

Araştırma Makalesi

İklimlendirme Sistemlerinin (VRF-CHILLER KAZAN FCU) Seçimi ve Maliyet Analizi: Otel Örneği

Erdem IŞIK^{1,*} , Abdullah BİNGÖL² 

Gönderim: 28.08.2024

Kabul: 28.09.2024

¹ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye, erdem023@gmail.com

² Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksek Okulu, Elektrik Programı, Tunceli, Türkiye, abduallahbingol@munzur.edu.tr

*Sorumlu yazar

Özet: Mekanik sistemlerin tükettikleri enerjilerin, sistemlere bağlı yatırım maliyetlerinin ve işletme maliyetlerinin ekonomi üzerindeki etkisi tartışılmazdır. Özellikle Türkiye gibi enerji tüketimi yoğun olan ve iklim koşulları ülke genelinde sert olan ülkelerde yüksek maliyet kalemlerinden biri olan soğutma/ısıtma sistemlerine ayrılan maliyet önemli bir sorun olarak görülmektedir. Çözüme yönelik sistem seçimlerinde yatırım ve işletme maliyetleri öncelikli ölçüt olmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çelik boruların, kazanların, chiller gruplarının ve vanaların yerini, paket halinde üretilmiş ve içerisinde soğutma çevrimini gerçekleştirerek ısı alan ve tersinir olarak çalışıp ısı veren VRF (değişken soğutucu akışkan akışı) sistemleri almıştır. Bu gelişme ekipmanları koruma altına almayı da kolaylaştırmıştır. Bu çalışmada Marmara bölgesinde yer alan 300 odalı bir otel esas alınarak, Kazan-Chiller-Fancoil sistemi ile VRF sistemi yatırım, yaz-kış işletme ve bakım maliyetleri ele alınarak kıyaslanmıştır. Sonuç olarak VRF sisteminin ilk yatırım maliyeti açısından yaklaşık olarak %16 daha dezavantajlıyken, yaz-kış işletme ve bakım maliyetleri ele alındığında yaklaşık olarak yıllık %14 daha avantajlıdır ve bu sayede bir yıl gibi kısa bir sürede yatırım maliyetini amorti ettiği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme; Kazan-Chiller-Fancoil; maliyet analizi; VRF

Selection and Cost Analysis of Climate Control Systems (VRF-CHILLER BOILER FCU): A Hotel Example

Abstract: The impact of the energy consumption of mechanical systems, their associated investment costs, and operating costs on the economy is undeniable. In countries with high energy consumption and harsh climate conditions across the country, such as Turkey, the cost allocated to cooling/heating systems—one of the significant cost items—is a major concern. When selecting systems for solutions, investment and operating costs are the primary criteria. With technological advancements, VRF (Variable Refrigerant Flow) systems, which perform cooling cycles and operate reversibly to provide heating, have replaced steel pipes, boilers, chiller units, and valves. This development has also facilitated the protection of equipment. In this study, a comparison was made between a Boiler-Chiller-Fancoil system and a VRF system in terms of investment, summer-winter operating, and

maintenance costs for a 300-room hotel located in the Marmara region. The results indicate that while the VRF system is approximately 16% more disadvantageous in terms of initial investment costs, it is approximately 14% more advantageous in terms of summer-winter operating and maintenance costs, thus amortizing the investment cost within a short period of about one year.

Keywords: Climate control; Boiler-Chiller-Fancoil; cost analysis; VRF

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Kentlerdeki popülasyon ve toplu yaşamdaki hızlı artış, enerji talebinin çok ciddi miktarda artmasına sebep olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre bina ve bina inşaatı sektörleri, küresel nihai enerji tüketiminin üçte birinden fazlasından sorumludur [1]. İnşaat tekniğinin gelişmesi ve modern yüksek yapıların çoğalması HVAC(ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sektöründe de yenilikleri beraberinde getirmektedir. Gelişmekte olan ülkeler, HVAC sistemleri için binaların toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak yarısını kullanmaktadır [2-4]. Enerji maliyetlerinin de yükselmesiyle birlikte, enerji tüketimi ve ilk yatırım/bakım maliyetleri daha düşük olan sistem arayışları kaçınılmaz olmuştur. VRF sistemleri, istenilen termal konforda kayıpları minimum seviyede tutarken, enerji sarfiyatını düşürmek için en uygun iklimlendirme sistemlerindedir. Free cooling (Bedava Soğutma), ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompaları, ısı geri kazanım sistemleri, buz ve su bankaları gibi sistemler de enerji maliyetlerini düşürmek açısından çok yararlı olmuşlardır. Mevcut literatürde de VRF; değişken soğutucu hacmi [5], çok bölmeli VRFS [6], çok evaporatörlü iklimlendirme sistemi [7-10] veya çoklu ısı pompası olarak da anılmaktadır. Bilindiği gibi, yıllardır tamamı havalı, tamamı sulu veya su-hava karma sistemler büyük yapılarda alternatifsiz olarak kullanılmış, sonrasında split klimalar ve split klimaların çoklu ve gelişmiş sistemi olan VRF sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte klasik sistemlerin kullanımı ciddi anlamda azalmıştır. 1982 yılında Japonya'da pazara sunulduğu günden bugüne VRF sistemleri, Avrupa, Çin ve ABD pazarlarına hızla yayılmış olup, günümüzde Çin iklimlendirme pazarının (ticari) %35'ini oluşturdukları düşünülmektedir [11]. Küçük villalardan apartman dairelerine, otellerden alışveriş merkezlerine ve büyük iş merkezlerine varan geniş bir yelpazede, en popüler iklimlendirme yöntemi olarak VRF sistemleri tercih edilmektedir.

