tmmob
makina mühendisleri odası

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1300-3399 • Kasım-Aralık 2017 • YIL: 25 • SAYI: 162 • www.mmoistanbul.org



Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması
Fatih ALKAN, N. Alpay KÜREKCİ, Handan ÇUBUK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Binasının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi
Özlem FAZLIOĞLU, Ertan BAYDAR

Değişik Bina Modelleri İçin Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi
Deniz GÖLBAŞI, Ertan BUYRUK, Beşir ŞAHİN, Koray KARABULUT

Mutfaklarda Yangın Tehlikesi ve Bakımın Önemi
Hande MUTLU ÖZTÜRK

Inverter Klimalar İle Sabit Hızlı Klimaların Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması
Uğur SERTAN, Andaç YAKUT

Enerji Uygulamalarında Kullanılan Nanoakışkanların Isıl Özelikleri
F. Mertkan ARSLAN

Doğal Soğutma Sisteminin Bir Endüstriyel Soğutma Prosesinde Enerji Verimliliği ve Maliyet Etkisinin İncelenmesi
Hamit MUTLU, M. Ziya SÖĞÜT

Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı İle İncelenmesi
Abdulkerim OKBAZ, Ali PINARBAŞI, Hüseyin ONBAŞIOĞLU, A. Bahadır OLCAY

Türkiye'nin Yosundan Enerji Üreten İlk Konut Tasarımı ve Uygulaması - AlgaeTECT Evi
Neslihan ÖZMAN SAY, Alişan GÖNÜL, İsmail ÇELİK, Evren ARSLANER, Burak DÖNER

DAIKIN Doğru Hava Uzmanı

SOĞUTMA GRUBU TEKNOLOJİSİNDE ZİRVE



EWAD-TZ-B

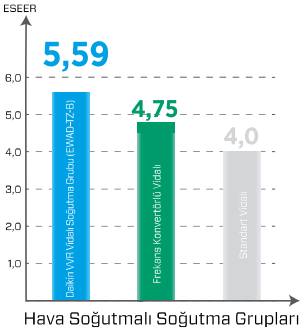
EWWD-VZ

Daikin VVR Teknolojisiyle Merkezi Sistemlerde De İlkleri Geliştirdi.*

***(5,59 ESEER)**Hava Soğutmalı ve **(8,71 ESEER)**Su Soğutmalı Yüksek Enerji Verimliliğine Sahip Soğutma Grubu Ürünlerini Üretti.*

Kaliteli yaşam için yüksek enerji verimliliğine sahip ürünler kullanın.
Çevreyi korumaya katkı sağlayın

DAIKIN – McQuay Air Conditioning

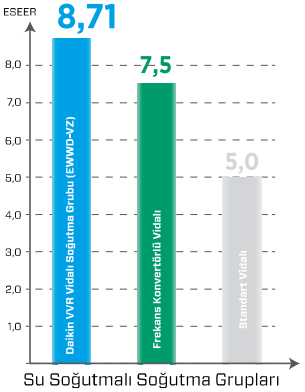


Hava Soğutmalı Soğutma Grupları

Üstün Özellikler

- *Daikin tek vida teknolojisi • VVR* teknoloijisi*
- *Rakipsiz verim sınıfı • Kompakt dizayn*
- *Uygulama esnekliği• Sessizlik*
- *Bulut platformuna bağlantı olanağı*
- *HFO gazları ile kullanıma uygunluk*

**VVR: Variable Volume Ratio*



Su Soğutmalı Soğutma Grupları

DÜNYADA 1 NUMARA

*2015 yılı satış verilerine göre HVAC sektöründe cirosal bazda dünyanın en büyük firmasıdır.

İÇİNDEKİLER

5 Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması
Fatih ALKAN
N. Alpay KÜREKCİ
Handan ÇUBUK

20 Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Binasının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi
Özlem FAZLIOĞLU
Ertan BAYDAR

32 Değişik Bina Modelleri İçin Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi
Deniz GÖLBAŞI
Ertan BUYRUK
Beşir ŞAHİN
Koray KARABULUT

48 Mutfaklarda Yangın Tehlikesi ve Bakımın Önemi
Hande MUTLU ÖZTÜRK

58 Inverter Klimalar İle Sabit Hızlı Klimaların Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması
Uğur SERTAN
Andaç YAKUT

66 Enerji Uygulamalarında Kullanılan Nanoakışkanların Isıl Özelikleri
F. Mertkan ARSLAN

79 Doğal Soğutma Sisteminin Bir Endüstriyel Soğutma Prosesinde Enerji Verimliliği ve Maliyet Etkisinin İncelenmesi
Hamit MUTLU
M. Ziya SÖĞÜT

86 Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı İle İncelenmesi
Abdulkerim OKBAZ
Ali PINARBAŞI
Hüseyin ONBAŞIOĞLU
A. Bahadır OLCAY

94 Türkiye'nin Yosundan Enerji Üreten İlk Konut Tasarımı ve Uygulaması - AlgaeTECT Evi
Neslihan ÖZMAN SAY
Alişan GÖNÜL
İsmail ÇELİK
Evren ARSLANER
Burak DÖNER

tmmob makina mühendisleri odası
TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1300 - 3399
Süreli - Teknik Yayın

Kasım/Aralık 2017
Yıl: 25 Sayı: 162

MMO Adına Sahibi
Ali Ekber Çakar

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
İbrahim M. Tataroğlu

Editör
Galip Temir

Yayın Koordinatörü
Sema Keban

Yayın Kurulu
Ali Metin Duruk
Battal Kılıç
Burak Olgun
Cemal Ahmet Akçakaya
Eyüp Akaryıldız
Galip Temir
Hasan Alpay Heperkan
İbrahim M. Tataroğlu
İsmail Cem Parmaksızoğlu
İsmail Turanlı
Muammer Akgün
Muammer Koçer
Tevfik Peker
Turgut Bozkurt
Uğur Ayken
Üzeyir Uludağ
Zeki Arslan

Reklam
Günay Kahraman

Dizgi ve Mizanpaj
Sema Keban

Baskı
Patika Ajans Matbaacılık
Reklam Org. Tic. Ltd. Şti.
Adakale Sokak 4/B Kızılay /ANKARA
Tel: 0312 431 22 11

Baskı Tarihi
15.12.2017

Yönetim Merkezi
Kâtip Mustafa Çelebi Mh. İpek Sk. No: 9
Beyoğlu/İstanbul Tel: 0212 252 95 00 - 01

Baskı Sayısı
6.000 adet

Tesisat Mühendisliği Dergisi'nde yayınlanan yazı ve çizimlerin her hakkı saklıdır. İzin alınmadan yayınlanamaz.

www.mmoistanbul.org

Hakem Kurulu

DOÇ. DR. EYÜP AKARYILDIZ
MAK. MÜH. C. AHMET AKÇAKAYA
MAK. MÜH. MUAMMER AKGÜN
PROF. DR. MAHİR ARIKOL
PROF. DR. AHMET ARISOY
MAK. MÜH. UĞUR AYKEN
PROF. DR. Z. DURİYE BİLGE
DR. MUSTAFA BİLGE
MAK. MÜH. TURGUT BOZKURT
PROF. DR. AHMET CAN
YRD. DOÇ. DR. HANDAN ÇUBUK
PROF. DR. TANER DERBENTLİ
YÜK. MAK. MÜH. METİN DURUK
PROF. DR. EKREM EKİNCİ
MAK. MÜH. SERPER GİRAY
PROF. DR. ALİ GÜNGÖR
PROF. DR. HASAN HEPERKAN
MAK. MÜH. ALİ HAYDAR KARAÇAM
PROF. DR. HALUK KARADOĞAN
PROF. DR. ABDURRAHMAN KILIÇ
PROF. DR. OLCAY KINCAY
MAK. MÜH. LEVENT KIRKAYAK
MAK. MÜH. TUNÇ KORUN
DR. NURİ ALPAY KÜREKCİ
DOÇ. DR. EBRU MAHÇUHAN
PROF. DR. RÜKNETTİN OSKAY
DOÇ. DR. DERYA BURCU ÖZKAN
PROF. DR. RECEP ÖZTÜRK
PROF. DR. CEM PARMAKSIZOĞLU
DR. MUSTAFA KEMAL SEVİNDİR
PROF. DR. GALİP TEMİR
PROF. DR. MACİT TOKSOY
MAK. MÜH. İSMAİL TURANLI
MAK. MÜH. ÜZEYİR ULUDAĞ
MAK. MÜH. CAFER ÜNLÜ
PROF. DR. RECEP YAMANKARADENİZ
PROF. DR. TUNCAY YILMAZ
DOÇ. DR ZEHRA YUMURTACI

Bu dergide belirtilen görüşler yazarların kendine ait olup, hiçbir şekilde MMO'nun aynı konudaki görüşlerini yansıtmaz.

Tesisat Mühendisliği Dergisi Makale Yazım Kuralları

GENEL KURALLAR

- Makaleler MMO Ağ Evi'nde İnternet ortamında da yayınlanmaktadır.
- Makale metinleri ve özetleri üzerinde yer alan her türlü görüş ve düşünce ve yazım hatası açısından sorumluluk tamamen yazarlara aittir.
- Hakemler tarafından gerekli görüldüğünde yazarlara iletilmek üzere metinler ve özetler üzerinde bazı düzeltme, öneri ve katkılar getirebilirler.
- Makalelerde, bölümler (giriş, tanımlamalar, incelemeler, araştırmalar, gelişmeler, sonuçlar, şekiller ve değerlendirmeler vb.) bir bütünlük içinde olmalıdır.
- Makale dili Türkçe'dir. Makalelerde kullanılan dilin anlaşılabilir bir Türkçe olmasına dikkat edilmeli, yabancı dillerdeki sözcükler ve tümceler mümkün olduğu kadarıyla kullanılmamalıdır.
- Makalelerde kullanılan bütün birimler SI birim sisteminde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde farklı birim sistemindeki değerleri parantez içinde verilmelidir.
- Makalenin üslubu, formatı ve dili etkinlik yapısına ve mühendislik etiğine uygun olmalıdır.
- Makalelerde belirli bir grup, sınıf veya toplumu oluşturan tabakalardan herhangi birinin, firma veya firma topluluklarının menfaati ön plana çıkartılmamalı, bu konuda reklam ve propaganda yapılmamalıdır. Makalelerde herhangi bir firmanın, ürünün (veya sistemin), cihazın veya markanın reklamı yapılmamalıdır. Şekil, resim ve tablolarda ticari bir kuruluşun adı, logosu yer almamalıdır.

