

VRF ve Fan Coil Sistemlerinin İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri Açısından Karşılaştırılması

Comparison of VRF and Fan Coil Systems in Terms of Investment Cost and Operating Cost

Alperen TURAN¹ , Ayhan ONAT² 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Öz

İklimlendirme sistemlerinde; konfor, enerji verimliliği, kurulum ve işletme kolaylığı açısından değişken debili soğutucu akışkan (VRF) sistemleri son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemlerde, cihazın içinde bulunan soğutucu akışkan sayesinde ısıtma ve soğutma işlemi yapılabilmektedir. İklimlendirme sistemlerinde kullanılan diğer bir uygulama ise Fan Coil (FCU) sistemidir. Fan coil sistemi enerjinin su ile taşındığı ısıtma ve soğutma uygulamasıdır. Konfor şartları ve tasarım taleplerine göre iki (2) borulu ve dört (4) borulu olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir cadde mağazasının ısı kayıp kazanç yükleri, Transfer Fonksiyon Metodu (TFM) yöntemine göre değerlendirme ve analiz yapan Hourly Analysis Program'ı (HAP) kullanılarak hesaplanmıştır. 1076 m² alan için hesaplanan toplam soğutma yükü 152,93 kW ve ısıtma yükü ise 74,9 kWh olmuştur. Hesaplanan mahal ısı yüklerine göre VRF ve FCU sistem ekipmanları seçilmiştir.

Seçilen ekipmanlara göre yapılan analizler sonucunda; VRF sistemlerinin yatırım maliyetlerinde %24,6, işletme giderlerinde %32,5 ve enerji tüketiminde %33,7 daha fazla avantaj sağladığı tespit edilmiştir. Bu kapasitede ki yapılarda yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji tüketimi açısından VRF sistemlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: VRF, Fan Coil, VRF ve Fan Coil Karşılaştırma, Transfer Fonksiyon Metodu, Hourly Analysis Program

Abstract

In air conditioning systems; In terms of comfort, energy efficiency, ease of installation and operation, variable flow refrigerant (VRF) systems have recently become widely used. In these systems, heating and cooling process can be performed by means of the refrigerant in the device. Another application used in air conditioning systems is the Fan Coil (FCU) system. Fan coil system is the heating and cooling application where energy is carried by water. It is used as two (2) pipe and four (4) pipe according to comfort conditions and design demands. In this study, the heat loss gain loads of a street store were calculated using the Hourly Analysis Program (HAP), which evaluates and analyzes according to the Transfer Function Method (TFM) method. The total cooling load calculated for an area of 1076 m² was 152,93 kW and the heating load was 74,9 kWh. VRF and FCU system equipments were selected according to the calculated heat loads.

As a result of the analysis made according to the selected equipment; It has been found that VRF systems provide %24,6 advantage in investment costs, %32,5 in operating expenses and %33,7 in energy consumption. It has been shown that it is more appropriate to use VRF systems in terms of investment costs, operating costs and energy consumption in buildings of this capacity.

Keywords: VRF, Fan Coil, VRF and Fan Coil Compare, Transfer Function Method, Hourly Analysis Program

I. GİRİŞ

Fosil enerjiler (kömür-petrol gibi) insan hayatında ve dünyamızda olumsuz etkiler yapmaya devam etmektedir. Günümüzde ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan cihaz ve sistemlerde enerji verimliliğinin artırılması ve konfor parametrelerinin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemlerin en yaygın kullanılanları değişken debili soğutucu akışkan (VRF) ve Fan Coil (FCU) uygulamalarıdır. VRF sistemleri, soğutma ve ısıtma

sistemi olarak kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde VRF sistemi; okul, hastane vb birçok yapıda tercih edilmektedir. Aynı zamanda yapıların mimarisine ve geometrisine de uygunluğu, bu sistemin tercih edilme sebeplerinin başında gelmektedir. VRF sisteminde tek bir dış ünite birden fazla iç üniteye bağlanabilmekte, ısıtma ve soğutma yaparak enerji kullanımında tasarruf sağlamaktadır.

FCU sistemleri ise 2 borulu ve 4 borulu olarak tasarlanabilmektedir. Yatırımcı isteğine ve mahalın yapısına uygun olarak sistem ekipmanları belirlenmektedir. 2 borulu sistem sadece ısıtma ya da sadece soğutma yaparken, 4 borulu sistem mahallerin ihtiyacına ve kullanıcıların isteğine bağlı olacak şekilde aynı anda ısıtma veya soğutma modunda çalışabilmektedir. FCU sistemi iki (2) borulu ve dört (4) borulu olarak tasarlanabilmektedir. Yatırımcı isteğine ve mahalın yapısına uygun olarak sistem ekipmanları belirlenmektedir. 2 borulu sistem sadece ısıtma ya da sadece soğutma yaparken 4 borulu sistemde mahaller hem ısıtma hem de soğutma modunda çalıştırabilmektedir.

