daha az yakıt yakmaktadır.
	İklimlendirme sistem seçimi	Bina genelinde Sistem olarak Su Kaynaklı VRV/VRF sistemi ile ısıtma ve soğutma sistemi seçilmiştir. Kullanma sıcak suyu üretmek için sudan suya ısı pompası ile gerçekleştirilmiştir. Havalandırma sistemi olarak havadan havaya ısı pompası ile teçhiz edilmiş, rotor tipi ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları ile taze hava beslemesi ve egzost havalandırma yapılması tasarlanmıştır.
	Yangın sistem seçimi	Binada Harici Hidrant sistemi, Mahallerde otomatik Yağmurlama başlığı, Yangın dolapları ile korunması sağlanmıştır.
	Isı kaynak seçimi	Su Kaynağı – Elektrik
	Cihaz seçimleri	Su kaynaklı VRV/VRF sistemleri ile ısıtma ve soğutma Sudan suya ısı pompaları ile kullanma sıcak suyu eldesi Sudan Suyu ısı pompası ile tavandan sıcak su ile radyant ısıtma
<b>Uygulama Projeleri</b>	Her sistem için kat planlarının çizilmesi	Her mekanik tesisat planlamaları yapılmıştır.
	Kolan şemaları	Kolon şeması ve akış şemaları tasarlanmıştır.
	Detay uygulama projeleri	Olması gereken detay resimleri projeye eklenmiştir.

Enerji verimliliğini temel alan proje süreçlerinde mekanik sistemin en önemli verimlilik kriteri yakıt tercihi ve sistem seçimidir. Nitekim bu projede dört farklı kaynak için, yük hesaplamalarına bağlı enerji ve maliyet analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Binaların ısıtılması için proje değerleri; dış hava sıcaklığı -12 °C, iç ortam sıcaklığı 22 °C, kullanma sıcak suyu için şebeke su sıcaklığı 10 °C, kullanma sıcak suyu 45°C, yüksek tavanlı destek hizmetleri binası için sıcak sulu radyant ısıtma sistemi için sudan suya ısı pompası çıkış suyu sıcaklığı 70 °C, iç ortam sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır. Toplam ısı yük ihtiyaçları dikkate alınarak sistemin yakıt ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda toplam yakıt tüketimi;



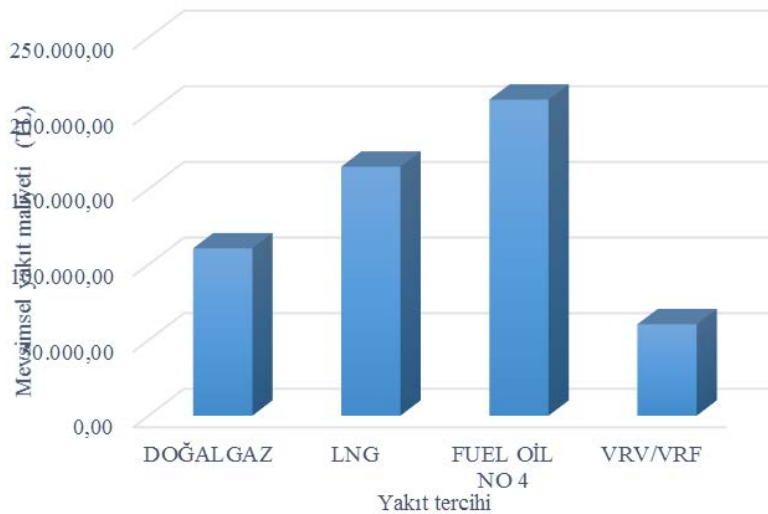
$$M_y = \frac{\dot{Q}_{yu}}{H_u \cdot \eta_{cihaz}} \quad (1)$$

dir. Burada,  $H_u$  yakıtın alt ısıl değeri,  $\eta_{cihaz}$  ise ısı kaynağının ısıl verimi olarak tanımlanır [8,9]. Mevcut yerleşkenin Ekim ve Nisan dönemini baz alan ısı hesaplamaları üzerinden tercih edilen doğalgaz, fuel-oil ve LNG için sistemin enerji talebi esas alınarak bir değerlendirme Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yakıt türlerine bağlı enerji ve maliyet analizleri