ÖZETLER VE MAKALE YAZIM KURALLARI

- Makaleler, Microsoft Word belgesi şeklinde Windows ortamında kullanılacak şekilde hazırlanacaktır.
- Makaleler solda 3,5 cm, üstte, altta ve sağda 2,5 cm boşluk bırakılmak suretiyle yazılacaktır.
- Makale metinleri, kaynaklar ve şekiller dâhil en fazla 10 sayfadan oluşmalıdır.
- Makale başlığı en fazla 15 sözcük veya iki satırı geçmeyecek şekilde oluşturulacaktır. Başlıklar 14 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak, soldan itibaren kelimeler büyük harfle başlayacak ve küçük harfle yazılacaktır.
- Başlığı takiben iki satır aradan sonra yazar isimleri, ad ve soyad şeklinde küçük harfle verilecek, yazarların çalıştığı kurumlar, yazara ait ORCID* bilgisi ve varsa e-posta adresleri yazar listesinin hemen altında açıklanacaktır.
- Yazar isimlerini takiben iki satır atlanarak Türkçe ve İngilizce özet verilecektir. Makale özetlerinde özet metni 9 punto italik Times New Roman yazı tipi ile yazılacaktır. Özet metni en fazla 200 sözcükten oluşacaktır.
- Makale özetini takiben bir satır boş bırakılacak ve anahtar sözcükler Türkçe ve İngilizce yazılacaktır.
- Makale metinlerinin tamamı 9 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılacaktır ve iki sütunda verilecektir. Makale metinleri satır aralığı 1 olacaktır. Paragraflar başlatılırken sol taraftan herhangi bir girinti boşluğu bırakılmayacak, paragraflar arasında yarım satır boş atlanacaktır. Paragraflar iki yana hizalı (justified) biçimde yazılacaktır.
- Makalelerde yer alan tüm resimler, çizimler ve program ekran görüntüleri metin içinde gömülü olacaktır. Şekil, tablo, grafik, resim ve formüllerin yerleşimi metin akışına uygun olarak metin içinde olmalı ve refere edilmelidir.
- Tablo içermeyen bütün görüntüler (fotoğraf, çizim, diyagram, grafik, harita vs.) şekil olarak isimlendirilmelidir.
- Makalelerde ana konu başlıkları 1., 2., 2.1., 2.1.1. vb. şeklinde numaralanacak, örneğin 1. bölüm altında yer alan başlıklar 1.1., 1.2. vb. şekilde yapılacaktır.
- Kullanılan semboller ve indisler kaynaklardan önce yer alacak, 8 punto ve italik olacaktır.
- Makalede geçen kaynaklar veya alıntılar [1], [2] vb. parantezler arasında yapılacak, makale sonunda "Kaynaklar" başlığı altında 1., 2. şeklinde verilecektir. Makaleler: [1] yazar(lar) soyadı, adının baş harfi, makalenin açık adı, derginin açık adı, cilt numarası, sayfa aralığı, basım yılı. Kitap: [2] yazar (editör) soyadı, adının baş harfi., kitabın açık adı, basım evi, basım yeri, basım yılı. Tez: [3] yazar soyadı, adının baş harfi, tezin açık adı, tezin yapıldığı üniversite, tezin basıldığı yer/ülke, basım yılı düzeninde yazılacaktır.
- Makale metinlerinin elektronik kopyaları e-posta ve Online Makale Yönetim Sistemi üzerinden (http//omys.mmo.org.tr/tesisat) gönderilmelidir.

* Bilindiği üzere, araştırmacı, bilim insanı ve akademisyenlerin bilimsel çalışmalarındaki isim/kurum benzerliklerinden kaynaklanan bazı sorunların önüne geçilebilmesi amacıyla araştırmacı kimlik numaraları kullanılmaktadır. TÜBİTAK ULAKBİM ve YÖK arasındaki işbirliği ile yürütülen çalışmalar kapsamında, ORCID bilgisinin kullanılması karar verilmiştir. Bu bağlamda, makale yazarlarının uluslararası geçerliliği de bulunan "ORCID" bilgisine makalelerde yer verilmesi gerekmektedir. ORCID, Open Researcher ve Contributor ID'nin kısaltmasıdır. ORCID, Uluslararası Standart Ad Tanımlayıcı (ISNI) olarak da bilinen ISO Standardı (ISO 27729) ile uyumlu 16 haneli bir numaralı bir URL'dir. http://orcid.org adresinden bireysel ORCID için ücretsiz kayıt oluşturabilirsiniz.

SUNUŞ

Merhaba Değerli Meslektaşlarımız,

Odamızın kuruluşunun 64. yılına girmiş bulunuyoruz. Odamızın bugünlere gelmesinde emeği, katkısı bulunan herkese, bütün örgütlü üyelerimize teşekkür ediyoruz.

Odamızın kuruluşunun yıldönümlerinde düzenlenen; emeğin, mesleki geçmişin ve deneyimin takdir edilip onurlandırıldığı Geleneksel Gecelerimiz dolayısıyla da, 63 yıllık tarihimize tanıklık eden, Odamızı bugünlere taşıyan ve meslekte 25. yıl, 40. yıl, 50. yılını dolduran bütün ağabeylerimiz ve meslektaşlarımızı emeklerinden dolayı bir kez daha yürekten kutluyoruz.

* * * *

46. Dönem Çalışma Programı'nda belirlenen merkezi etkinliklerimizden dördü Kasım, Aralık aylarında başarıyla gerçekleştirildi.

"Endüstriyel Dönüşümde Endüstri ve İşletme Mühendislerinin Rolü" ana temalı XI. EndüstriİşletmeMühendisliği Kurultayı, Odamız adına İstanbul Şube sekretaryalığında 17-18 Kasım 2017 tarihlerinde meslektaşlarımız, öğrencilerimiz, ilgili kurum ve kuruluşların temsilcilerinin katılımıyla gerçekleştirildi. Kurultayımızı 214 katılımcı izledi.

Odamız tarafından Ankara Şube yürütücülüğünde düzenlenen Kaynak Teknolojisi X. Ulusal Kongre ve Sergisi, 17-18 Kasım 2017 tarihlerinde gerçekleştirildi. Kongre'nin teması bu yıl üç başlıkta toplandı. "Tahribatsız Muayene, Kaynak Teknolojileri Uygulamalarında Personel Eğitimi, Kaynak Teknolojisinin Toplumsal Kullanımına Yönelik Uygulamaları, Kalite ve Bakımları" olarak belirlenen ana temalar ışığında kongrede, yeni teknolojik gelişmelerin uygulamaya geçirilmesi, endüstrinin talepleri, yaşanan sorunlar ve olası çözüm önerilerinin ortaya konulduğu bir tartışma ortamı oluşturulması hedeflendi. Kongre'de 7 ayrı oturumda 27 bildiri sunuldu.

Odamız İstanbul ve İzmir Şubeleri yürütücülüğünde düzenlenen VIII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi (HPKON), 22-25 Kasım 2017 tarihleri arasında İzmir'de gerçekleştirildi. Üç gün süren Kongrede 17 oturumda 45 bildiri sunuldu.

IX. Ulusal İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi, Odamız adına Adana Şube yürütücülüğünde, 30 Kasım-02 Aralık 2017 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Üç gün süren Kongre'de 27 oturumda 56 sunum yapıldı.

TMMOB adına Odamız yürütücülüğünde düzenlenen TMMOB Sanayi Kongresi 2017, "Sanayisizleşen Türkiye ve Mühendisler" temasıyla 8-9 Aralık 2017 tarihlerinde Ankara'da gerçekleştirildi. İki gün süren Kongre, Küresel Eğilimler ve Türkiye başlıklı açılış oturumu ile başladı. Kongre'nin birinci gününde Büyüme, İstihdam, Gelir Dağılımı ve Teşvikler; Sanayinin Genel Sorunları: İstihdam, Finansman ve Mekân oturumları yapıldı. İkinci gün Oda Alan Araştırmaları Mühendisler: Fabrika, Toplumsal Yaşam ve Kent oturumunda Ergene, Gaziantep ve Konya'da yapılan araştırmaların sunumları yapıldı. Oda Araştırma ve Raporları oturumunda; Makina İmalat Sanayi Sektör Araştırması, KOBİ'ler, OSBB'ler KSS'ler ve Teknoparklar Oda Raporları sunuldu. Daha sonra Teknoloji ve Mühendislik ile Sanayileşme, Kalkınma ve Mühendisler başlıklı oturumlar yapıldı. Kongre sonuç bildirisi, önümüzdeki günlerde kamuoyuna açıklanacak. Kongre'ye sunulan bildiriler ve panel bant çözümleri de ayrıca kitap olarak basılarak kamuoyunun kullanımına sunulacak.

* * * *

Şimdi sırada, bilindiği üzere Şubelerimizin genel kurulları var. Şube genel kurullarımız Ocak ayının 1314'ünde çoğunluksuz olarak toplanacak. Hazırlık sürecinin ve genel kurullarımızın; örgütlülüğümüzü ve birliğimizi pekiştirme, mesleki kamusal-toplumsal sorumluluklarımızı direngen bir şekilde savunma platformları olması gerektiği düşüncesiyle, bütün üyelerimizi genel kurullarımızı demokrasi şölenine çevirmeye çağırıyoruz.

* * * *

TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi yürütücülüğünde, makina mühendisliği alanında uluslararası nitelikte çalışmalarıyla tanınan Necdet Eraslan`ın adını ölümsüzleştirmek için iki yılda bir düzenlenen Necdet Eraslan Proje Yarışması`nın sekizincisi 16 Aralık 2017 tarihinde ''Kontrol Otomasyon ve Robotikte Yeni Teknolojiler'' konusuyla düzenlenecek.

TMMOB Mühendislik Mimarlık, Şehir Plancılığı Eğitimi Sempozyumu da 22-23 Aralık 2017 tarihlerinde Ankara'da İnşaat Mühendisleri Odası Teoman Öztürk Salonu'nda düzenlenecek. İki gün sürecek olan sempozyumda altı oturum ve mühendislik, mimarlık, şehir plancılığı eğitiminin sorunlarının ve çözüm önerilerinin tartışıldığı bir panel de yapılacak.