Bu tezin amacı; bir mağazanın TFM ve HAP ile ısı kayıp kazanç yüklerini hesaplayarak mahallerin ısı yükü listelerini oluşturmak ve çıkan mahal ısı yüklerine göre VRF ve FCU sisteminin ekipmanları seçilecektir. Ayrıca bu iki sistem ilk yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve enerji analizleri açısından karşılaştırılacaktır.

VRF Sistemi ile FCU sistemi hakkında ulusal ve uluslararası birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalar araştırılıp incelenerek aşağıda özetleri verilmiştir.

Aynur T.N., Hwang, Y., Radermacher R. [1.2] VRF sistemlerinin ofisteki uygulamaları ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada iki farklı kontrol modu kullanmıştır. Bunlardan biri bireysel diğeri ise ofis merkezinden kontrol edilme şeklindedir. Bireysel kontrol modunda, VRF sisteminde iç ünitelerin hepsi kendi termostatları ile kontrol edilmiştir. Yani ne kadar iç ünite var ise o kadar termostat var şeklinde yorumlanabilir. İkinci kontrol modunda ise ofis merkezinden tek bir termostat yardımı ile iç üniteleri kontrol etmektedir. Sonuçta, bireysel kontrol modunda, ana kontrol moduna göre hem daha iyi ısı kontrol hem de daha iyi ısı verim elde edilmiştir.

Çalışkan vd. [3] Maitsozenko çevrimi prensibine dayalı yeni bir hava soğutucunun sabit bir çevre sıcaklığında ve 9 farklı ölü sıcaklık durumlarında enerji, ekserji ve termoeconomik açıdan analizini yapmıştır. Enerji analizinde soğutma tesir katsayısı ve soğutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Ekserji analizinde ise ekserji kayıpları ve ekserji verimleri hesaplanmıştır.

Park ve Kim [4], iç ünite yüklerini ve kompresör hızını değiştirerek, iki iç üniteli birbirinden ayrı elektronik genişleme valfi (EEV) bulunan çok yönlü VRF sisteminin performansının ölçülmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, iç üniteler için aşırı kızgınlık değerinin EEV ayarı yapılarak 4°C'de tutulması ve kompresör hızının her bir iç ünite için yeterli soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde ayarlanması gerektiği ortaya konmuştur.

Xia [5], Beş adet iç üniteli çok yönlü üç borulu VRF sistemi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Bu deney düzeneğinde, iç üniteler ve dış ünite bulunan 6 adet kalorimetre ile gerçekleştirilmiştir. COP değeri, sistemin toplam ısı yükünün, tükettiği toplam enerjiye oranına eşittir. Bu çalışmada, İki kompresörün tandem olarak kullanmasının, performans değerini artırdığı tespit edilmiştir.

Masuda [6], iki iç üniteli çok yönlü VRF sistemi için bir kontrol metodu geliştirmiştir. Bu yeni kontrol metodu, soğutma yükü fazla olan odada kurulan iç üniteye soğutucu akışkan debisinin diğerini göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu metod oda sıcaklığının istenilen sıcaklığa geldiğinde kompresör frekansının azalmasını veya tersi durumda yükselmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, yeni kontrol metodu ile iç ünitelerdeki soğutucu akışkan debisinin birbirinden bağımsız şekilde kontrol edilebilir.

Hai [7], 30 kW anma kapasiteli 3 borulu çok yönlü VRF sistemi üzerine çalışmıştır. Sistem, R22 soğutucu akışkanı kullanılan ve hepsi farklı kapasitede beş iç üniteye sahip bir uygulamadır. Deneysel çalışmalar sonucu, kararlı şartlar altında sistemin COP değerlerinin eşzamanlı ısıtma-soğutma modunda yüksek olduğu ortaya konmuştur.

VRF sistemlerinde iç üniteye bulunan sıcaklık sensörü, gerçek hava sıcaklığı ile termostat sıcaklığını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Sıcaklık farkına göre, iç üniteye giden soğutucu akışkan debisi EEV tarafından ayarlanmıştır. Böylece, termostat sıcaklığı ve gerçek ortam sıcaklığına göre, her bir iç ünite birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilmiş ve iç ünitelerin bir kısmı çalışmaya bile diğerleri çalışmasına devam etmiştir. Böylece, farklı bölgeler birbirinden bağımsız sıcaklıklara sahip olmuştur [8].

Hai [9], buz depolama tanklı çok yönlü VRF sistemi üzerine araştırma yapmış ve yeni bir sistem tasarlanmıştır. Buz depolama tankı ile birlikte ekstra 30oC alt soğutma sağlanmış ve bu durum enerji verim oranında %25 artış sağlamıştır. Shanghai'daki elektrik fiyatları göz önüne alındığında bu sistemin yatırım geri dönüş süresi 3 yıl olarak hesaplanmıştır.