Parametreler		Özellikler		
Yakıt Türü		Doğal gaz	Fuel-oil	LNG
Isıtma Sistemi		Sıcak Su		
Isıtma Dönemi				
Yıllık Enerji Miktarı (Kwh)		918.316	918.316	918.316
Alt ısıl değerler	(Kcal/m <sup>3</sup> )	8250	9875	8250
	(Kw/m <sup>3</sup> )	9,59	11,48	9,59
Verim	(%)	95	80	93
Harcanan enerji türleri	(m <sup>3</sup> )	100.765,80	99.968,60	102.932,80
Doğalgaz birim fiyatı	(TL/m <sup>3</sup> )	1,1	2,09	1,6
Isıtma maliyetleri	(TL)	110.653,16	208.934,37	164.599,74

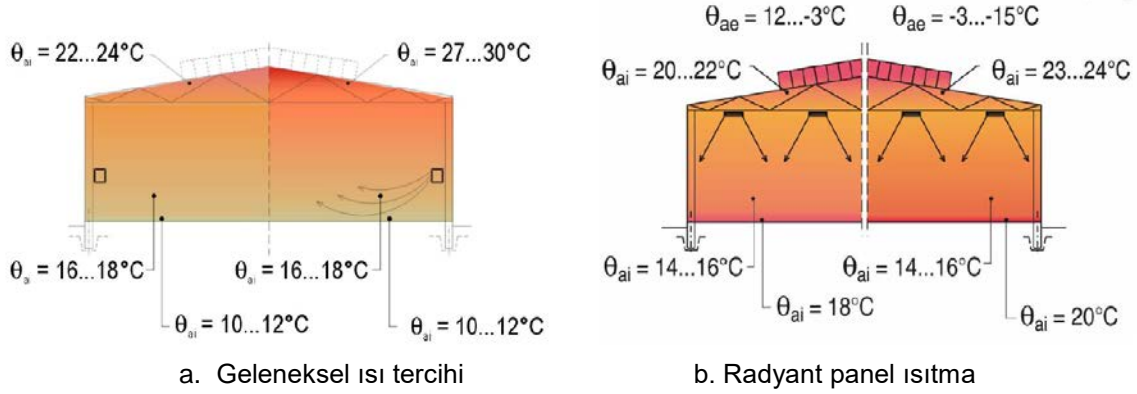
Yapılan sistem analizlerinde her bir sistemin talep edilen ısı yükü için enerji maliyet analizleri ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan performans ve maliyet analizlerinde VRV/VRF sistem tercihinin etkinliği öne çıkmıştır. Buna göre analizlerde enerji maliyetlerinin ısıl verimlerine bağlı olarak VRV/VRF sistemi temel alınarak, karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Yerleşkenin ısıl ihtiyacının karşılanması için, yakıt türüne göre VRV/VRF sistemi ile karşılaştırmalı maliyet dağılımları Şekil 6'da verilmiştir.



**Şekil 6.** Yakıtların mevsimsel maliyet dağılımları

Yakıtların mevsimsel maliyet dağılımları incelendiğinde VRV/VRF tercihi, referans alınan doğal gazla göre %45,38, fuel-oil 4 numara yakıt için %71,07 ve LNG'ye göre ise % 63.28 daha verimli olduğu görülmektedir. Benzer analiz yakıtın CO<sub>2</sub> emisyon salınım potansiyeli de dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre, VRV/VRF sisteminde elektrik enerji tüketimi esas alındığında, doğal gaz tercihine göre %61, sıvı yakıt tercihine göre ise yaklaşık %75,33 bir tasarruf dikkat çekmektedir.

Mevcut proje yaklaşımı metodolojisi sistem tercihi ile birlikte tüm sistem bileşenleri için teknolojinin değerlendirilebileceği bir yaklaşım sunmaktadır. Proje kapsamında eğitim merkezi yüksek tavan yüksekliği ne sahiptir ve ısıtıcı ihtiyacının mevcut VRV/VRF sistemiyle uyumlu ve verimli çalışabilecek bir ısıtıcı tercihinin zorlamıştır. Bu kapsamda projede radyant ısı uygulamaları öne çıkmıştır. Ancak ısı kaynağı olarak ısı pompası tercihi, bu teknolojiye radyant panel uygulamasını öne çıkartmış ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı analizler geliştirilmiştir. Radyant panel uygulamasının özellikle bu tür yüksek yapılarda, ısı konfor şartlarının yerine getirilmesinde daha etkin bir yaklaşım olduğu da görülmüştür. Şekil 7'de bu uygulamanın konfor kriteri değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Yüksek tavanlı yapılarda ısı tercihine bağlı sıcaklık dağılımları