* * * *

Makina Mühendisleri Odası olarak her ay iktisatçı-yazar Mustafa Sönmez'in katkısıyla hazırladığımız sanayinin sorunları bülteninin otuz üçüncüsü; "Dövizde Tırmanma ve Sanayide Yavaşlama" başlığı altında yılın son çeyreğinin değerlendirmesini ve sanayiyi bekleyen tehlikelere dikkat çekiyor.

Basılı olarak dağıtılan bültene Odamızın internet sitesinden de ulaşmak mümkündür.

* * * *

Bu sayımızda; *Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Binasının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Mutfaklarda Yangın Tehlikesi ve Bakımın Önemi, Değişik Bina Modelleri İçin Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doğal Soğutma Sisteminin Bir Endüstriyel Soğutma Prosesinde Enerji Verimliliği ve Maliyet Etkisinin İncelenmesi, Enerji Uygulamalarında Kullanılan Nanoakışkanların Isıl Özelikleri, Güneş Enerjili Havalı Kollektörlerde V Dizilimli Çubukların Termal ve Termohidrolik Verime Etkisi, Bina Kabuğundaki Opak ve Saydam Bileşenlerin Enerji Tüketimine Etkisinin Analizi, İnverter Klimalar İle Sabit Hızlı Klimaların Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması, Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel Ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı İle İncelenmesi, Türkiye'nin Yosundan Enerji Üreten İlk Konut Tasarımı ve Uygulaması Algaetect Evi* başlıklı makaleler yer almaktadır.

* * * *

Tesisat Mühendisliği Dergisi elektronik ortamda, www.mmo.org.tr web sayfamızda yer alan "Yayınlar" bölümünden takip edilebilmektedir.

Esenlik dileklerimizle.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu
Aralık 2017

Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Fatih ALKAN
Mak. Müh.
Yıldız Teknik Üniversitesi
SAINA Mühendislik
İstanbul

N. Alpay KÜREKCİ
Arş. Gör. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi, İstanbul
kurekci@yildiz.edu.tr

Handan ÇUBUK
Yrd. Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi, İstanbul
hcubuk@yildiz.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan yaklaşık 11.000 m² inşaat alanına sahip örnek bir bina için, 5 ayrı HVAC sistemi BIM platformunda modellenmiştir. Sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Tasarımlar Autodesk Revit programı ile 3 boyutlu olarak çizilmiş, sistemlerin enerji analizleri ise HAP programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada binada kurulması planlanan değişken hava debili sistem + radyatör sistemi ve alternatif olarak düşünülen 4 farklı sistem arasında değerlendirme yapılmıştır. Bu sistemler sırasıyla değişken hava debili sistem + radyatör, su kaynaklı ısı pompası, ısı geri kazanımlı VRF/VRV, ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemleridir. Seçilen her sistem için enerji ihtiyacı, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri karşılaştırılmış ve sonuçlara göre kısa, orta ve uzun vade de avantajlı sistem önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler
Isıtma-Soğutma Sistemleri, HVAC Sistem Karşılaştırması, Ekonomik Analiz.

Comparison of Heating-Cooling Systems for a Sample Building

ABSTRACT

In this study, for a sample building with 11.000 m² area in Istanbul, 5 common HVAC systems have been designed and modelled in BIM platform and the initial and operation cost of the systems were compared using energy analyse models to find optimum system. The sample building is located in İstanbul with three floors. All the design process have been done using Autodesk Revit for each system and energy analysis have been performed using HAP program. The first system is the existing system which was variable air flow system (VAV) + radiator, the other four systems are water source heat pump, heat recovery VRF/VRV, heat pump VRF/VRV + radiator and 4 pipe fan coil system respectively. In all 5 systems, energy consumption, initial investment cost, operation and maintenance costs are compared and according to the results optimum systems were proposed for short, medium and long terms.

Keywords
Heating-Cooling Systems, HVAC Systems Comparison, Energy Analysis.

Geliş Tarihi : 01.10.2017
Kabul Tarihi : 07.11.2017

Alkan, F., Kürekci, N. A., Çubuk, H., Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, s. 162, sf. 5-19, 2017.

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların yakın bir zamanda biteceği bir gerçektir. Kalan fosil yakıtlar her geçen gün değerlenmektedir. Bu durumda fosil yakıtların verimli kullanımı önem kazanmaktadır. Aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, günümüzde enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir. Türkiye'de kullanılan enerjinin %33'ü ısıtma enerjisi olarak kullanılmaktadır [1]. Enerji sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de stratejik ve makro bir kavramdır. Ülkemizin enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı açıktır; enerji ihtiyacının %76'sı [2] ithal edilmektedir. Ayrıca bu ihtiyaç her sene %4 oranında artış göstermektedir [3, 4].

Toplam bina enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı sağlıklı ve konforlu kapalı ortamların oluşmasını amaçlayan HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning ısıtma, havalandırma ve soğutma) sistemlerine atfedilmektedir. [5].

Binalardaki HVAC sistemleri büyük miktarda enerji tüketen birçok alt bileşenden oluşmaktadır. Son yıllarda enerji kaynaklarının azalması ve çevresel etkiler nedeniyle enerji tüketimi çok önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu nedenle HVAC uygulamalarında enerji tüketimi konusu, termodinamik ve ekonomik bakış açısından vazgeçilmez bir gereklilik haline gelmiştir [6].

HVAC sistemleri, bir binada insan konforuyla doğrudan bağlantı kuran en önemli parçadır. Modern HVAC sistemleri, kullanıcıya en iyi konforu sağlamak için sıcaklık, nem ve iç hava kalitesi gibi tüm parametreleri optimize eder. İnsanın rahatlığının yanı sıra kurulum, bakım ve işletme maliyeti, verimlilik, kullanılabilirlik ve sistem kontrol yöntemi gibi bazı diğer önemli faktörler de dikkate alınmalıdır [7].

Bu sebeplerden dolayı binalar için sadece ısıtma soğutma ihtiyacını karşılayacak sistemler yerine, bunu aynı zamanda en verimli ve her açıdan optimum şekilde yapacak sistemi de bulmak, çok büyük önem kazanmaktadır.

Bu tarz çalışmalar genelde sadece ısıtma, soğutma ya da havalandırma sistemleri baz alınarak yapılmaktadır. Sistem karşılaştırma çalışmaları genelde üretici firmalar tarafından, sistemlerin belli iyi noktaları ön plana çıkartılarak yapılmaktadır. Bu konuda yapılacak bağımsız çalışmalar sektör açısından önem taşımaktadır.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Gustafsson vd. [8], üç yenilikçi HVAC sistemini; (A) ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma ve mikro ısı pompası, (B) egzoz havasından suya ısı pompası ve fan coil ünitelerini, (C) havadan suya ısı pompası ve fan coil ünitelerini, referans bir sisteme; (D) egzoz havasından suya ısı pompası ve panel radyatörlere göre enerji performansını karşılaştırmak için dinamik bir simülasyon kullanmışlardır. A sistemi MATLAB simulink ile, B ve C sistemleri TRNSYS 17 programı ile, referans sistemi olan D sistemi ise her iki programla da modellenmiştir. Çalışmada A sisteminin düşük ısıtma talebi için, B sisteminin ise yüksek ısıtma talebi için en iyi sistem olduğu belirtilmiştir.

Wang vd. [9], (A) direkt genleşmeli split sistem, (B) hava kaynaklı ısı pompası ve (C) merkezi kazan ve soğutucu akışkan ile birlikte su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin enerji performanslarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma farklı iklim koşulları ve işletme koşulları altında yapılmıştır. Hava kaynaklı ısı pompası, ekipman verimliliği açısından tüm senaryolarda en iyi performansı sergilemiştir. Soğuk iklimlerde su kaynaklı ısı pompasının direkt genleşmeli split sistemine göre daha iyi performans sergilediği, ancak sıcak iklimlerde daha kötü performans sergilediği belirtilmiştir.

Marini [10], toplam 1050 m²'lik alana sahip, 15 daireye bölünmüş 3 katlı bir bloktan oluşan düşük enerji tüketen bir konut binasında, 5 farklı HVAC sisteminin 3 farklı iklim koşuluna göre performanslarını karşılaştırmıştır. Ayrıca her 3 iklim için, yirmi yıllık bir tekno-ekonomik analiz gerçekleştirmiş olup, yer altı suyu ısı pompası sisteminin 9 yıl sonra ekonomik açıdan uygulanabilir hale geldiği gözlemlenmiştir.

Bir diğer çalışmada Bojic vd. [11], Sırbistan'ın Kragujevac kentinde bulunan bir binanın ısıt-

ması ve soğutması için kullanılan üç sistemin enerji tüketimini, enerji maliyetlerini ve çevre üzerindeki etkisini bir simülasyonunda değerlendirmiştir. İncelenen sistemler: (A) ısıtma için doğal gaz kazanlı bir su ısıtma sistemi ve konveksiyonlu taban ısıtıcıları, soğutma için klima, (B) ısıtma için doğal gaz kazanlı bireysel ısıtıcılar ve soğutma için chiller grubu, (C) ısıtma ve soğutma için havadan havaya ısı pompasıdır. Simülasyonlardan sonra ilk araştırılan sistemin en yüksek enerji verimliliğine, en iyi ekonomiye ve en düşük çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Aynur vd. [12], soğutma sezonu için VAV (değişken hava hacmi) ve VRF (değişken debili soğutucu akışkan) sistemlerini karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmada, VRF sisteminin VAV sistemine göre sistem yapılandırmasına, iç ve dış mekan koşullarına bağlı olarak %27,1-57,9 enerji tasarrufu potansiyeli vaat ettiği bulunmuştur.

Liu ve Hong [13], VRF ve GSHP (toprak kaynaklı ısı pompası) sistemleri arasındaki enerji verimliliğinin ön karşılaştırılmasını yapmıştır. Bilgisayar simülasyonunda seçilen iki ABD iklim koşulunda, küçük bir ofis binasının şartlandırılmasında GSHP sisteminin hava kaynaklı VRF sisteminden daha fazla enerji verimliliğine sahip olduğunu bulunmuştur. Genel olarak GSHP sistemi, özellikle bina ısıtma yükü ihtiyacının büyük olduğu durumlarda daha verimli bir sistemdir. Isıtma yükü ihtiyacının az olduğu durumlarda ise, yine GSHP sisteminin daha verimli olduğu, ama elde edilen tasarruf miktarının düşük oranlarda olabileceği belirtilmiştir.