Özsoy, ve diğerleri [10] fan coil hava hızlarının farklılaşması ve hava dağılımı incelenmiştir. Çeşitli

açılara göre, optimum tasarımı distribütör sayesinde açığı, hava dağılımını iyileştirilmiş ve daha homojen hava dağılımı elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Binanın Genel Özellikleri

Çalışmada kullanılan mimari yapı cadde üzerinde yer alan bir mağazaya ait olup Autocad programı ile 2 boyutlu olarak çizilmiştir. Bina üzerinde HAP Carrier programı ile mahallerin ısı kayıp ve kazançları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonrası sistem dizaynı için gerekli cihaz seçimleri, yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

Bina kapalı alanı 1076 m²'dir. Toplam 14 alandan oluşmaktadır. Oluşturulan mahallerle birlikte sisteme göre zonlamalar yapılmıştır. Saatlik müşteri yoğunlukları ve dış hava şartları göz önünde bulundurularak hesaplamalar tamamlanmıştır.

2.2. Transfer Fonksiyon Metodu

Transfer fonksiyon metodu "American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers" (ASHRAE) tarafından 1972 yılında ısı hesaplarının uyarlaması olarak sunulan bir yöntemdir. HAP programının temel hesaplaması TFM ile sağlanmaktadır. Isı transferi iletim, taşınım ve ışınım yöntemi ile sağlanmaktadır. TFM ise bu yöntemlerin haricinde üzerinden ısı geçişi olan maddelerin belirli zamanlarda ısıyı tutması ve daha sonradan bırakmasını temel ilke edinmektedir.

HAP programı temelinde saatlik ısı kazanç kayıplarını hesapladığı için TFM yöntemiyle birlikte günün belirli saatlerinde hapsedilen ve salınan ısıyı da hesaba katarak analizlerin daha doğru sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Örnek verilecek olursa ısı geçişi olan bir duvar öğle saatlerinde içerisinde hapsedtiği ısıyı akşam saatlerinde bırakarak ısı kayıp ve kazanç miktarına etki etmektedir. TFM sadece duvar gibi iletimle yapılan ısı geçişlerini değil aynı zamanda insanlar, aydınlatmalar, elektrikli cihazlar vb. tüm elementlerin ısı değişkenliklerini hesaplamaktadır.

Transfer Fonksiyonu yöntemi yukarıda bahsedilen hesaplamaları yaparak aslında dinamik ısı transferlerini hesaplamaktadır. Dinamik ısı transferleri ise saatlik verilerin analizlerinde istenen değişkenleri bir matematiğe dayandırarak daha doğru sonuçlar vermektedir. Bilgisayar yazılımı kullanılarak optimize edilmiş bu yöntem yayınlandığı zamandan günümüze kadar HAP programıyla birlikte en efektif kullanılan ısı transfer yöntemidir.

2.3. Isı Transfer Etkenleri

2.3.1. Duvar ve çatı yükleri hesabı

Duvar ve çatı yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde "Duvar" ve "Çatı" bölümlerinde görülmektedir. Program içeriğine tanımlanan değerler sonucunda program transfer fonksiyon metodu yöntemiyle duvar ve çatı yüklerini hesaplayarak mahal kayıplarında

göstermektedir. Duvar ve çatı yükü hesapları Eşitlik.1'e göre yapılmaktadır.

$$T_{sa} = T_{oa} + \frac{aI_t}{h_o} - \frac{eD_R}{h_o} \quad (1)$$

- T_{sa} : İç hava sıcaklığı (°C)
 T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
 a : Duvar veya çatı sıcaklık emiciliği katsayısı (Birimsiz)
 I_t : Duvar veya yüzey üzerinden ısı akışı (W/m²)
 h_o : Dış duvar veya çatı yüzeyinde konvektif ısı transfer katsayısı (17.0 W/m²)
 e : Dış yüzeyin yarı küre salınımı. 1.0 değeri kullanılır.
 D_R : Dış yüzeydeki uzun dalga radyasyonu ile kara cisim radyasyonu arasındaki fark. Dikey yüzeyler için DR=0.0. Yatay yüzeyler için DR=20.0

2.3.2. Cam güneş yükü hesabı

Cam güneş yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde "Pencere güneş etkisi" bölümünde görülmektedir. Cam veya tavanda yer alan pencerelerden içeri giren güneş etkisi bu bölümde hesaplanmaktadır. Cam güneş yükü hesabı Eşitlik.2'ye göre yapılmaktadır.

$$SHG = TSHG + ASHG \quad (2)$$

$$TSHG = [TSHGF_b(1 - F_g) + TSHGF_d] (SC) (A)$$

$$ASHG = [ASHGF_b(1 - F_g) + ASHGF_d] (N_i) (SC) (A)$$

- A : Cam alanı (m²)
 $ASHG$: Güneş ısıısının absorbe edilen bileşeni (W)
 $ASGH_b$: Absorbe edilmiş güneş ısıısı kazancının ışın bileşeni (W)
 $ASHG_d$: Absorbe edilmiş güneş ısıısı kazancının dağınık bileşenleri (W/m²)
 F_g : Doğrudan güneş ışığından gölgeli pencere alanı kesri, ondalık
 N_i : Binanın iç kısmına yapılan referans cam tarafından absorbe edilen güneş ışınımının oranı. 0.267'lik standart bir değer kullanılır.
 SC : Pencerenin genel gölge katsayısı (Birimsiz)
 SHG : Pencere, W için toplam güneş ısıısı kazancı
 $TSHG$: Güneş ısıısı kazancının bileşeni (W)
 $TSHG_b$: İletilen güneş ısıısı kazancının bileşeni (W)
 $TSHG_d$: İletilen güneş ısıısı kazancının değişken bileşeni (W/m²)