Tavandan ısıtma uygulamaları kapsamında değerlendirilse de günümüzde malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte radyant etki verimliliği daha da geliştirmiştir. Bir L boru uzunluğu için radyant sistem yükü aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilir.

$$Q_{boru} = \frac{2nL}{\lambda_{boru} \ln \frac{t_1}{t_2}} \cdot (t_1 - t_2) \quad (2)$$

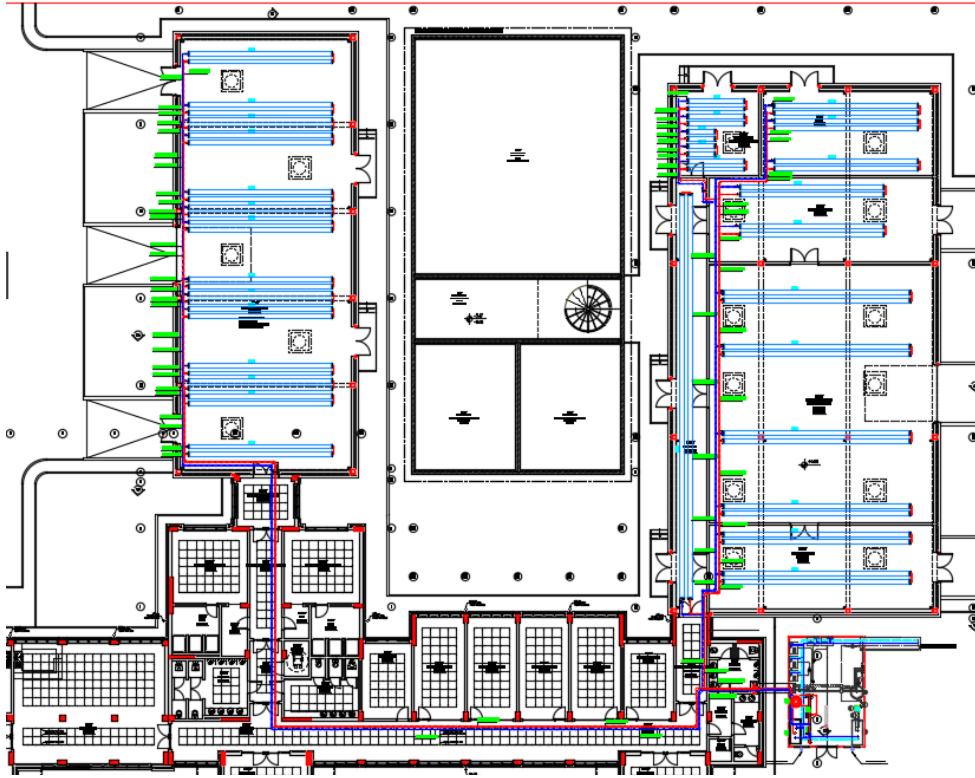
dir. Burada  $t_1$  ve  $t_2$  borunun iç ve dış yüzey sıcaklığıdır. Radyant sistem için DIN V18599 standardına göre toplam ek yük etkisi, sistemin aylık ısı talebiyle birlikte aşağıdaki gibi değerlendirilir [10,11].

$$Q_{h,x} = \left[ \frac{f_{radyant} \cdot f_{int} \cdot f_h}{\eta_{h,ce}} - 1 \right] \cdot (\alpha \cdot Q_h) \quad (3)$$

Burada  $f_{radyant}$ ,  $f_{int}$  ve  $f_h$  sırasıyla, Radyant etki faktörü, Aralıklı çalışma faktörü ve Hidrolik dengeleme faktörüdür.  $\eta_{h,ce}$  Toplam ortam ısı transfer verimi,  $Q_h$  aylık ısı ihtiyacı ve  $\alpha$  akışkan faktörü (su için 0,031 ve hava için 0,4 dür. Toplam ortam ısı verimi;

$$\eta_{h,ce} = \frac{1}{4 - (\eta_L + \eta_c + \eta_b)} \quad (4)$$

ile tanımlanır. Burada  $\eta_L$ ,  $\eta_c$  ve  $\eta_b$  sırasıyla Dikey hava sıcaklığı verimi, Ortam sıcaklığı düzenleme verimi ve dış yüzeylerde oluşan ısı kaybı verimidir [10,11]. Bu kapsamda mevcut yapı üzerinde kapasite hesaplamalarına göre yapı tasarımı Şekil 8'de verildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 8. Radyant sıcak su uygulama kat planı