Karşılaştırma çalışmalarında bina kullanım senaryosu bile çok önemlidir ve verimli sistemi verimsiz sistem yapabilir. Zhou vd. [14], soğutma koşullarında VRF sisteminin enerji tüketimini, değişken hava hacmi (VAV) sisteminin yanı sıra, fan coil + taze hava (FPFA) sisteminin olduğu geleneksel iklimlendirme sistemiyle karşılaştırmıştır. Genel bir ofis binası için farklı ısıtma, soğutma ve havalandırma senaryoları hazırlanmıştır. Simülasyon sonuçlarında ise VRF sisteminin enerji tasarruf potansiyelinin, VAV sistemine göre yaklaşık %22,2, FPFA sistemine göre ise yaklaşık %11,7 seviyelerinde olduğu bulunmuştur.

Mevcut literatür incelendiğinde, yapılan çalışmalarda çoğunlukla konut ve ofis binalarında çeşitli iklimlendirme sistemlerinin performans, verimlilik ve ekonomiklik açıdan kıyaslandığı görülmektedir. Bu çalışmada ise ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin bir arada olduğu, Türkiye şartları için en çok tercih edilen sistemler karşılaştırılmıştır. İstanbul ilinde bulunan bir kütüphane ve bilgi merkezi binasında modellenen VAV+radyatör, su kaynaklı ısı pompası, ısı geri kazanımlı VRF, ısı pompalı VRF + radyatör ve 4 borulu fan coil sistemleri için enerji tüketimi, verimlilik, ilk yatırım ve işletme maliyetleri bakımından karşılaştırma yapılarak bu tarz yapılar için zaman ve şartlara göre optimum sistem önerisinde bulunulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. Bina Hakkında Genel Bilgiler

Örnek bina İstanbul'da olup 3500 m² taban alanına sahiptir. Toplam 3 kattan oluşan binada şartlandırılan alan yaklaşık 10.000 m²'dir. Kat yüksekliği 4,5 m olup, bina toprak zemine oturmaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi, duvarların büyük bölümünde cam kaplamalar mevcuttur.



Şekil 1. Revit ile modellenen bina mimarisi

Binada kullanılan yapı malzemelerinin toplam ısı transfer katsayıları, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Toplam Isı Transfer Katsayıları

Malzeme	U (W/m²K)	SHGC
Dış Duvar	0,524	-
Çatı	0,420	-
Pencere	2	0,4

2.2. Tasarım Koşulları

Isıtma-soğutma yük hesapları HAP (Hourly Analysis Program) ile yapılmıştır. Programda İstanbul ili dış hava şartları olarak, Tablo 2'de verilen değerler girilmiştir [15].

Tablo 2. HAP'da İstanbul İçin Belirlenen Dış Hava Şartları

	Sıcaklık
Yaz KT	33 °C
Yaz YT	24 °C
Günlük Sıcaklık Farkı	10,5 °C
Kış KT	-3 °C
Kış YT	-5,7 °C

İç hava koşulları için yaz döneminde 24 °C, kış döneminde ise 20 °C [16] olarak alınmıştır.

Aydınlatma yükü 15 W/m² ve elektrikli ekipman gücü 16 W/m² olarak alınmıştır. İnsan sayısı memur odası gibi ofis sayılabilecek yerlerde 8 m²/kişi, kitaplık, çalışma odaları gibi diğer kısımlarda ise 10 m²/kişi; insanlardan gelen duyulur ısı 67,4 W/kişi, gizli ısı 35,2 W/kişi olacak şekilde alınmıştır. Aydınlatma ekipmanları ile mekanik ekipmanların kullanım programları ve bina doluluk oranları ASHRAE standartlarına göre alınmıştır [17].

Bina yarı dairesel bir yapıda olduğu için, mimariye de uygun olacak şekilde her kat 3 zona ayrılmıştır. Toplam 3 kat için 9 farklı zon yapılmıştır. HAP ile hesaplanan binanın toplam ısıtma, soğutma yükleri ve gerekli taze hava miktarı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Hesaplanan Isıtma-Soğutma Yükleri ve Taze Hava Miktarı

Bina İhtiyaçları	Toplam Değer
Isıtma Yükü	590.000 W
Soğutma Yükü	759.000 W
Taze Hava Miktarı	25.000 m³/h

2.3. HVAC Sistemleri

Dünyanın her yerinde, farklı iklimlere sahip olan bölgelerde insan konfor şartlarını sağlamak için birçok havalandırma, ısıtma, soğutma (HVAC) sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin bir çoğu o iklimlerin şartlarına, yapıların mimari durumuna ve bölgedeki insanların kültürel ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde değişiklik göstermekte ve gelişmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'de sıklıkla kullanılan sistemlerin işletme ve ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Kurulması planlanan sistem ile diğer sistemlerin özellikleri Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Tasarlanan HVAC Sistemleri

	Isıtma	Soğutma	Havalandırma
1. Sistem VAV + Radyatör	Doğal Gazlı Kazan	Hava Soğutmalı Chiller	Sulu Bataryalı Klima Santrali
2. Sistem Su Kaynaklı Isı Pompası	Doğal Gazlı Kazan	Soğutma Kulesi	Su Kaynaklı Rooftop
3. Sistem Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV	Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV	Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV	DX Bataryalı Klima Santrali
4. Sistem Isı Pompalı VRF/VRV + Radyatör	Doğal Gazlı Kazan	Isı Pompalı VRF/VRV	DX ve Sulu Bataryalı Klima Santrali
5. Sistem 4 Borulu Fan coil	Doğal Gazlı Kazan	Hava Soğutmalı Chiller	Sulu Bataryalı Klima Santrali

2.3.1. Değişken Hava Debili Sistem (VAV) + Radyatör Sistemi

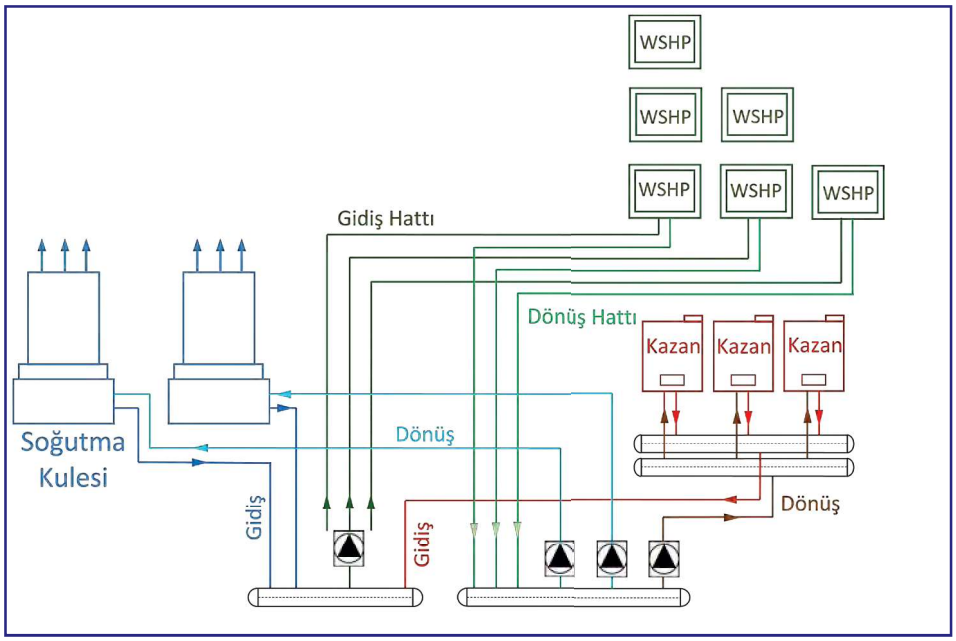
Binada kurulması planlanan sistemdir. Isıtma için radyatör ve soğutma için VAV sistemi kullanılması düşünülmüştür. Sistemde ısıtma, doğal gazın kazanda yakılması ile elde edilen sıcak suyun, radyatörlerde dolaştırılması ile gerekli ısıtma talebinin karşılanması şeklinde yapılmaktadır. Soğutma ise merkezi bir klima santralinde şartlandırılan havanın kanallar yardımıyla soğutulacak bölgelere taşınması, menfez ve anemostatlardan mahallere üflenerek, ortamlardan ısı çekilmesi şeklinde yapılmaktadır. VAV sisteminde, besleme hava sıcaklığı sabittir. Fakat taşınan besleme havasının hacmi, şartlandırıldığı bölgedeki duyulur yüke bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tek bir VAV cihazı, her biri değişik ısıtma ve soğutma ihtiyacına sahip olan birçok bölgeye hizmet verebilir. Her bölge termostat tarafından kontrol edilir ve termostat bölgeye verilen besleme havası miktarını değiştiren bir damperi kontrol eder. Mevcut sistemde soğutma, chiller cihazı tarafından sağlanmaktadır.

Bu nedenle VAV sistemi, bir binanın yük özellikleri değişken olan bir katının tamamında konfor sağlamak için CAV (sabit hava debili) sistemine göre çok daha uygundur. Besleme havası terminalinden gelen havanın hacmi değişken olduğu için, VAV için özel olarak tasarlanmış bir terminal kullanmak gerekir. VAV sistemi, sabit hacimli bir terminalde düzgün çalışmayabilir [14].

Tek kanallı VAV sisteminin dezavantajı, geçiş mevsimlerinde tek VAV cihazına bağlı birden fazla mahal var ise, aynı anda ısıtma ve soğutma yapma imkanı olmamasıdır.

2.3.2 Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

İkinci olarak incelenecek sistem, su kaynaklı ısı pompası (WSHP-water source heat pump) sistemidir. Bu sistemde ısı yükünü taşıyan akışkan sudur. Sistemde gaz çevrimi her iç ünitenin içinde yer almaktadır. Her iç ünitenin içinde kondenser (yoğuşturucu), genleşme vanası, evaporatör (buharlaştırıcı) ve kompresör elemanları yer almaktadır. Bu nedenle sistemin iç üniteleri diğer sistemlere göre daha büyük, maliyetli ve gürültülü olmaktadır. Sistemin her yerinde 25-30 °C aralığında su dolaşmaktadır. Kış döneminde sıcak su kazan tarafından doğal gaz yakılarak üretilmekte olup, yaz döneminde ise soğuk su soğutma kulelerinden elde edilmektedir.