2.3.3. Cam ısı geçişi yükü hesabı

Cam ısı geçişi yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde “Cam” bölümünde görünmektedir. Dışarıya açılan veya camdan ısı geçişi olan mahaller için katsayılar tanımlanmaktadır. Tanımlı katsayılar hesaba katılarak cam güneş yükleri hesabı program üzerinden hesaplanmaktadır. Cam ısı geçiş yükü hesabı Eşitlik.3’e göre yapılmaktadır.

$$q = UA T_{oa} - T_r \quad (3)$$

- q : Cam transmision ısı kazancı (W)
 U : Pencere U değeri (W/m²-°C)
 A : Pencere alanı (m²)
 T_r : Oda hava sıcaklığı (°C)
 T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)

2.3.4. Bölme ve tavan yükü hesabı

Bölme ve tavan yükleri program içerisinde aynı katsayı ve yöntemle hesaplanmaktadır. Odalar arası duvar geçişleri ve katlar arası geçişler hesap raporları içerisinde “Bölme” ve “Tavan” bölümlerinde görünmektedir. Bölme yüklerinin hesaba girebilmesi için tasarlanan odalarda konfor sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Böylece ısı geçişi oda duvarları arasından sağlanabilir. Aynı konfor şartlarında varsayılan odalar arasında ısı geçişi olmayacağı için bölme ve tavan yükleri hesap içerisinde yok sayılacaktır. Bölme ve tavan yükü hesabı formülü aşağıda verilen Eşitlik.4’e göre yapılmaktadır.

$$q = UA (T_{adj} - T_r) \quad (4)$$

- q : Isı kazancı (W)
 U : Bölme veya tavan U değeri (W/m²-K)
 A : Bölme veya tavan alanı (m²)
 T_{adj} : Bitişik boşluktaki sıcaklık (°C)
 T_r : Oda sıcaklığı (°C)

2.3.5. Kat yükü hesabı

Kat yükü hesabı hesap raporları içeriğinde “Kat” bölümünde görünmektedir. Katlar arası ısı geçişlerinin hesabının yapıldığı bu bölümde kat döşemelerinin alanlarının ve geçiş katsayılarının girilmesiyle program üzerinden sonuçlar hesaplanmaktadır. Zemine oturmuş katlarda kat yükü hesabı Eşitlik.5’e göre yapılmaktadır.

$$q_f = P (T_{oa} - T_r) \frac{k_{soil}}{\pi x} \left[\ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{w\pi}{k_{soil}} + R_f + R_{si} + R_s \right) - \ln \left(\frac{1}{h_o} + R_f + R_{si} + R_s \right) \right] \quad (5)$$

Zemin kotu altında kalan alanlarda kat yükü hesabı Eşitlik.6 ve Eşitlik.7’ye göre yapılmaktadır.

$$q_f = P (T_{oa} - T_r) \frac{k_{soil}}{\pi x} \left[\ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{D_f \pi}{2k_{soil}} + \frac{w\pi}{k_{soil} + R_s} \right) - \ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{D_f \pi}{2k_{soil} + s} \right) \right] \quad (6)$$

$$q_w = P (T_{oa} - T_r) \frac{2k_{soil}}{\pi x} \left[\ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{\pi D_i}{2k_{soil}} + R_{wi} + R_w \right) - \ln \left(\frac{1}{h_o} + R_{wi} + R_w \right) + \ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{D_f \pi}{2k_{soil}} + R_w \right) - \ln \left(\frac{1}{h_o} + \frac{D_i \pi}{2k_{soil}} + R_w \right) \right] \quad (7)$$

- D_f : Katın zeminden aşağısında yer alan kotu (m)
 D_i : Zemin kotu altında ki duvarın derinliği (m)
 h_o : Dış yüzey konveksiyon katsayısı (34.1 W/m²-°C)
 k_{soil} : Toprak ısı iletkenliği (W/m-°C)
 P : Toprakla temasa maruz kalan duvarın çevresi (m)
 q_f : Zemin ısı kazancı (W)
 q_w : Bodrum duvarı ısı kazancı, (W)
 R_f : Temel içindeki duvar için ısı direnci, ((0.289m²-k)/W)
 R_{si} : Döşemede kullanılan yalıtımı için ısı direnci ((m²-k)/W)
 R_s : Zemin malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısı direnci ((m²-k)/W)
 R_w : Duvar malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısı direnci ((m²-k)/W)
 R_{wi} : Bodrum duvarın dış yüzeyine uygulanan yalıtımın ısı direnci ((m²-k)/W)
 T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
 T_r : Oda hava sıcaklığı (°C)
 W : Efektif kat genişliği, kat alanından etkilenen çevreye bölünerek hesaplanır