VRF sistemleri, tatmin edici kısmi yük performansı [12-16], esnek bireysel kontrol [17], kanal dağıtım kaybının olmaması [18,19] ve kolay kurulum ve bakım [20, 21] gibi çeşitli avantajları sayesinde öne çıkmayı başarmıştır. Bu avantajlarına rağmen VRF sistemleri, özel dış hava sistemi (DOAS) adı verilen ek bir havalandırma ünitesi bulundurmaktadır. Bu dezavantaj henüz iyileştirilememiş olup, yüksek temiz hava ihtiyacı olan durumlarda VRF uygulamasını zorlaştırmaktadır [22, 23]. Günümüzde dört nesil VRF sistemi geliştirilmiştir ve pazarda bu dört nesil VRF sistemini görmek mümkündür. Son nesil VRF sistemleri, değişken soğutucu akışkan sıcaklığı

gibi bir takım yeni özellikler sunarken, eski nesillerde soğutucu akışkan sabit sıcaklıktadır. Yük azaldıkça soğutucu akışkan sıcaklığının artmasıyla birlikte sistem verimliliğinde artış elde edilmesi başarılmıştır. Ayrıca son nesil VRF sistemlerinde sıcak mod aktifken sürekli ısıtma yapılmaktadır, bu sayede soğuk mevsimlerde ya da mevsim geçişlerinde ısınma ihtiyacı duyulması halinde özellikle sıcaklığın çok düşük olduğu durumlarda buz çözme sorununun çözümünü kolaylaştırmıştır. Günümüzde VRF sistemlerinin dış hava soğutma kapasiteleri yaklaşık 150 kW'a ulaşmakta ve 55°C üstü ortam sıcaklıklarında dahi çalışabilmektedir [24].

1.2. VRF Sistemleri

Hızla büyüyen VRF iklimlendirme teknolojisinin küresel ölçekte performansını artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Zhang vd. [25] VRF sistemleri üzerinde deneysel, teorik ve sayısal incelemeleri, VRF sistemlerinin avantajları ve bu alandaki son gelişmelerin kapsamlı bir incelemesi, Zhu vd. [21] yaptığı ve VRF sistemlerinin performansı ve kontrol analizi için geliştirdiği genel simülasyon modelleri, Li vd. [26] üretici firmaların performans parametrelerini ve verilerini kullanarak geliştirdiği su soğutmalı VRF için özel simülasyon modülü bu çalışmalardan yalnızca bir kaçını oluşturmaktadır. Temelini EnergyPlus kodlarının oluşturduğu Li modülü, EnergyPlus yazılımına entegre edilmiş ve testlerden sonra, soğutma süresi boyunca Fancoil ve temiz hava (FPFA) sisteminin su soğutmalı VRF sistemine kıyasla yaklaşık %20 daha fazla güç harcadığı sonucuna ulaşılmıştır. Zhou vd.[27] EnergyPlus ortamını esas alarak farklı bir VRF modülü geliştirdi ve VRF sistem tüketimini değişken hava hacmi (VAV) ve Fancoil+temiz hava sistemi ile kıyasladı. Sonuçlara göre VRF sistemi, enerji tüketim performansında VAV ve FPFA sistemlerine kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %22 ve %11 daha fazla tasarruf sağlamıştır.

1.3. VRF Sistemleri Çalışma Prensipleri

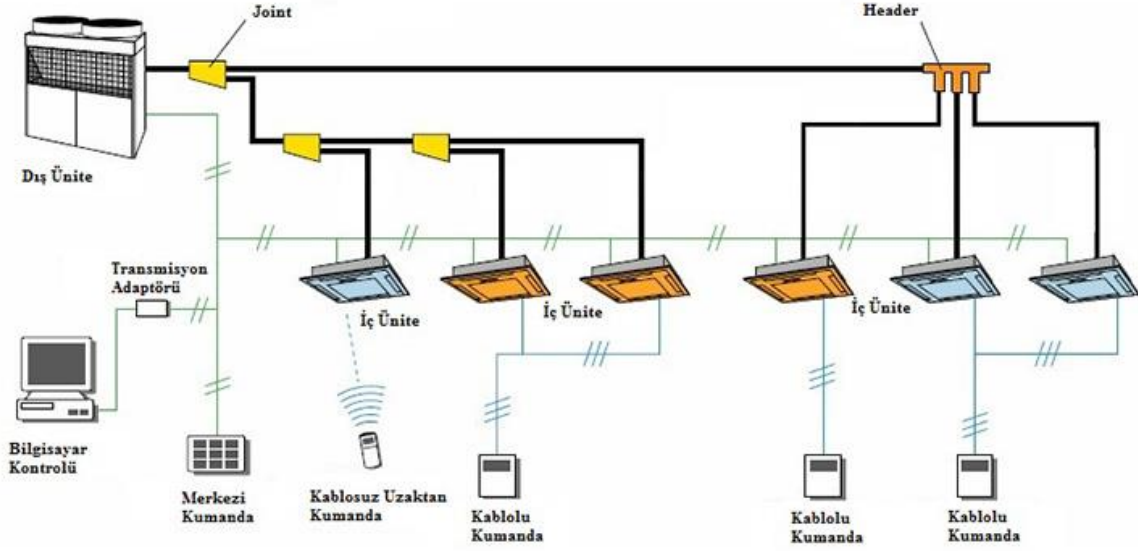
VRF sistemleri, ters Rankine buhar çevrimi üzerine tasarlanmış olan DX (doğrudan genişleme) teknolojisi sistemleridir. Bu nedenle VRF sistemleri termodinamik olarak birleşik sistemlere ve diğer DX sistemlere benzemektedir. Ayrıca kompresör, genişleme valfi, kondansatörler ve buharlaştırıcılar gibi ekipmanların birçoğu da ortaktır. Şekil 1, VRF dış ünitesinin iç aksamalarını içermektedir. VRF sistemi, iki veya daha fazla iç ünitenin ortak bir ya da birden fazla dış üniteye bağlanması, değişken kapasiteye sahip iç ve dış üniteler, bireysel ayarlamaya izin veren mahal kontrolü, dört borulu sistem üzerinden aynı anda ısıtma ve soğutma yapabilme gibi özellikleriyle diğer DX sistemlerinden farklıdır. Hava soğutmalı ve su soğutmalı kondenser VRF sistemleri bulunmaktadır. Şekil 2, dış ve iç ünite ve kalan ekipmanları içerecek şekilde bir VRF sistemini göstermektedir. VRF sistemlerinde ısı, dış üniteyle şartlandırma yapılmak istenilen alanlara kurulmuş olan (genelde kaset tipi) iç ünite arasında aktarım yapılarak gerçekleştirilir. VRF sistemlerinin esas farkı, şartlandırılan mahalın ısıtma veya soğutma ihtiyacına göre soğutucu akış hızını rejime sokmak için her bir iç ünitenin içerisinde yer alan elektronik genişleme vanası bulundurmasıdır. Şartlandırılmak istenilen mahalde oda tipi termostat yer alır ve özel bir CPU (merkezi işlem birimi-işlemci) bulunan iç