Yapılan proje çalışmasında seçilen bu tercih enerji verimliliği yönüyle değerlendirilmesi de çalışılmıştır. Bu kapsamda enerji analizleri, mevcut yapının doğal gaz ile ısıtma parametreleri değerlendirilerek bir kış sezonu için analiz edilmiştir. Buna göre Sulu VRV/VRF ile doğalgaz analiz yükleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Karşılaştırmalı maliyet analizleri

TAVANDAN ISITMA ( SICAK SULU RADYANT SİSTEMİ )					
Doğal gaz	Birimler		VRV/VRF	Birimler	
Toplam ısıtma enerji	kWh	498.422,94	Toplam ısıtma enerji	kWh	498.422,94
Harcanan doğalgaz	m <sup>3</sup>	54.691,38	Elektrik değeri	kWh	124605,7353
Verim	%	95	Elektrik birim fiyatı	TL/kWh	0,404635
Doğalgaz birim fiyatı	TL/m <sup>3</sup>	1,1	Toplam elektrik tüketimi	TL	50.419,84
Isıtma doğalgaz tutarı	TL	60057,82176			
Maliyet Farkı TL					9.637,98
Maliyet Tasarrufu					16%

Bu analizlere özellikle doğalgazın işletme süreçlerinde ek enerji ve bakım maliyetleri eklenmemiştir. Bu yönüyle Sulu VRV/VRF tercihinin avantajı bu kapsamda beklenenden daha fazla olacaktır.

### SONUÇ

Bu çalışma bütünleşik yapı özelliği gösteren yerleşkeler için öncelikle enerji verimliliğinin temel alan mühendislik yaklaşımı için bir metodolojik çalışma geliştirmiştir. Bu kapsamda geliştirilen metodoloji, yerleşkenin mekanik sistem tasarımında enerji etkin bir çözümün geliştirilmesi için kullanılmıştır. Çalışma bütünleşik bir yapı analizinde aşağıdaki sonuçları sağlamıştır.

- Enerji etkin sistem seçimi ve uygulamasında süreç ve maliyet açısından etkin bir sonuç elde edilmiştir.
- Yapının doğru analizi sonucu sistem seçiminde, doğal gazla göre %45,38, fuel-oil 4 numara yakıt için %71,07 ve LNG'ye göre ise % 63.28 daha enerji etkin bir yöntem ortaya çıkmıştır.
- Sistem kontrolü ve sürekliliğinde enerji etkin kontrol imkanı sağlanmıştır.
- Zon kontrollerinde enerji etkin çözümlerin geliştirilmesini kolaylaştırmıştır.
- Örneğin Radyant su sistemi ile %16'lık tasarruf sağlanmıştır

Mekanik sistem tasarımı enerji etkin çözümler için bina sektöründe en önemli süreçtir. Bu çalışma düşük karbon teknolojiler olmak üzere, enerji etkin çözümlerde mühendislikler için bir yöntem olarak değerlendirilmelidir. ↴