2.3.6. Aydınlatma yükü hesabı

Mahal içerisinde kullanılan aydınlatmalar ısı yaymaktadır. Kullanılan armatür türlerine göre yayılan ısı miktarları değişiklik göstermektedir. Aydınlatma yüklerinin belirlenmesi için oda içerisinde kullanılacak armatür sayısı ve modeli bilinmelidir. Aydınlatma yükleri hesap raporlarında “Başüstü Aydınlatma” ve “Masa Aydınlatması” bölümlerinde görünmektedir. Başüstü aydınlatma kısmı odanın aydınlatılması için kullanılan armatürlerin yaydığı ısı yükünü temsil etmektedir. Masa aydınlatması kısmı ise çalışma odalarında kullanılan masa üstü lambaları temsil etmektedir. Aydınlatma yükü Eşitlik.8’e göre yapılmaktadır.

$$q = K PI (BM) F_s / 100 \quad (8)$$

- q : Aydınlatma ısı kazancı (W)
 K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
 P_i : Aydınlatma gücü armatürü (watt)
 BM : Balast çarpanı, ondalık

F_s : Maksimum aydınlatma yükünün saatlik yüzde değeri

2.3.7. Elektrik ekipman yükü hesabı

Hesap raporları içerisinde yer alan “Elektrik Ekipmanı” bölümü mahallerde kullanılan elektronik cihazların yaydığı ısı yükünü temsil etmektedir. Program içerisine elektrik ekipmanlarının yaydığı ısı yükleri doğrudan girilmekte veya tasarlanan odanın kullanım amacına göre m² başına belirli bir ısı yükü tanımlanmaktadır. Elektrik ekipman yükü hesabı Eşitlik 9’a göre yapılmaktadır.

$$q = K P_e \frac{F_s}{100} \quad (9)$$

q : Aydınlatma ısı kazancı (W)
 K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
 P_e : Elektrik ekipman maksimum gücü (watt)
 F_s : Maksimum elektrik ekipman yükünün saatlik yüzde değeri

2.3.8. İnsan yükü hesabı

İnsan yükü hesabı mahal içerisinde bulunan insanların yaptıkları aktivitelere göre vücuttan yayılan ısı yükünü hesaba yansıtılmaktadır. Hesap raporlarında “İnsan” olarak belirtilen kısımda ısı yükleri gösterilmektedir. Program içerisinde yükler hesaplanırken ilgili mahalde kaç insan bulunduğu, insanların aktiviteleri gibi değişkenler tanımlanmaktadır. İnsan yükü hesabı Eşitlik.10’a göre yapılmaktadır.

$$q = (HG)(O) \frac{F_s}{100} \quad (10)$$

q : İnsanların ısı kazancı (W)
 K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
 O : Maksimum insan sayısı
 F_s : Maksimum insan yükünün saatlik yüzde değeri

2.3.9. İnfiltrasyon ısı yükü hesabı

İnfiltrasyon ısı yükü, hesap programı içerisinde sadece hava akışının olduğu mahallerde hesaba katılmaktadır. İnfiltrasyon ısı mahale hava yoluyla taşınan veya hava yoluyla dışarı çıkan ısı miktarını göstermektedir. Cam fuga ve kapı alanlarından sızan havalar mahalın sıcaklığını etkilemektedir. İnfiltrasyon yükü program

içerisinde “İnfiltrasyon” olarak yer almaktadır. İnfiltrasyon yükü hesabı Eşitlik 11’e göre yapılmaktadır.

$$V_i = (\text{Air Changes per Hour}) (AF) \frac{H}{K} \quad (11)$$

$$Q_s = \rho_a C_{pa} V_i K (T_{oa} - T_r)$$

$$Q_l = \rho_a H_{fg} V_i K (w_{oa} w_r)$$

Burada;

AF : Boşluk için taban alanı (m²)
 C_{pa} : Havanın ısınma ısısı (1004.8 J/kg-K)
 H : Kat zeminden tavana olan yükseklik (m)
 H_{fg} : Suyun buharlaşma gizli ısısı (2.4535x10⁶ J/kg)
 K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için m³/1000 L
 ρ_a : Havanın yoğunluğu, yüksekliğe bağlı olarak (kg/m³)
 Q_l : Gizli infiltrasyon ısı yükü (W)
 Q_s : Hissedilir infiltrasyon ısı yükü (W)
 T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
 T_r : Oda sıcaklığı (°C)
 V_i : İnfiltrasyon hava akış hızı L/s
 w_{oa} : Dış havanın özgül nemi (kg/kg)
 w_r : Oda havasının özgül nemi (kg/kg)

değerlerini ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Isı Kayıp Kazanç Hesabı

Binamız Bolu’da bulunan bir cadde mağazasına aittir. İnsan yoğunluğu, bina özellikleri gibi hususlar her mahal için ayrı ayrı tanımlanmış ve bu doğrultuda hesaplar ortaya çıkarılmıştır.