ünite, ihtiyaç duyulan soğutucu akışının mahalın ısı yükünün karşılanmasını sağlayacak şekilde bu valfi konumlandırır. İhtiyaç duyulan soğutucu akışı, iç ünitelere seri olarak monte edilen CPU'lara bağlanan, dış üniteye monte edilen bir PCB (baskılı devre kartı) tarafından hesaplanır. Son olarak PCB, bölgelerin değişen toplam yük talebini oluşturmak için kompresör hızını değiştirir. Kompresör devri veya hız kontrolü, dış üniteye monte edilen bir devre olan invertör aracılığıyla sağlanır. Invertör iki parçadan oluşur. Dönüştürücü devresi (veya doğrultucu), AC (alternatif akım) girişini DC'ye (doğru akım) değiştirir ve invertör devresi, değişken frekansla DC'yi tekrar AC'ye değiştirir. Bu frekans da kompresör devrini belirler. PCB ayrıca boru ağındaki gerekli soğutucu akışını sürdürmek için dış ünitenin çıkışındaki bir vanayı da düzenler. Her bölgede bir termostat bulunur ve özel bir CPU kullanan iç ünite, gerekli soğutucu akışının bölgenin yükünü karşılamasını sağlayacak şekilde elektronik genleşme valfini buna göre ayarlar [28].

VRF sistemleri bir ya da daha fazla değişken kapasiteli kompresör ile donatılmışlardır.



Şekil-1. VRF Dış Ünitesi İç Aksamaları [29]



Şekil 2. Dış, İç ve Ara Ekipmanlarıyla VRF Sistemi [30]

İlk olarak, invertör kompresör sistem kapasitesinin tam olarak %50'sine ulaşana kadar kademeli olarak yük altına girer. %50 kapasiteye ulaştığı anda invertör kompresörü ivedi olarak boşaltılır ve tek hızlı kompresör devreye girer. %50'den fazla kapasiteyle çalışmak için standart kompresör devredeyken, sistem tam kapasiteye erişene dek invertör kompresör kademeli olarak yük almaya devam eder. Çalışma modlarına göre VRF sistemleri üç kısımda incelenir;

- Sadece soğutma ya da ısıtma, ısı pompaları ve IGK (ısı geri kazanımı),
- Aynı anda soğutma ve ısıtmanın mümkün olduğu, kullanımı her geçen gün yaygınlaşan ısı geri kazanım sistemleri,
- Bazı alanlarda soğutma ihtiyacı, bazı alanlarda ısıtma ihtiyacı olması halinde, soğutulan alanlardan yayılan istenmeyen ısı, ısıtma ihtiyacı duyulan alana iletilecektir. Bu sayede VRF sistemi ısı pompası kullanılarak ısı üretimi gerektirmez. Yalnızca ihtiyaç dışı ısı, ihtiyaç olan bölgeye taşınır.

VRF IGK sisteminin çok sayıda türü mevcuttur. Bazı ofis binalarının, rack kabinetlerin yer aldığı server odasında meydana gelen ısı kullanılarak ısıtılması gibi uygulamalarda, dönemsel geçiş mevsimlerinde, kabinetlerin sağlıklı çalışabilmesi için mahallerin soğutulması gerekirken, kalan alanların ısıtılması gerekebilir. IGK sistemlerinin kullanılması, enerji tasarrufu açısından da önemli katkılar sunabilmektedir.