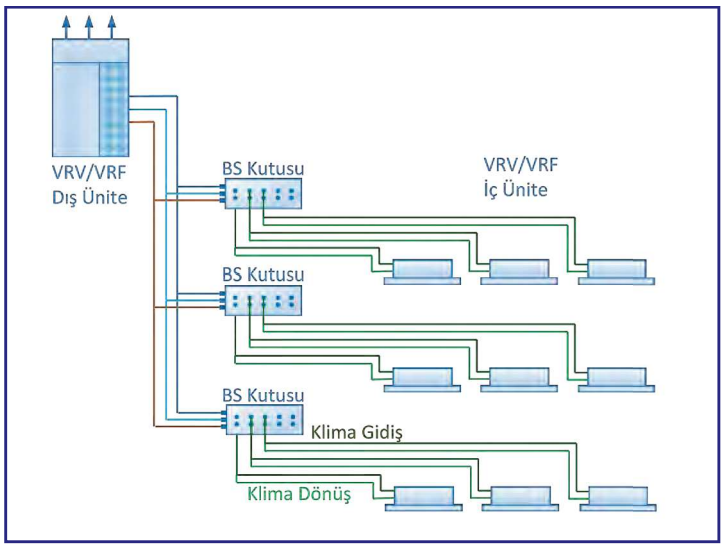
Şekil 2. Su kaynaklı ısı pompası sistemi şematik çizimi

Bu sistemin en büyük avantajlarından birisi, daha az boru kullanılması ve sistem içinde dolaşan suyun sıcaklık değerlerine göre, bina içinde yalıtıma ihtiyaç duyulmamasıdır. Diğer bir avantajı ise; bahar aylarında aynı anda binanın bir bölümünde ısıtma, diğer bölümünde soğutma istenirse, soğutma ihtiyacı olan mahallerden çekilen ısı enerjisi, ısıtma ihtiyacı olan mahallere verilerek tasarruf yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı sistemin genel olarak işletme maliyeti, diğer sistemlerden daha uygun olmaktadır.

2.3.3. Isı Geri Kazanımlı VRV/VRF Sistemi (3 Borulu)

Üçüncü sistem olarak VRF/VRV (Variable Refigerant Flow / Variable Refigerant Volume) değişken akışkan debili klima sistemi seçilmiştir. Sistemde genellikle soğutucu akışkan olarak R-410A kullanılmaktadır. Bu sistemde binanın tamamında su yerine soğutucu akışkan dolaşmaktadır. VRF/VRV sistemleri 2 borulu veya 3 borulu (ısı geri kazanımlı) VRF/VRV olarak tasarlanmaktadır. 2 borulu VRF/VRV'de bir dış ünite grubuna bağlı olan tüm iç üniteler, eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma yapma imkanlarına sahip değildirler. 3 borulu olan ısı geri kazanımlı sistemde ise, iç ünitelerle dış ünite arasına yerleştirilen dağıtım kutusu (BS Kutusu) yardımıyla aynı dış üniteye bağlı olsalar dahi bir odada soğutma, diğer odada ısıtma yapılabilmektedir.

VRF/VRV'nin avantajlarının başında verimli ve etkin çalışmasını sayabiliriz. Sistemin en büyük eksikliklerinden birincisi: sistemin herhangi bir kısmında tadilat gerçekleştirildiğinde aynı dış üniteye bağlı olan tüm cihazların devre dışı kalması, ikincisi ise tadilat sırasında sistemdeki soğutucu akışkanın bir kısmının veya tamamının boşaltılmak zorunda olmasıdır. Diğer dezavantaj ise, hava kaynaklı olmasından dolayı kış aylarında dış hava sıcaklığının tasarım şartlarının altına inmesi durumunda, verim kaybı oluşması ve sistemin gerekli ısıtma kapasitesini sağlayamamasıdır. Dış hava şartlarından etkilenmeyecek bir sistem için, su kaynaklı VRF/VRV kullanılabilmektedir. Ancak bu çalışmada, daha çok tercih edilmesi nedeniyle hava kaynaklı VRF/VRV seçilmiştir. 3 borulu sistemde fazla boru kullanımı ve BS kutuları sebebiyle ilk yatırım maliyeti fazladır ancak eş zamanlı ve ısı geri kazanımlı ısıtma ve soğutma yapma imkanından dolayı 2 borulu sisteme göre işletme maliyetleri daha düşük olmaktadır. Fan coil ve su kaynaklı ısı pompası sistemine göre bu sistemin bakımı ve kontrolü çok daha kolaydır ve o yüzden küçük binalarda ve lokal çözümler için en uygun sistem olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Isı geri kazanımlı VRF/VRV sistemi (3 borulu) şematik çizimi

2.3.4. Isı Pompalı VRF/VRV (2 Borulu) + Radyatör Sistemi

Çalışmamızda kullanacağımız dördüncü sistem 2 borulu VRF+radyatör sistemidir. Bu sistem, Türkiye'de bir çok binada aktif olarak kullanılan ve en çok tercih edilen sistemlerden birisidir. VRF/VRV'nin ısıtmada handikapları olduğu için, ısıtma döneminde kazanda doğal gaz yakılarak sıcak su üretilmesi daha uygun ve güvenilir olmaktadır. Dış hava şartlarına bakılmaksızın istenilen ısıtma ihtiyacı, kazan-radyatör sistemi ile sorunsuz bir şekilde sağlanmaktadır. Yaz döneminde soğutma ihtiyacı ortaya çıktığında ise 2 borulu VRF/VRV sistemi devreye girerek, gerekli talepleri karşılamaktadır.

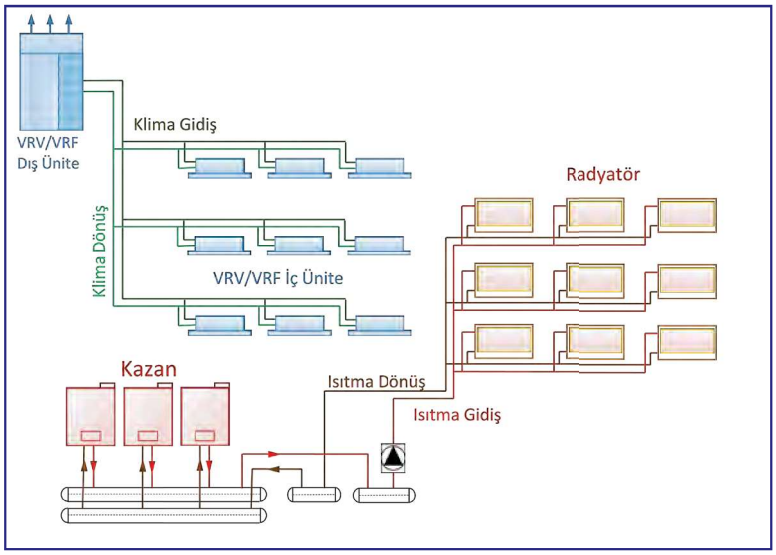
Bu sistemin olumsuz yönlerinden birisi, mevsim geçiş dönemlerinde ısıtma, soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için, kazan ve klima dış ünitesinin aynı anda çalıştırılmasıdır. Bu da işletme maliyetini yükseltmektedir. Ayrıca sistemde radyatörlerin olması, radyatörlerin mimaride uygun konumlara yerleştirilme mecburiyeti, mimari açıdan diğer sistemlere göre dezavantajlıdır.

2.3.5. 4 Borulu Fan Coil Sistemi

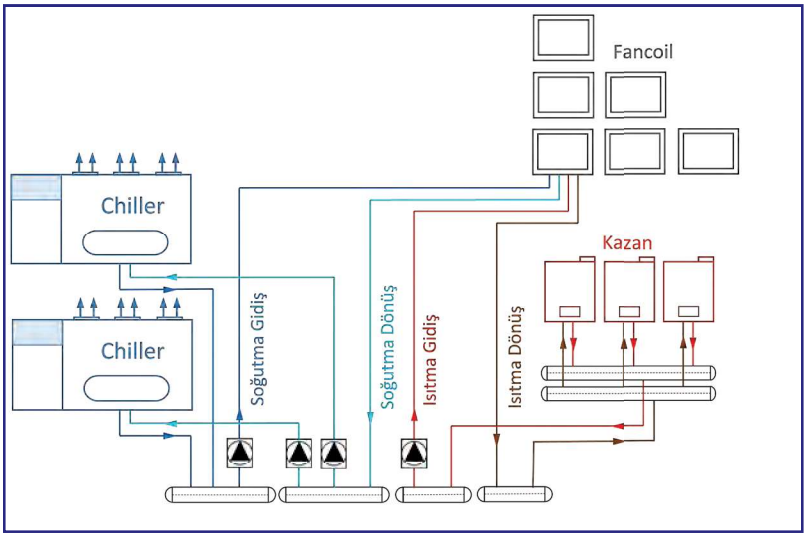
Tasarlanan son sistem ise, uzun zamandır kullanılan HVAC sistemlerinden birisi olan chiller-kazan-fan coil sistemidir. Bu sistemde binanın içinde ısı yükünü taşıyan akışkan sudur. Sistemde genel olarak ısıtma döneminde 50-60°C, soğutma döneminde ise 7-12°C sıcaklığında su dolaşmaktadır. Isıtma tarafında ana enerji kaynağı kazandır. Soğutma tarafında ise çhiller grubu ile soğuk su üretilmektedir. Chiller tarafında genel olarak en çok tercih edilen sistemlere baktığımızda, su soğutmalı chiller ve hava soğutmalı chiller grupları ön plana çıkmaktadır. Su soğutmalı sistemler için chillerin yanında soğutma kulesi ihtiyacı da bulunmaktadır. Bu sistemlerin dışında absorbsiyonlu chiller ve diğer farklı chiller grupları da mevcuttur. Bu çalışmada daha çok tercih edilen hava soğutmalı chiller baz alınarak tasarım yapılmıştır.