FCU ve VRF sistem tasarımının yapılması için belirlenen mağazanın ısı yükleri HAP Programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Mahallere göre hesaplanan ısıtma ve soğutma yükleri ile toplam alanları Mahal listesi Tablo.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Mahal Isıtma ve Soğutma Yüğü Listesi

Mahaller	Soğutma Yüğü (kWh)	Isıtma Yüğü (kWh)	Kat Alanı (m ²)
1. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
1.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
2. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
2.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
3. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
3.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
4. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
4.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
5. Kat Depo	4,81	3,7	74
5. Kat Müdür Odası	1,08	0	5,8
5. Kat Pers. Soyunma Odası-1	0,80	0	3,6
5. Kat Pers. Soyunma Odası-2	0,83	0,1	3,6
Zemin Kat Deneme Kabini	2,08	1,2	12,8
Zemin Kat Satış Alanı	37,89	14,2	185
Toplam	152,93	74,9	1076

3.2. VRF Sistemi Cihaz Seçimleri

VRF sistemi için projede belirtilen IU (iç ünite) kodları ve seçilen cihazların listesi Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Hesaplara göre cihazların seçim adetleri Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 2. VRF Cihaz ve Kapasiteleri

Cihaz Kodu	Açıklama	Cihaz Tipi	Kapasite (kWh)
IND-01	İç Ünite	Kaset	11,2
IND-02	İç Ünite	Kaset	9,0
IND-03	İç Ünite	Duvar	5,6
IND-04	İç Ünite	Duvar	3,6
IND-05	İç Ünite	Duvar	2,2
OU-01	Dış Ünite	Tek Kompresör	28,0
OU-02	Dış Ünite	Çift Kompresör	40,0

Tablo 3. VRF cihaz adetleri

İç Ünite	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
IND-01	2	2	2	2	2	
IND-02	2					
IND-03						1
IND-04		1	1	1	1	
IND-05	1					3

Tablolardan yola çıkılarak katlarda kullanılacak olan VRF iç ünite tipleri ve kapasiteleri belirtilmiştir. Toplam kapasite sonucu %100 diversite ile çalışmaya uygun dış ünite seçimi yapılmıştır. Daha verimli çalışma sistemi oluşturmak adına bina iki zona ayrılacaktır. 1. ve 2. kat birinci zon olarak 3. ve 4. kat ise ikinci zon olarak tasarlanmıştır. Sistem için oluşturulan zonlar Tablo 4'de zonlar ve kapasitesiler tablosunda gösterilmektedir.

Tablo 4. Zonlar ve Kapasiteler

Zonlar	Kapasite (kWh)	Seçilen Dış Ünite (HP)	Dış Ünite Kapasitesi (kWh)
Zemin 1 ve 2. kat	94,2	10+10+14	96
3, 4 ve 5. kat	58,5	10+14	68
Toplam Kapasite(kW)		164	

3.3. FCU Sistemi Cihaz Seçimleri

VRF sistemine alternatif olarak düşünülen FCU sistemi için aynı kapasite ve tiplerde iç ünite seçimlerinin yapıldığı tablo aşağıda yer almaktadır.

FCU cihaz ve kapasiteleri Tablo 5’de gösterilmiştir. Tablo 5’de gösterilen cihazların adetleri ve hesaplara göre seçim adetleri Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 5. FCU Cihaz ve Kapasiteleri

Cihaz Kodu	Açıklama	Cihaz Tipi	Kapasite (kWh)
FCU-01	İç Ünite	Kaset	10,47
FCU-02	İç Ünite	Kaset	9,72
FCU-03	İç Ünite	Döşeme	5,25
FCU-04	İç Ünite	Döşeme	3,61
FCU-05	İç Ünite	Döşeme	2,41
FCU-06	İç Ünite	Döşeme	1,97

Tablo 6. FCU Cihaz Adetleri

FCU Ünitesi	Zemin Kat	1. KAT	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
FCU-01	2					
FCU-02	2	3	3	3	3	
FCU-03						1
FCU-04		1	1	1	1	
FCU-05	1					
FCU-06						3

Cihaz seçimlerinin ardından sistem ekipman seçimleri yapılmalıdır. Sistem ekipmanları için duvar tipi yoğunlaşmalı kazan ve chiller sistemi kurulacaktır. Cihaz seçimleri soğutma kapasiteleri üzerinden yapılmıştır. Isıtma ve kazan kapasitesi hesap raporları baz alınarak yapılmalıdır. 185,03 kW soğutma kapasitesi baz alınarak 185,4 kW chiller seçimi yapılmıştır. Kapasite ihtiyacına göre kazan seçimi yapılacaktır. Toplam ısıtma ihtiyacı 74,9 kW çıkmaktadır. Tek kazan sistemi kurularak ısıtma ihtiyacı karşılanabilmektedir.