2. SİSTEM SEÇİM KRİTERLERİ

İklimlendirme sistemlerinde seçim yapılırken pek çok kriter göz önünde bulundurulmaktadır. Seçim kriteri, işletme sahibi veya satın alma birimlerinin taleplerine ve tercihlerine göre değişiklik gösterebilir. Ancak öncelikli olarak dikkat edilmesi gereken kriterler şu şekilde sıralanabilir;

2.1. Maliyet-LCC

Sistem seçimi yapılırken, sistem maliyetlerini değerlendirmek için ilk yatırım maliyetinin dışında, sistemin aktif çalışma süresince(ömür) tükettiği enerji miktarı ve bakım maliyetlerini de içeren sistemin toplam maliyeti (Life Cycle Cost) değerlendirilmelidir.

2.1.1. Yatırım Maliyeti

Tavsiye edilen sistemin, nihai kullanıcı ya da yatırımcının talep ettiği konfor şartları ve müşteri portföyüne uygun olmasına ek olarak, projenin ilk yatırım maliyetinin başlangıçta planlanan bütçeye dâhil olmasına ve alternatif olabilecek diğer sistemlerin tamamının maliyet analizlerinin yatırımcıya sunulmasına dikkat edilmelidir.

2.1.2. İşletme Maliyeti

Enerji birim fiyat tarifelerinde meydana gelen artış ve küresel ısınma konusunda yükselen hassasiyet, enerji tüketimine ve maliyetlere verilen önemi arttırmaktadır. Bu sebeple, kullanılacak iklimlendirme sisteminin performansı ve enerji tüketimi kaçınılmaz olarak önemli bir parametre haline almaktadır. Ek olarak, 1000 m² ve üzeri alana sahip merkezi sistem cihazlarının kullanıldığı binalarda, sistemin işletilmesi için teknik bir personel de bulunmalıdır. Bu durumda sistemin ömür boyu işletme maliyeti yükselmektedir.

2.1.3. Bakım Maliyeti

Sistemin bakım aralıkları ve işçilik maliyetleri, sistemin toplam maliyetini bazı durumlarda ciddi şekilde etkilemekte ve sistem seçiminin değişmesine sebep olmaktadır.

2.2. Konfor

HVAC tesisatı yapmanın temel amaçlarından biri konfor ihtiyacıdır. Ortamda beklenen konfor şartlarının tamamı, değişen hava koşulları ve kullanıcı yoğunluğunda binanın kullanım amacına uygun şekilde belirli değerlerde tutulabilmelidir.

Konfor şartları, yatırımcı talepleri ile, standartlar ve yönetmeliler doğrultusunda müşteri portföyüne göre birlikte belirlenir. Bu konfor şartları aşağıdaki gibi olabilir;

- Sıcaklık (İç ortam dizayn şartı: 23°C-26°C KT-%50 bağıl nem)
- Taze hava miktarı (Kişi sayısı ve kullanım amacına göre belirlenir, 8-10 lt/saniye)
- Gürültü kirliliği (Kullanım amacına göre 40-60 dB(A))

- Nem (%40-60 arası, %40'ın altında boğaz ve cilt kuruluğu, %60 üzerinde ter, bakteri üretimi ve performans düşüklüğüne sebep olmaktadır)
- Temizlik (Kişi sayısının fazla olduğu alanlarda ortamın ve verilen taze havanın filtrasyonu önemlidir. Kaba filtre yanında, torba filtre de günümüz ofislerinde kullanılmalıdır)
- Sistemin rejime girme hızı (Ortamdaki hava hızı çalışanları rahatsız etmemelidir. İnsan yüzeyinden geçen hava hızı 0,25 m/s'den fazla olmamalıdır)

2.3. Servis Bakım Sıklığı ve Kolaylığı

Satış sonrası servis hizmetlerinin (SSH) problemsiz bir şekilde gerçekleşebilmesi için binanın test, ayar ve servis işlemlerine uygun bir şekilde tasarlanması ve sistemin buna göre seçilmesi gerekir. Ayrıca, sistem seçilirken deprem ve yangın risk analizlerine de dikkat edilmelidir.

2.4. Binanın Kullanım Amacı

Binada uygulanacak en verimli sistemi seçerken binanın hangi amaçla kullanılacağı, bina içerisinde bulunacak odaların kullanım amacı, odalardaki insan miktarı ve ekipmanlar göz önünde bulundurulmalıdır. Ofis türü yapılarda kullanılacak olan sistemler, yatırımcının binayı satma veya kiralama opsiyonuna göre, bazı durumlarda ise Shell&Core (Kabuk&Çekirdek-kaba inşaat) şekline göre de değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bina sahibi binayı bir hastaneye kiraya verecek şekilde tasarlıyorsa, bu durumda havalandırma planlamasının hastane yönetmeliğine uygun olacak şekilde yapılması gerekeceğinden sistem seçimi de buna göre yapılmalıdır.

2.5. Binanın Tipi (Mimari Zorluklar)

Binanın formu ve ebatları, bulunduğu şehrin dokusuna uyumu, coğrafi konumu, yönü, yaşı (tarihi konumu), konstrüksiyon yapısı ve yapıım şekli sistem seçimini doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte sistem seçimi, yatırımcının ve proje mimarının tercihinine göre mekanik cihazların bina içerisindeki yerleşimi, bina ve kat yükseklikleri ve binada mekanik tesisata ayrılacak alana göre de değişiklik göstermektedir.

3. SİSTEM SEÇİMİNDE ÖNEMLİ NOKTALAR

VRF sistemlerinde seçim yapılırken, 2. bölümde detaylandırılmış olan maddeler dışında göz önünde bulundurulması gereken etkenler bulunmaktadır. Bu bölümde bu etkenler verilecektir.