Fan coil sisteminde 2 borulu ve 4 borulu olmak üzere 2 ana tip mevcuttur. 2 borulu sistemde kazan ya da chillerden sadece birisi devrede olabileceği için, aynı zamanda ısıtma ve soğutma yapma imkanı bulunmamaktadır.

Eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma talepleri olursa, bu ihtiyaçları karşılamak için 4 borulu fan coil sistemi kullanılabilir. 4 borulu fan coil sisteminde, fan coile giren ve çıkan toplam boru sayısı 4 olduğu için, aynı zamanda kazan ve chiller devrede olabilir. Fan coil bulunduğu mahalin ihtiyacına göre ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılabilir. Diğer alternatiflere göre aynı kali-



Şekil 4. Isı pompalı VRF/VRV (2 borulu) + radyatör sistemi şematik çizimi



Şekil 5. Dört borulu fan coil sistemi şematik çizimi

teyi sağlayabilmesi ve birçok yapıda eş zamanlı olarak hem ısıtma ve soğutma ihtiyaçları ortaya çıktığı için, bu çalışmada 4 borulu fan coil sistemi seçilmiştir. Bu sistemin ilk yatırım maliyeti, diğer sistemlere göre çok daha düşüktür ve sulu bir sistem olduğu için kurulum ve tadilat işlemleri çok daha kolay gerçekleştirilmektedir. Bu sistemin en büyük dezavantajlarından birisi, eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma ihtiyacı talep edildiği dönemlerde ısı geri kazanımı yapamaması, diğeri ise fan coil ünitelerini yerleştirmek için mahal içinde bir yer ayrılmasıdır.

2.4. Maliyet Analizleri

Sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırılması için, maliyet analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu analizi yapabilmek için Bugünkü Değer Metodu kullanılmıştır. Sistemlerin kurulum maliyetinin yanı sıra, kullanım süreleri boyunca devam eden işletme ve bakım masraflarını, bugünkü değerlerine çekerek toplam maliyetler bulunmuştur.

Bugünkü değer, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$BD = \frac{1}{(1+i)^N} \cdot A \qquad (1)$$

Burada N yıl, i faiz oranı, A harcanan para ve BD ise N yıl sonra harcanan paranın bugünkü değerini göstermektedir. Birim fiyatlar dolar olarak alındığı için, Amerikan dolarının son 10 yıllık ortalama faiz değeri kullanılmıştır.

Tablo 5. Faiz, Kur ve Birim Fiyatlar

Faiz oranı (i) %	2,2
Dolar/TL Kuru	1 $ = 3,5 TL
Doğal Gaz Birim Fiyatı	0,118 $/kWh
Elektrik Birim Fiyatı	0,04 $/kWh

3. HESAPLAR ve DEĞERLENDİRME

Binalarda istenilen konfor şartlarını sağlamak için birçok ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi mevcuttur. Bina için alternatif olan bu sistemlerden bir çoğu, istenilen konfor şartını sağlamakta sorun yaşamayacaktır. Bu durumda önemli olan, konfor şartını sağlayan sistemler içinde bina için en uygun olanını bulmaktır. Binanın mimari yapısının, binaya uygun sistemin belirlenmesinde kriterlerden birisi olduğu unutulmamalı, alternatif sistemler arasında bina yapısına en uygun sistem seçilmelidir. Ayrıca binanın kullanım amacına ve ömrüne göre de seçim kriterleri değişiklik gösterebilir. Genelde binalar

inşa edilirken, yapı ile ilişiği olmayan bir firma, ilk yatırım maliyetine göre sistem seçimini yapmaktadır. Bu durumda işletme ve bakım maliyetleri pek dikkate alınmadığı için, bina kullanıcılarına fazla ve düzenli olacak şekilde masraf gideri eklenmiş olmaktadır. Ancak binayı yapan firma, aynı zamanda binayı kullanacak ya da işletecek ise, seçim kriterini bina ömrü boyunca işletme ve bakım maliyetlerini de göz önüne alarak yapmaktadır. Doğru olan, bu maliyetleri her koşulda göz önüne alarak seçim yapılmasıdır.

Aşağıdaki tablolarda sistemlerin ilk yatırım maliyetleri görünmektedir. İlk yatırım maliyetleri Türkiye piyasasına göre ve liste fiyatları üzerinden hesaplanmıştır. Birçok binanın yapım aşamasındaki satın alma süreçlerinde daha uygun fiyatlar ile ekipmanlar temin edilebilir, ancak karşılaştırma sonuçları etkilenmemesi adına tüm sistemlerde liste fiyatları kullanılmıştır.

Tablo 6. Birinci Sistemin İlk Yatırım Maliyeti

1. VAV (Değişken Hava Debisi) - Radyatör	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Hava Soğutmalı Chiller)	82.000 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	44.427 $
İç Üniteler (VAV), Radyatör, Borulama	69.953 $
Havalandırma (Klima Santrali, Kanallar ve Menfezler)	321.000 $
	517.380 $

Tablo 7. İkinci Sistemin İlk Yatırım Maliyeti

2. WSHP (Su Kaynaklı Isı Pompası)	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Soğutma Kuleleri)	54.500 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	46.817 $
İç Üniteler, Borulama (WSHP)	331.400 $
Havalandırma (Su Kaynaklı Rooftop, Kanallar, Menfezler)	186.860 $
	619.577 $

Tablo 8. Üçüncü Sistemin İlk Yatırım Maliyeti

3. Isı Pompalı VRV/VRF	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
VRF Dış Üniteler	103.800 $
VRF İç Üniteler	113.976 $
Borulama ve BS Kutuları	187.404 $
Havalandırma (Dx Bataryalı Santral, Kanallar, Menfezler)	189.860 $
	595.040 $

Tablo 9. Dördüncü Sistemin İlk Yatırım Maliyeti

4. VRV/VRF + Radyatör	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	17.438 $
VRF Dış Üniteler	84.440 $
VRF İç Üniteler	113.976 $
Borulama (VRF ve Radyatör), Radyatör, Kollektör	83.858 $
Havalandırma (Dx Bataryalı Santral, Kanallar, Menfezler)	191.060 $
	490.772 $

Tablo 10. Beşinci Sistemin İlk Yatırım Maliyeti

5. 4 Borulu Fan Coil	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Hava Soğutmalı Chiller)	82.000 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	40.887 $
İç Üniteler, Borulama (4 Borulu Fan Coil)	198.657 $
Havalandırma (Klima Santrali, Kanallar ve Menfezler)	167.860 $
	489.404 $

İlk yatırım maliyetleri karşılaştırıldığı zaman, kurulması planlanan VAV + radyatör sisteminin maliyetinin kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir. Su kaynaklı ısı pompası ve ısı geri kazanımlı VRF/VRV sistemleri en pahalı sistemler olarak ön plana çıkarken, ısı pompalı VRF/VRV + radyatör ve 4 borulu fan coil sistemlerinin maliyetleri en düşük sistemler olarak

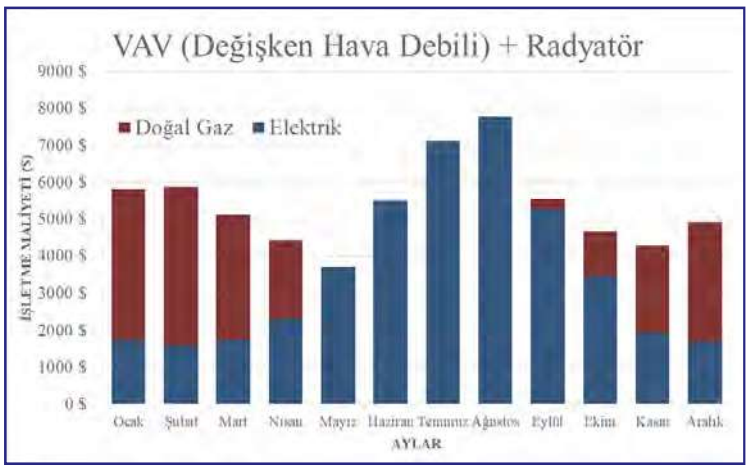
görünmektedir. Bu iki sistemin maliyetlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, VAV + radyatör sisteminde havalandırma ekipmanlarının, su kaynaklı ısı pompasında ise iç ünitelerin toplam maliyetin büyük kısmını oluşturduğu görülmektedir.

Sistemleri sadece ilk yatırım maliyetlerine göre kıyaslamak, doğru sonucu vermeyecektir. Bu durumda sistemlerin enerji tüketim değerleri ve işletme maliyetlerini de incelemek gerekmektedir.

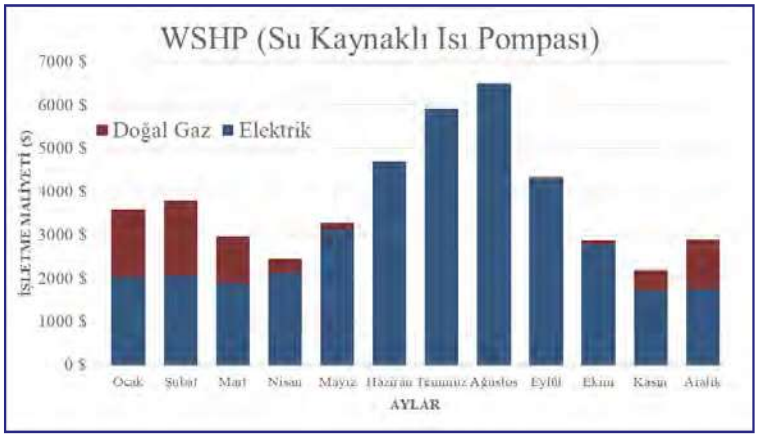
Şekil 6'da görüldüğü gibi kurulması planlanan VAV + radyatör sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise klima santralinin yoğun kullanılması sonucunda fanlar sürekli çalışmış ve elektrik tüketimi artmıştır.