FCU tarafı ısıtma ihtiyacı için bir adet 100 kW duvar tipi yoğunlaşmalı kazan seçilmiştir.

3.4. FCU ve VRF Sistemi Cihaz Yatırım ve İşletme Maliyetleri

Cihaz seçimleri sonrası yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılarak yatırımcıya doğru bilgi aktarılması ve ülke kaynaklarının doğru kullanılması konusu mühendisliğin getirdiği sorumlulukların başında gelmektedir. VRF sistemi yatırım maliyetleri ile ilgili çalışma tablosu Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. VRF Cihazları ve Fiyatları

Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
IND-01	Kaset Tipi İç Ünite	10	2.819,88	28.198,8
IND-02	Kaset Tipi İç Ünite	2	2.719,08	5.438,16
IND-03	Duvar Tipi İç Ünite	1	1.617,84	1.617,84
IND-04	Duvar Tipi İç Ünite	4	1.421,28	5.685,12
IND-05	Duvar Tipi İç Ünite	4	1.363,32	5.453,28
OU-01	Dış Ünite	3	19.146,96	57.440,88
OU-02	Dış Ünite	2	29.012,76	87.038,28
-	Dış Ünite Bağlantı Kiti	2	2792,40	5.584,80
-	Dış Ünite Bağlantı Kiti	1	3793,20	3.793,20
-	Bakır Borulama	1		80.097,94
Toplam				280.348,3

VRF sistem yatırım maliyetlerinde cihazların yanı sıra cihaz bağlantıları için kullanılan bakır boru, jointler ve gaz bulunmaktadır. Bağlantı kitleri cihazlardan gelen

dalların birleşerek dış üniteye tek bir giriş yapılmasında kullanılan birleştirici ekipmandır. 4 Borulu FCU sistemi yatırım maliyetleri ile ilgili çalışma Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. FCU Cihazları ve Fiyatları

Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
FCU-01	Kaset Tipi İç Ünite	2	4.120,80	8.241,6
FCU-02	Kaset Tipi İç Ünite	14	3.916,80	54.835,2
FCU-03	Döşeme Tipi İç Ünite	1	1.568,16	1.568,16
FCU-04	Döşeme Tipi İç Ünite	4	968,88	3.875,52
FCU-05	Döşeme Tipi İç Ünite	1	1.203,84	1.203,84
FCU-06	Döşeme Tipi İç Ünite	3	1.067,22	3.201,66
Chiller	Hava Kaynaklı	1	160.380	160.380
Kazan	Duvar Tipi Yoğuşmalı	1	14.230,00	14.230,00
Sirk. Pompası-1	Sirkülasyon Pompası	2	4.230,6	8.461,2
Sirk. Pompası-2	Sirkülasyon Pompası	2	6.725,4	13.450,8
Kazan Dairesi Ekipmanları	Vana grupları, denge kabı, genleşme tankı vb.	1	7.650,00	7.650,00
Borulama		1	94.756,80	94.756,80
			Toplam	371.854,78

Yatırımdan sonra başka bir önemli husus ise işletme maliyetleri ve sistem ömrüdür. İşletme maliyetleri içerisinde elektrik tüketim değerleri, yedek parça değişimleri, yıllık bakımlar ve teknik kadro maliyetleri

yer almaktadır. İki sistem özelinde yapılan elektrik tüketim değerleri aşağıda Tablo 9 ve Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 9. VRF Cihazları Elektrik Tüketim Değerleri

Cihaz Kodu	Adet	Cihaz Elektrik Tüketimi (kWh)	Cihazlar Toplam Elektrik Tüketim (kWh)
IND-01	10	0,14	1,40
IND-02	2	0,13	0,26
IND-03	1	0,04	0,04
IND-04	4	0,03	0,12
IND-05	4	0,03	0,12
OU-01	3	7,05	21,15
OU-02	2	11,19	22,38
Toplam (kWh)			45,47

Tablo 10. FCU Ekipmanları Elektrik Tüketim Değerleri

Cihaz Kodu	Adet	Cihaz Elektrik Tüketimi (kWh)	Cihazlar Toplam Elektrik Tüketim (kWh)
FCU-01	2	0,225	0,45
FCU-02	14	0,19	2,66
FCU-03	1	0,07	0,07
FCU-04	4	0,06	0,24
FCU-05	1	0,055	0,055

FCU-06	3	0,032	0,096
Kazan	1	0,43	0,43
Chiller	1	61,4	61,4
Sirk.	4	0,8	3,2
Pompaları			
Toplam (kWh)			68,601

İki sistemin saatlik elektrik sarfiyat değerlerinin belirlenmiştir. Elektrik sarfiyat birim fiyatı SEPAŞ tarafından belirlenmektedir. SEPAŞ'ın kWh ücretlendirmesi saatlik 0,2310 TL/kWh'tır. Belirlenen

değerler sonrası işletmenin yatırım maliyetlerinin devamında 8 yıllık işletme maliyeti Tablo11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. VRF Sistemi İşletme Giderleri