Bir mahalde ısıtma istenilirken, farklı bir mahalde soğutma istenilen durumlarda Heat Recovery (üç borulu) Fancoil çözümleri tercih edilmelidir. Heat Pump (iki borulu) Fancoil sistemi tercih edilecekse, bina yönüne ve mimariye göre zonlama yapılmalıdır. Shell&Core projelerde sonradan ilave edilecek bölmeler dikkate alınmalıdır. Kot farklarının ve borulama mesafesinin çok uzun olduğu durumlarda ya da klima santralleri kapasiteleri VRF çözümüne uygun değilse Chiller-Fancoil sistemi tercih edilmelidir. Bina popülasyonunun fazla olduğu durumlarda taze hava kullanımı dikkate alınmalıdır. Bina cephesinin radyasyon emiş miktarı sistem seçimini doğrudan etkileyebilmektedir. Cam cephe binalarda, radyasyonla ısı kazanımı önemli olduğundan IGK tercihi

göz önünde bulundurulabilir. Konferans salonu, toplantı odaları gibi insan yoğunluğunun hızlı değiştiği mahallerde taze hava ihtiyacı göz önünde bulundurulurak klima santralleri tercih edilmelidir. Ancak klima santralleri DX bataryalı tasarlanarak VRF dış ünitesine entegre çalıştırılabilir. Özellikle toplantı odaları gibi akustik önemi yüksek alanlarda iç ünite desibel seviyesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Server-Elektrik odası gibi mahallerde yaz-kış fark etmeksizin sistem sağlığı için soğutma ihtiyacı bulunmaktadır ve 20°C'ye kadar soğutma gerekebilir. Bu nedenle, data odalarına özel olarak adapte edilecek 2 ayrı SkyAir sistemi (1 asıl, 1 yedek) uygun bir çözümdür.

Genel olarak;

- Esnek bölümlenme gerektiği durumlarda,
- Sirkülasyonun fazla olduğu küçük alanlarda,
- Sıcaklığın sıkı kontrol gerektirdiği durumlarda,
- Gücün orantılı bölünmesi gerektiği durumlarda,

DX sistemleri daha uygun bir çözümdür.

- Tek sıcaklık ayar noktasındaki büyük alanlarda,
- Yüksek kapasite gerektiren soğutma yüklerinde,
- Yüksek kapasitede taze hava beslemesine ihtiyaç duyulan mahallerde,
- 7000 m² 'den büyük binalarda

Merkezi sistemler daha uygun bir çözümdür.

4. KIYASLAMA KRİTERLERİ

Marmara bölgesinde 300 odalı bir otel projesi için iklimlendirme sistemleri seçimi, yatırım ve bakım maliyeti ve işletme maliyeti başlıkları altında incelenecek, sistemler arasındaki farklılık ve amortisman süresi analiz edilecektir.

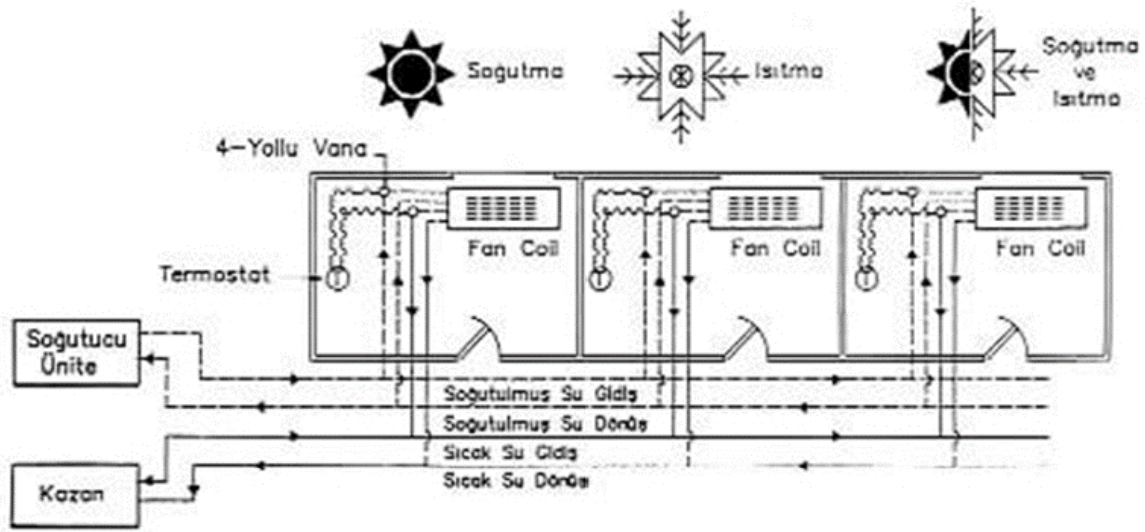
4.1. Yatırım ve Bakım Maliyeti

Tablo 1'de otel projesi için tasarlanmış olan 4 borulu Fancoil-Chiller-Kazan ve Heat Recovery VRF sistemlerinin mali yönden karşılaştırması görülmektedir.

Tasarlanan sistemleri şu şekilde açıklamak mümkündür;

-Fancoil-Chiller-Kazan Sistemi;

Şekil-3'te Fancoil-Chiller-Kazan sisteminin şeması görülmektedir.