Şekil 7'de görüldüğü gibi ikinci sistemimiz olan su kaynaklı ısı pompası sisteminde, kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise, soğutma kulesinin yoğun kullanılması sonucunda doğal gaz tüketimi azalmış ve elektrik sarfiyatı artmıştır. Bu sistemde ısıtma ana kaynağı doğal gazdır, ancak iç ünitelerde kompresörün çalışması için elektrik tüketilmesi sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisi de, sistem ısıtmada çalışırken ısı yükünü karşılama konusunda yardımcı olmaktadır. Ayrıca geçiş mevsimlerinde ısı geri kazanım yapma imkanı olduğu için, bu aylarda toplam enerji tüketimi düşmektedir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi üçüncü sistemimiz olan ısı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminde herhangi bir sıcak ya da soğuk su dolaşmadığı



Şekil 6. Birinci sistemin aylık işletme maliyetleri



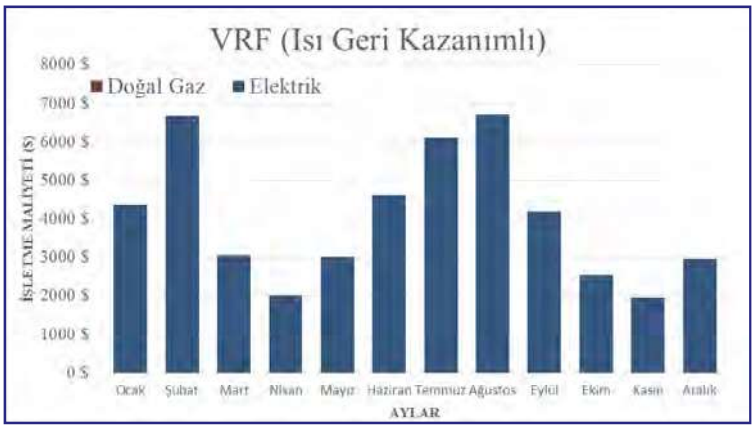
Şekil 7. İkinci sistemin aylık işletme maliyetleri

için, enerji ihtiyacı sadece elektrik üzerinden karşılanmaktadır. Şekil 6 ve Şekil 10'da görüldüğü üzere özellikle mevsim geçişlerinde yani Mart, Nisan, Ekim ve Kasım aylarında 4 borulu fan coil ve VAV + radyatör hem elektrik hem de doğal gaz tüketim değerlerinin kayda değer oranlarda oldukları görünmektedir. Bunun nedeni ise, bu dönemlerde ısıtma ve soğutma ihtiyacının aynı anda talep edilmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı dönemlere ait veriler Şekil 8'de incelendiğinde ise, elektrik tüketim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun en temel sebebi ise bu sistemin ısı geri kazanım yapma imkanının olmasıdır. Bir odadan çektiği ısıyı BS kutusu yardımıyla diğer odaya aktarabilen sistemde, dış ünitelerin çalışmasına gerek kalmadan istenilen konfor şartları sağlanabilmektedir Dış ünitelerin çalışmaması da elektrik tüketimini düşürmektedir.

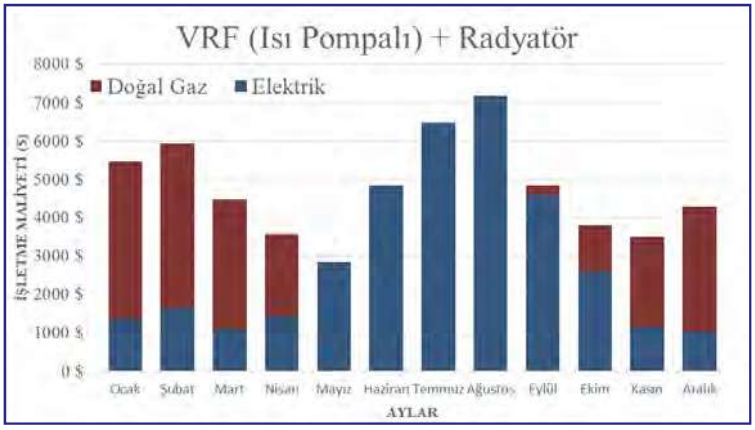
Şekil 9'da görüldüğü gibi dördüncü sistemimiz olan 2 borulu VRF/VRV + Radyatör sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise soğutma ihtiyacı VRF/VRV'den sağlandığı için, doğal gaz tüketimi olmamış ve elektrik sarfiyatı artmıştır.

Şekil 10'da görüldüğü gibi son sistemimiz olan 4 borulu fan coil sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise chillerin yoğun kullanılması sonucunda doğal gaz tüketimi azalmış ve elektrik maliyeti artmıştır. Sistem ısı geri kazanım yapamadığı için, geçiş dönemlerinde enerji tüketim değerlerinde azalma görülmemektedir.

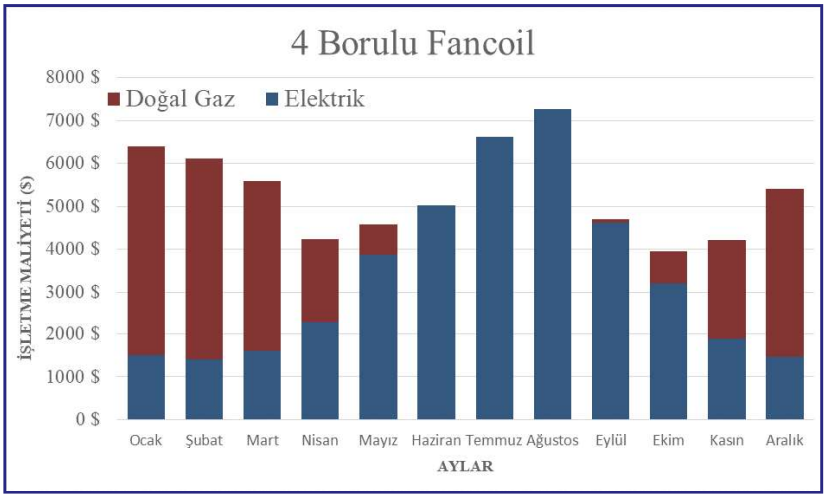
Şekil 11'de beş farklı sistemin 1 yıl boyunca toplam işletme maliyetleri, sistem bazında ayrıntılı olarak verilmektedir.



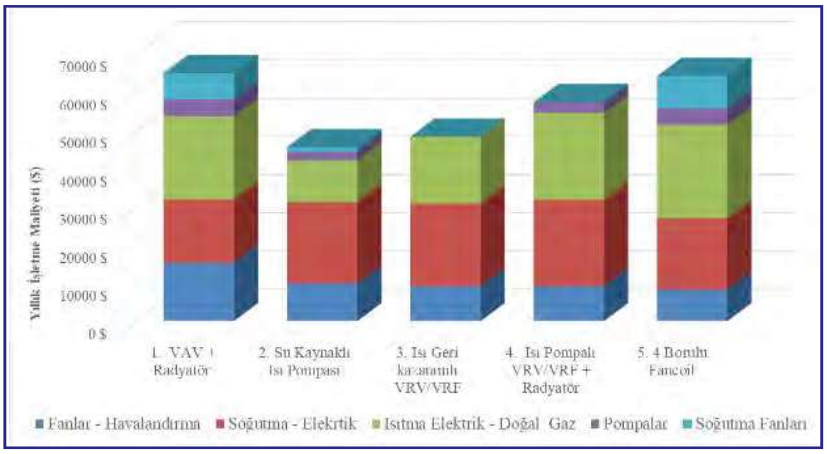
Şekil 8. Üçüncü sistemin aylık işletme maliyetleri



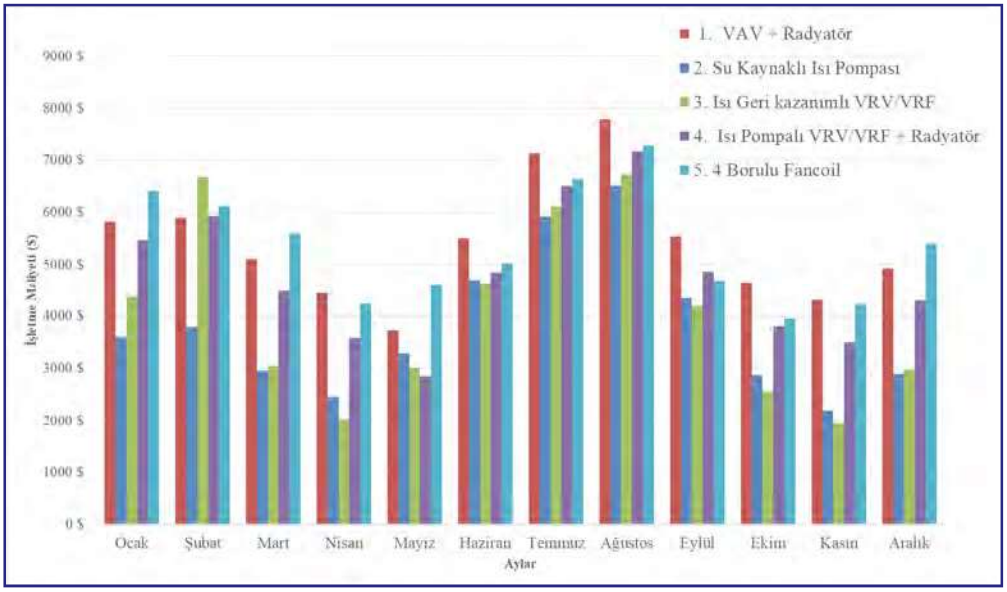
Şekil 9. Dördüncü sistemin aylık işletme maliyetleri



Şekil 10. Beşinci sistemin aylık işletme maliyetleri



Şekil 11. Beş sistemin yıllık işletme maliyetleri



Şekil 12. Beş sistemin aylık işletme maliyetleri

Şekil 12'de beş sistemin aylık işletme maliyetleri verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere, mevsim geçiş dönemlerinde ısı geri kazanımı yapabilen sistemlerin tükettiği enerjiler büyük oranda azalmaktadır. VAV + radyatör ve 4 borulu fan coil sistemlerinin, ayların büyük çoğunluğunda en yüksek işletme maliyetlerine sahip oldukları görülmektedir.