## KAYNAKLAR

- [1] Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, Ham petrol ve doğalgaz sektör raporu. Ankara, 2016.  
[http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSekt%C3%B6r%20Raporu%2fTP\\_HAM\\_PETROL-DOGAL\\_GAZ\\_SEKTOR\\_RAPORU\\_\\_2015.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSekt%C3%B6r%20Raporu%2fTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf)
- [2] Annex 37. 2006. Energy Conservation in Buildings and Community Systems – Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings, Homepage, <http://virtual.vtt.fi/annex37/>.
- [3] Annex 49. 2006. Energy Conservation in Buildings and Community Systems – Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities, Homepage, <http://www.annex49.com/>.
- [4] ] Ziya Söğüt, İnanç Cahit Güremen, Hakan Kabalar, Bir Yerleşkede Enerji Yönetimi ve Enerji Tasarruf Potansiyelinin İncelenmesi, TTMD Mayıs Haziran 2013
- [5] Soner Yeşilgöz, Yapılarda Bütünleşik Tasarım, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Adana Şube, Adana 2012,  
[http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/e5eb703282528c4\\_ek.pdf?tipi=68&туру=X&sube=1](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e5eb703282528c4_ek.pdf?tipi=68&туру=X&sube=1)
- [6] Boecker, J., Horst S., Keiter T., Lau A., Sheffer M., Toevs B., ve Reed B.G. The integrative Design Guide to Green Buildings Redefining the practice of sustainability. John Wiley&Sons Publishing, Hoboken, New Jersey.
- [7] Yılmaz B., Arditi D., korkmaz S., Yüksek Performanslı Binalarda Bütünleşik Tasarım Sistemi, 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 29 Eylül-1 Ekim 2010
- [8] TS., 2008, Binalarda ısı yalıtım kuralları (TS-825) , Türk Standartlar Enstitüsü, Necatibey Cad. No.112 Çankaya, Ankara, Türkiye.
- [9] Koçak S., Şaşmaz C., Atmaca İ.2012, Assessment of Technical and Economic Aspects of One Shopping Centre isolated Accordance with the TS825 for Different Degrees-Day Regions, Journal of Plumbing Engineering No 128 (2012) Page 76-88
- [10] Alpin Kemal Dağsöz, Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı, Demirdöküm Teknik yayınları No:6, İstanbul, 1988, Sayfa, 449
- [11] Zehnder, Radyant Isıtma Soğutma Sistemlerine Genel Bakış, Zehnder Group İç Mekan İklimlendirme Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, 2016

## ÖZGEÇMİŞ

**Hamit MUTLU**

1967 Kırşehir doğumludur. İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdikten sonra, makine mühendisi olarak 1991–1998 yılları arasında TC Emekli Sandığı Genel Müdürlüğü İnşaat Emlak Daire Başkanlığı (Yeni çelik Palas Otel İnşaatı – Bursa – Kontrol Mühendisi) kontrol mühendisi olarak, 1998 – 2004 yıllarında Akkor Mühendislikte Proje Müdürü olarak görev yapmıştır. 2004 yılı sonunda Mekanik tesisat konusunda uygulamaya yönelik Proje – Proje Yönetimi – Müşavirlik – Danışmanlık Hizmetleri vermek üzere Mekanik Proje Mühendislik San. Tic.Ltd. Şti'ni kurmuş ve çalışmalarına devam etmektedir. Makine Mühendisleri Odası, Enerji Verimliliği Derneği Bursa Şubesi Yönetim Kurulu Üyesi ve TTMD üyesidir. Evli ve 3 çocuk babasıdır

**M. Ziya SÖĞÜT**

2005 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden Makine Mühendisliği yüksek lisans programını, 2009 yılında aynı enstitünün Makine Mühendisliği doktora programını tamamlayıp doktor unvanını almış, 2009 yılında yardımcı doçentlik kadrosuna atanmış ve 2013 yılında Makine Mühendisliği Enerji Teknolojileri dalında doçentlik unvanını almıştır. Halen Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Piri Reis Üniversitesi Denizcilik Fakültesinde Misafir Öğretim elemanı olarak Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora dersleri vermektedir. Ayrıca Sertifikalı Bina enerji yöneticisi, Enerji Verimliliği Derneği Bursa Şubesi Yönetim Kurulu Üyesi, Ulusal ve uluslararası bilimsel dergilerde hakemlik görevlerine devam etmektedir. Enerji, Ekserji, Eksergoekonomik analizler ve optimizasyon, Isı geri kazanımı, Yenilenebilir Enerjiler ve uygulamaları, Enerji yönetimi, Soğutma teknolojileri ve uygulamaları, çevre teknolojileri ve analizleri konularında proje ve çalışmaları vardır.

**T. Hikmet KARAKOÇ**

Anadolu Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Yüksek Lisans, Anadolu Üniversitesi'nden Doktora Derecesi aldı.1988'de Yardımcı Doçent, 1991'de Doçent, 1997'de Profesör oldu. 35 yıldan bu yana Anadolu Üniversitesi'nde çalışmakta olup, halen Anadolu Üniversitesi havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde öğretim üyesidir. Araştırma konuları "Havacılık", "Gaz Türbinleri", "Yakıtlar ve Yanma", ve "Enerji Ekonomisi" nde yoğunlaşmıştır. Sanayide birçok kuruluşa Danışmanlık ve Araştırma Projeleri yapmıştır. Ulusal ve Uluslar arası 200 makale ve bildiris, ayrıca 30 kitabı yayınlanmıştır.