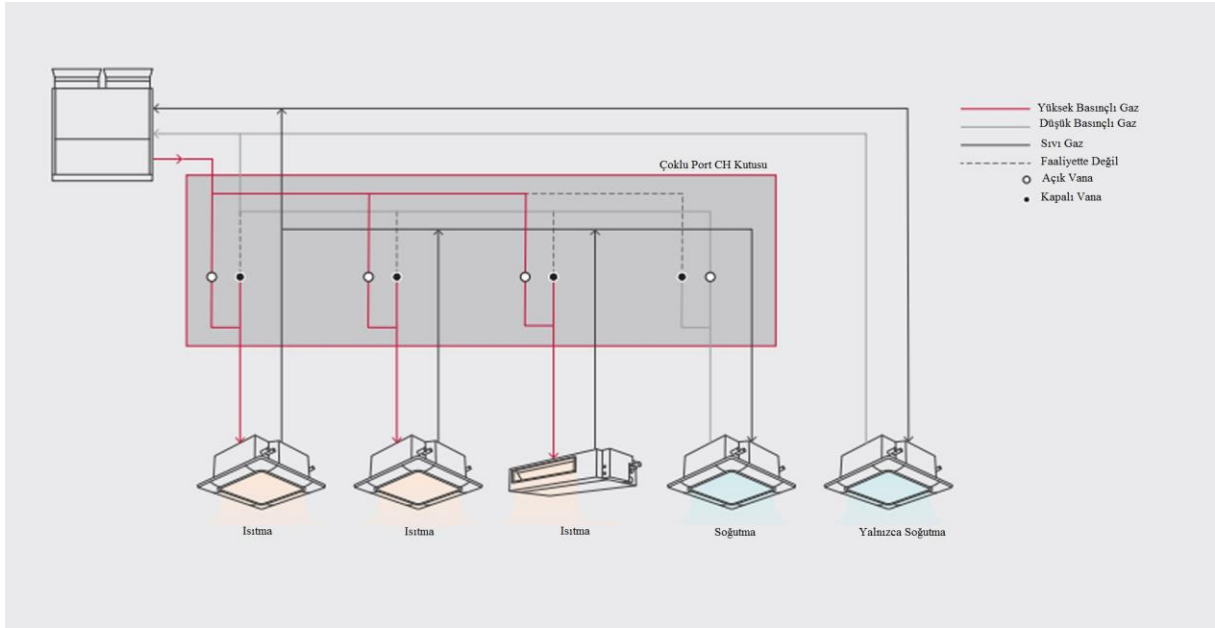
Şekil 3. Fancoil-Chiller-Kazan Sistemi [31]

FCU Seçiminde gerekli veriler şu şekildedir;

1. Soğuk su şartı (6-10°C, 6-11°C, 7-12°C)
2. Sıcak su şartı (90-70°C, 70-50°C)
3. Mahal şartı (Soğutmada 25°C KT ve 18°C YT veya %50 bağıl nem)
4. Yüksek devirde, orta devirde (Ses desibeli)
5. Gizli tavan tipi üniteler için cihaz dış basıncı,
6. FCU tipi (Her FCU tipi için kapasite verileri değişkendir)

-3 Borulu Isı Geri Kazanımlı VRF (Heat Recovery)

Şekil 4'te hava soğutmalı 3 borulu ısı geri kazanımlı VRF sistemine ait şema görülmektedir.



Şekil 4. 3 Borulu IGK'lı VRF Sistemi [32]

Sistemlerin yatırım maliyetleri;

Tablo 1. Sistemlerin Maliyet Analizi

VRF Heat Recovery Sistemi	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat	4 Borulu FCU Sistemi	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
Dış Ünite	22	985 \$	21670 \$	4 Borulu FCU	300	54 \$	16200 \$
İç Ünite	300	72 \$	21600 \$	Hava Soğutmalı Chiller-900 kW	1	16340 \$	16340 \$
BS Kutusu	300	50 \$	15000 \$	Sirkülasyon Pompası-Chiller	2	370 \$	740 \$
Kumanda	300	8 \$	2400 \$	Kazan-720 kW	1	6565 \$	6565 \$
Joint	110	9 \$	990 \$	Sirkülasyon Pompası-Kazan	2	75 \$	150 \$
Joint	66	12 \$	792 \$	Oda Termostatı	300	3 \$	900 \$
Joint	110	6 \$	660 \$	3 Yollu Oransal Vana Kiti (Motor+Vana)	300	6 \$	1800 \$
				Toplam Cihaz Bedeli			42.695 \$
Toplam Cihaz Bedeli			43.270 \$	Toplam Otomasyon Bedeli			7.990 \$
Toplam Montaj Bedeli			19.842 \$	Toplam Montaj Bedeli			3.590 \$
Yatırım Maliyeti			63.112 \$	Yatırım Maliyeti			54.275 \$
Toplam Yıllık Bakım Bedeli			1.280 \$	Toplam Bakım Bedeli			975 \$

Tablodan da anlaşılacağı gibi VRF sisteminde otomasyon bedeline ihtiyaç duyulmamaktadır. Yatırım ve bakım maliyeti toplamlarına bakıldığında; VRF sistemi 64.392 \$, 4 Borulu FCU sistemi 55.250 \$ olarak hesaplanmaktadır.

4.2. İşletme Maliyeti

Tablo.2’de sistemlerin yaz-kış karma maliyetleri görülmektedir.