Bu çalışmada kurulması planlanan sistem ile alternatif olarak sunulan sistemler, yukarıda hesaplanan yatırım ve işletme tutarları baz alınarak Net Bugünkü Değer Yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

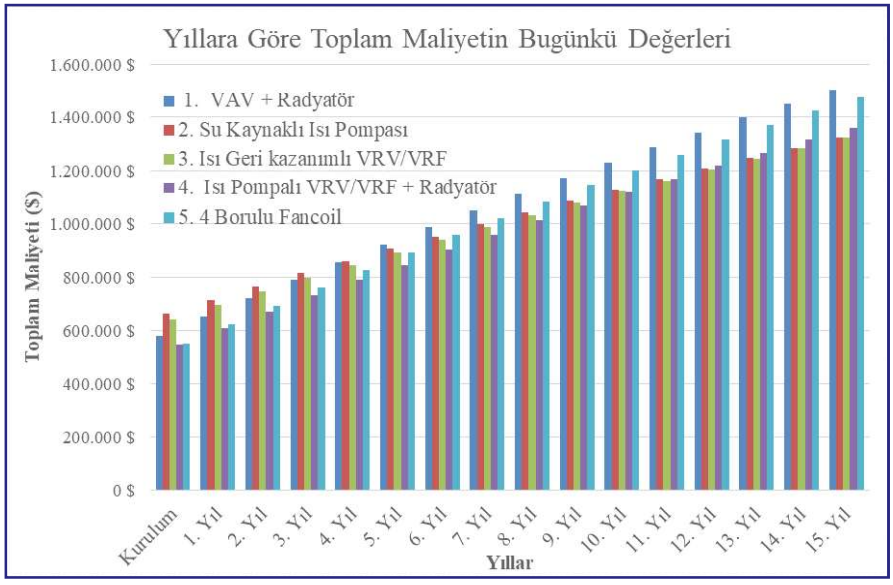
Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişinin, önceden saptanmış belirli bir iskonto oranı üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamı ile yatırımın gerektirdiği para çıkışının bu belirli iskonto oranı üzerinden bugünkü değeri toplamı arasındaki farktır. Önceden belirlenmiş olan iskonto oranı, projeyle ilgili piyasa faiz oranından etkilenmekte ve sermayenin maliyetini göstermektedir. Bu çalışmada birim fiyatlar dolar olarak alındığı için, Amerikan dolarının son 10 yıllık ortalama faiz değeri kullanılmıştır. NBD pozitif ise yapılması düşünülen yatırım karlı demektir, yani yatırımın sağlayacağı getirinin yatırım için katlanılan sermaye maliyetinden yüksek olduğu anlaşılır. Birden fazla proje arasından seçim yapmak gerektiğinde, Net Bugünkü Değeri en yüksek olan proje kabul edilebilir.

Bu yöntem ile ekonomik analiz yapabilmek için; örnek olarak; 1.sistem yatırımı ile 2.sistem yatırım tutarları arasındaki fark, yatırım tutarı olarak; işletme tutarları arasındaki fark ise işletme maliyeti olarak hesaba katılmıştır. Buna göre hesaplanan alternatif sistemlerin Net Bugünkü Değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Birinci Sistem İle Diğer Sistemlerin NBD Yöntemi Karşılaştırılması

Sistemler	NBD
2. Sistem	142781 $
3. Sistem	132733 $
4. Sistem	122816 $
5. Sistem	37318 $

Şekil 13'de sistemlerin yıllara göre hesaplanmış toplam maliyetlerinin Bugünkü Değerleri görülmektedir. Bu grafikte sistemleri seçerken, sadece ilk yatırım maliyetlerine göre seçmenin sağlıklı sonuçlar vermeyeceği açıkça görülmektedir. 5. sistemimiz olan 4 borulu fan coil sistemi, ilk yatırım maliyeti olarak oldukça uygun görünmesine rağmen, 15 yıllık süre göz önüne



Şekil 13. Beş sistemin 15 yıl boyunca toplam maliyetleri

alındığında en pahalı ikinci sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın yine ilk yatırım maliyeti açısından uygun olan ısı pompalı VRF/VRV + radyatör sistemi ise 15 yıllık süre göz önüne alındığında, uygulanabilir bir sistem olarak görülmektedir. Buradan çıkartılan sonuç ise, bir sistemi seçerken sadece ilk yatırım ya da işletme maliyetlerini baz alarak seçim yapmanın yanlış olacağıdır. Proje ömrü boyunca sistemle ilgili bütün gelir ve gider kalemlerinin hesaplanması sonucunda, bir sistem seçilmesinin en doğru sonucu vereceği görülmektedir. Proje ömrü de doğru sistemi seçmek açısından önemli bir etkendir. Yaptığımız çalışmada bina kullanım ömrünün 5 yıl olması durumunda en uygun sistem ile 15 yıl olması durumunda en uygun sistemin farklı olacağı görülmektedir. Örnek olarak 2.sistem ilk 4 yıl en pahalı sistem olmasına rağmen 12. yıldan itibaren en ucuz sistem konumuna gelmiştir. Yine aynı şekilde 5. sistem ilk 6 yıl boyunca diğer 3 sisteme göre uygun görünmesine karşın, 7. yıldan sonra toplam maliyetleri hızla artış göstermekte ve uygunluğunu kaybetmektedir.

İlk yıllarda toplam maliyeti yüksek olan 2. sistem işletme maliyetinin düşük olması sonucunda, 15 yıllık ömür süresi göz önüne alındığında en avantajlı sistemlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. SONUÇ

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı ve dışa bağımlı olması nedeniyle, özellikle enerjinin aktif olarak kullanıldığı HVAC sistemlerinde enerjinin verimli kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada HVAC sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin, tek başına karar vermek için yetersiz olduğu gösterilmiştir. Yapının ömrü, yapının kullanım amacı ve sistemin kullanım süresine göre, yapı için hangi sistemin uygun olduğu tespit edilmelidir.

Binada kurulması planlanan VAV + radyatör sisteminin ilk yatırım olarak bakıldığında, incelenen 5 sistem içinde 3. sırada olduğu görülmektedir. İşletme ve bakım masrafları da ilk maliyetlere dahil edildiğinde 5. yıldan itibaren bu sistemin en pahalı sistem haline geldiği görülmektedir. Buna karşın binanın yapım aşamasında pahalı görünen su kaynaklı ısı pompası veya ısı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminin tercih edilmesiyle, İstanbul gibi geçiş mevsimi olan bir iklimde, ısı geri kazanım özelliğinin yardımıyla işletme açısından çok avantajlı olacağı ve 15 yıllık süreç içinde kurulması planlanan VAV + radyatör sistemine göre, büyük oranda enerji ve para tasarrufu sağlanacağı görülmektedir.

Bu çalışmanın analizleri yapılırken; bina konumunun, bina şeklinin, kullanım amacının, insan ve elektrikli ekipman yüklerinin, sistem verimliliği konusunda çok önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı Türkiye'nin farklı iklimlerinde ve farklı kullanım amacı olan binalarda, tasarlanacak optimum HVAC sistemini bulmak, kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir.

SİMGE LİSTESİ

A	Ana para
i	Faiz oranı
N	Yıl
BD	Bugünkü Değer
NBD	Net Bugünkü Değer
U	Toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)
SHGC	Güneş ısı kazanç katsayısı
HVAC	Isıtma, soğutma ve havalandırma
CAV	Sabit hava debili sistem
VAV	Değişken hava debili sistem
VRF	Değişken akışkan debili sistem
WSHP	Su kaynaklı ısı pompası
GSHP	Toprak kaynaklı ısı pompası
BIM	Building Information Modeling - Yapı Bilgi Modellemesi

KAYNAKLAR

[1] Özgür, N., "Enerji Verimliliği ve Suyun Verimli Kullanılması", 2008, Ankara.

[2] www.eie.gov.tr

[3] Oğulata, R. G., "Sectoral Energy Consumption in Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, cilt 6, 471-480, 2002.

[4] Kaygusuz, K., Kaygusuz, A., "Energy and Sustainable Development Part II: Enviromental İmpacts of Energy Use", Energy Sources, cilt:26, 1071-1082, 2004.

[5] Yang Z., Ghahramani A., Becerik B., "Building Occupancy diversity and HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) System Energy Efficiency", Energy, cilt 109, 641-649, 2016.

[6] Özahi E., Abuşoğlu A., Kutlar A. İ., Dağcı O., "A Comparative Thermodynamic anc Economic Analysis and Assesment of a Conventional HVAC and a VRF System in a Social and Culturel Center Building", Energy and Building, cilt 140, 196-209, 2017.

[7] Hasip N., Mun J., Tao Y., "Performance Analysis of Two HVAC Systems for Zero Energy Research Laboratory", Proceeding of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 15 Kasım-21 Kasım 2013, California.

[8] Gustafsson M., Dermentzis G., Myhren J. A., Bales C., Ochs F., Holmberg S., Feist W., "Energy Performance Comparison of Three Innovative HVAC Systems for Renovation Through Dynamic Simulation", Energy and Buildings, cilt 82, 512-519, 2014.

[9] Wang W., Jiang W., Liu B., Zhang J., "Energy Performance Comparison of Heating and Air Conditioning Systems for Multifamily Residental Buildings", International High Performance Buildings Conference, 29. Paper, 2010.

[10] Marini D., "Optimization of HVAC Systems for Distributed Generation as a Function of Different Types of Heat Sources and Climatic Conditions", Applied Energy, cilt 102, 813-826, 2013.

[11] Bojic M., Nikolic N., Nikolic D., Skerlic J., Miletic I., "A Simulation Appraisal of Performance of Different HVAC Systems in an Office Building", Energy and Buildings, cilt 43, 1207-1215, 2011.

[12] Aynur T. N., Hwang Y., Radermacher R., "Simulation Comparison of VAV and VRF Air Conditioning Systems in an Existing Building for the Cooling Season", Energy and Buildings, cilt 41, 1143-1150, 2010.

[13] Liu X., Hong T., "Comparison of Energy Efficiency Between Variable Refrigerant Flow Systems and Ground Source Heat Pump Systems", Energy and Buildings, cilt 42, 584-589, 2010.

[14] Zhou Y. P., Wu J. Y., Wang R. Z., Shiochi S., "Energy Simulation in the Variable Refrigerant Flow Air-Conditioning System Under Cooling Conditions", Energy and Buildings, cilt 39, 212-220, 2007.

[15] Bulgurcu H., "Klima Tesisatı", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2016, İstanbul.

[16] Genceli O. F., Parmaksızoğlu İ. C., "Kalorifer Tesisatı", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2012, İstanbul.

[17] Ashrae 90.1 Standardı, www.ashrae.org