Tablo 2. Sistemlerin Karma İşletme Analizi

VRF Heat Recovery Sistemi	Adet	Birim Güç (kW)	Toplam Güç (kW)	Çalışma Saati	Toplam (kWh)	4 Borulu FCU Sistemi	Adet	Birim Güç (kW)	Toplam Güç (kW)	Çalışma Saati	Toplam kWh-m ³
Dış Ünite	22	11,3	249	2920	727.080	4 Borulu FCU	300	0,084 kW	25,2 kW	2920	73.584
İç Ünite	300	0,089	26,7	2920	77.964	Hava Soğutmalı Chiller-900 kW	1	319 kW	319 kW	1460	465.740
BS Kutusu	300	0,005	1,5	2920	4.380	Sirkülasyon Pompası-Chiller	2	15 kW	15 kW	1460	21.900
Kumanda	300	-	-	-	-	Kazan-720 kW	1	1,92 kW	1,92 kW	1460	2.803,2
Joint	110	-	-	-	-	Sirkülasyon Pompası-Kazan	2	1,5 kW	1,5 kW	1460	2.190
Joint	66	-	-	-	-	Oda Termostatı	300	-	-	-	-
Joint	110	-	-	-	-	3 Yollu Oransal Vana Kiti (Motor+Vana)	300	0,1 kW	1,8 kW	İhmal Edildi	32.059,77-
Toplam Elektrik Tüketimi (kWh)					809.424	Kazan Doğalgaz Tüketimi	1	720 kW	-	730+365 (mevsim geçişleri dahil edilmiştir)	145.726 m ³
İşletme Elektrik Birim Bedeli					0,090 \$	Toplam Elektrik Enerjisi Tüketim Bedeli					51.222,05 \$
İşletme Doğalgaz Birim Bedeli					0,22 \$	Toplam Doğalgaz Tüketim Bedeli					32.059,77 \$
Toplam Yıllık İşletme Maliyeti					72.848,16 \$	Toplam Yıllık İşletme Maliyeti					83.281,82 \$

*Tablo-2’de yer alan doğalgaz tüketimi fiyatlandırması yapılırken 2024 Ağustos ayı İGDAŞ fiyatları esas alınmıştır.[33]

**Tablo-2’de yer alan elektrik tüketim fiyatlandırması yapılırken 2024 Ağustos ayı CK Enerji Boğaziçi Elektrik fiyatları esas alınmıştır.[34]

**İşletme maliyetleri 2024 Ağustos ayı TL/Dolar kur fiyatı esas alınarak değerlendirilmiştir.

5. Sonuçlar

Fancoil-Chiller-Kazan sistemlerinde tesisat ömrü VRF sistemlerine kıyasla daha kısa sürelidir. Tesisat ömrünü uzatmak, verim kayıplarının önüne geçmek ve olası tıkanıklıklara önlem almak için tesisatta kimyasal şartlandırma yapılması önerilmektedir. Kimyasal şartlandırma ilave maliyet oluşturduğundan birçok işletmede tercih edilmemektedir. Tamamen kullanıcı inisiyatifinde olması

nedeniyle kimyasal şartlandırma hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Yapılan hesaplamalar, yalnızca sistemin devreye alınması, rutin bakımlarının yapılması ve çalışır vaziyette kalması için gerekli unsurlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, Tablo-1'den de açıkça görüldüğü üzere VRF Sistemi yatırım aşamasında Fancoil-Chiller-Kazan sisteminden yaklaşık olarak 9.000 \$ daha maliyetli bir sistemdir. Ancak işletme koşulları göz önüne alındığında VRF sistemi yaklaşık olarak yıllık 10.500 \$ daha düşük sarfiyat avantajı sağlamakta ve Marmara bölgesinde yer alan 300 yataklı bir otel için yatırım maliyetini Fancoil-Chiller-Kazan sistemine kıyasla bir yıl gibi kısa bir sürede işletme maliyeti üzerinden telafi etmektedir.

Kullanım kolaylığı, bakım-onarım sürecinin kolay yönetilebilir olması, enerji sarfiyatlarının daha düşük seviyelerde olması, tesisat ve cihaz yoğunluğu bakımından çok daha küçük alanlara gereksinim duyulması gibi avantajları sayesinde VRF sisteminin tercih edilmesinin daha makul olduğu görülmüştür.

Sembol ve Kısaltmalar

VRF: Değişken Soğutucu Akışkan Akışı

FCU: Fancoil

IEA: Uluslararası Enerji Ajansı

HVAC: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme

DOAS: Özel Dış Hava Sistemi

FPFA: Fancoil ve Temiz Hava Sistemi

VAV: Değişken Hava Hacmi

DX: Doğrudan Genişleme Teknolojisi

PCB: Baskılı Devre Kartı

AC: Alternatif Akım

DC: Doğru Akım

CPU: Merkezi İşlem Birimi-İşlemci

IGK: Isı Geri Kazanımı

LCC: Yaşam Döngüsü Maliyeti

dB: Desibel

SSH: Satış Sonrası Servis Hizmetleri

Çıkar Çatışması

Yazar bu makaleyle ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını bildirir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- [1] Uluslararası Enerji Ajansı. <https://www.iea.org>
- [2] Atmaca, M. (2010). Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi İle Otel Binalarının Enerji Performansının Değerlendirilmesi-Tez (Yüksek Lisans) - İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Lombard, L. P., Ortiz, J. ve Pout C. (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398.
- [4] Çakmanus, İ. (2004). Enerji Verimli Bina Tasarım Yaklaşımı-Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı:84 S: 20-27.
- [5] Zhao, D., Zhong, M., Zhang, X. Ve Su, X. (2016). Energy consumption predicting model of VRV (Variable refrigerant volume) system in office buildings based on data mining, *Energy*, 102, 660-668.
- [6] Li, Z., Wang, B., Li, X., Shi, W., Zhang, S. ve Liu, Y. (2017). Simulation of recombined household multi-split variable refrigerant flow system with split-type air conditioners, *Appl. Therm. Eng.* 117, 343-354.
- [7] Elliott, M. S. And Rasmussen, B. P. (2013). Decentralized model predictive control of a multielevator air conditioning system, *Contr. Eng. Pract.*, 21(12), 1665-1677.
- [8] Dong, P., Xie, G. ve Ni, M. (2021). Improved energy performance of a PEM fuel cell by introducing discontinuous S-shaped and crescent ribs into flowing channels, *Energy*, 222, 119920.
- [9] Song, M., Xie, G., Pekar, L., Mao, N. ve Qu, M. (2020). A modeling study on the reverse cycle defrosting of an air source heat pump with the melted frost downwards flowing away and local drainage, *Energy Build.*, 226, 110257.
- [10] Wang, J., Lu, X., Adetola, V. and Louie, E. (2024). Modeling Variable Refrigerant Flow (VRF) systems in building applications: A comprehensive review, *Energy and Buildings*, 311, 114-128.
- [11] Chen, W. H., Mo, H. E. ve Teng, T. P. (2018). Performance improvement of a split air conditioner by using an energy saving device. *Energy and Buildings*, 174, 380-387.
- [12] Afify, R. (2008). Designing VRF Systems. *ASHRAE Journal*, 52-55.
- [13] Zhao, D., Zhang, X. ve Zhong, M. (2015). Variable evaporating temperature control strategy for VRV system under part load conditions in cooling mode, *Energy Build.*, 91, 180-186.

- [14] Enteria, N., Yamaguchi, H., Miyata, M., Sawachi, T. ve Kuwasawa, Y. (2016). Performance evaluation of the variable refrigerant flow (VRF) air-conditioning system subjected to partial and unbalanced thermal loadings, *J. Therm. Sci. Technol.*, 11 (1), JTST0013-JTST0013.
- [15] Qian, M., Yan, D., Hong, T. ve Liu, H. (2021). Operation and performance of VRF systems: Mining a large-scale dataset. *Energy and Buildings*, 230, 110519.
- [16] Aynur, T. N. (2010). Variable refrigerant flow systems: A review. *Energy and Buildings*, 42(7), 1106-1112.
- [17] Tu, Q., Zou, D., Deng, C., Zhang J., Hou, L., Yang, M., Nong, G. ve Feng, Y. (2016). Investigation on output capacity control strategy of variable refrigerant flow air conditioning system with multi-compressor, *Appl. Therm. Eng.*, 99, 280-290.
- [18] Matsumoto, K., Ohno, K., Yamaguchi, S. ve Saito, K. (2019). Numerical analysis of control characteristics of variable refrigerant flow heat-pump systems focusing on the effect of expansion valve and indoor fan, *Int. J. Refrig.*, 99, 440-452.
- [19] Lee, J. H., Kim, H. ve Song, Y. H. (2018). A Study on verification of changes in performance of a water-cooled VRF system with control change based on measuring data. *Energy and Buildings*, 158, 712-720.
- [20] Zhai, Z. J. ve Rivas, J. (2018). Promoting variable refrigerant flow system with a simple design and analysis tool. *Journal of Building Engineering*, 15, 218-228.
- [21] Zhu, Y., Jin, X., Du, Z., Fan, B. ve Fu, S. (2013). Generic simulation model of multievaporator variable refrigerant flow air conditioning system for control analysis, *Int. J. Refrig.*, 36(6), 1602-1615.
- [22] Fan, G., Ahmadi, A., Ehyaei, M. ve Das, B. (2021). Energy, exergy, economic and exergoenvironmental analyses of polygeneration system integrated gas cycle, absorption chiller, and Copper-Chlorine thermochemical cycle to produce power, cooling, and hydrogen, *Energy*, 222, 120008.
- [23] Özahi, E., Abuşoğu, A., Kutlar, A. İ. ve Dağcı, O. (2017). A comparative thermodynamic and economic analysis and assessment of a conventional HVAC and a VRF system in a social and cultural center building, *Energy Build.*, 140, 196-209.
- [24] Vaillant-VRF Sistemleri-www.vaillant.com.tr
- [25] Zhang, G., Xiao, H., Wang, B., Li, X., Shi, W. ve Cao, Y. (2019). Review on Recent Developments of Variable Refrigerant Flow Systems since 2015, *Energy and Buildings*.
- [26] Li, Y., Wu, J. ve Shiochi, S. (2009). Modeling and energy simulation of the variable refrigerant flow air conditioning system with water-cooled condenser under cooling conditions, *Energy Build.*, 41(9), 949-957.
- [27] Zhou, Y., Wu, J., Wang, R. ve Shiochi, S. (2007). Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions. *Energy Build.*, 39(2), 212-220.

- [28] Gilani, H. A., Hoseinzadeh, S., Karimi, H., Karimi, A., Hassanzadeh, A. ve Garcia, D. A. (2021). Performance analysis of integrated solar heat pump VRF system for the low energy building in Mediterranean island. *Renewable Energy*, 174, 1006-1019.
- [29] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.- mitsubishivrf.net
- [30] Sadirvan A.S.- www.vrfankara.com
- [31] Mekonsis Mekanik Kontrol Sistemleri- www.mekonsis.com.tr
- [32] Johnson Controls-Hitachi Air Conditioning Company- www.hitachiaircon.com
- [33] İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi- www.igdas.com.tr
- [34] CK Enerji Boğaziçi Elektrik-www.ckbogazici.com.tr