İşletme Giderleri	Aylık	Aylık (TL/kWh)	Yıllık (TL)	8 Yıllık (TL)	Enflasyona Bağlı 8 Yıllık (TL)
Elektrik	7093,32 kWh	1.638,56	19.662,68	157.301,46	186.402,24
Bakım	₺ 315,00	315,00	3.780,00	56.700,00	30.240,00
Yedek Parça	₺ 69,00	69,00	828,00	6.624,00	6.624,00
Teknik Ekip	₺ 1.750,00	1.750,00	21.000,00	168.000,00	168.000,00
				TOPLAM	₺ 391.266,24

VRF işletme giderleri hesaplandıktan sonra sistemin 8 yıllık giderlerinin toplamına göre veriler yüzdesel olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

Belirlenen değerler sonrası işletmenin yatırım maliyetlerinin devamında 8 yıllık işletme maliyeti Tablo 12'de gösterilmiştir.

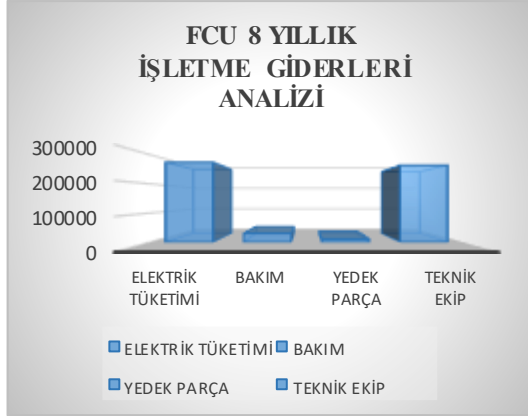


Şekil 1. VRF İşletme Giderleri

Tablo 12. FCU Sistemi İşletme Giderleri

İşletme Giderleri	Aylık	Aylık (TL/kWh)	Yıllık (TL)	8 Yıllık (TL)	Enflasyona Bağlı 8 Yıllık (TL)
Elektrik	10701,76 kWh	2.472,11	29.655,28	237.322,23	274.107,18
Bakım	₺ 315,00	315,00	3.780,00	30.240,00	30.240,00
Yedek Parça	₺ 115,00	115,00	1.380,00	11.040,00	11.040,00
Teknik Ekip	₺ 2.750,00	2.750,00	33.000,00	264.000,00	264.000,00
				TOPLAM	₺ 579.387,18

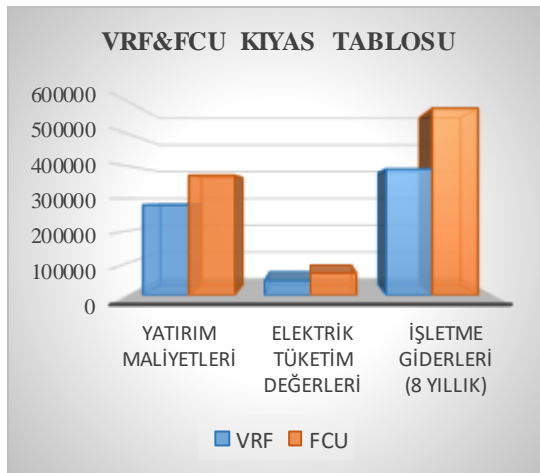
FCU işletme giderleri hesaplandıktan sonra sistemin 8 yıllık giderlerinin toplamına göre veriler yüzdesel olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. FCU İşletme Giderleri

8 yıllık elektrik tüketim değerleri üzerinden maliyet hesabına %18,5 enflasyon değeri uygulanmıştır. Tüketim değeri ortalaması belirlenen oran üzerinden iki sistem içinde uygulanarak tablolar oluşturulmuştur. Yedek parça ücretleri çıkarılırken FCU sisteminde vana grupları, FCU iç parçaları vb. kalemler baz alınarak yedek parça ve bakım ücretleri oluşturulmuştur. Teknik ekip kadrosunda 2 kişinin yer alması gerekecektir. Borulama sistemi, vana grupları, tadilatlarda karşılaşılabilecek izolasyon değişimleri ve mevsim geçişlerinde görevlendirilen kişiler teknik kadro giderlerine yazılmıştır.

VRF sisteminde ise merkezi kumanda ve izleme sistemi daha efektif olacağından tek kişilik ve daha teknik kapasiteli bir kadro düşünülmüştür. Yedek parça değişimleri ve parça değişimleri tamamen fabrikasyon ürünü olacağı için daha düşük maliyet çıkaracaktır. Oluşturulan maliyet kıyaslamaları Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. VRF&FCU Karşılaştırma

4.SONUÇLAR

ASHRAE Transfer fonksiyon metodu kullanılarak HAP üzerinden hesaplamalar yapılarak mahallerin ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Mağazaya ait bütün alanların özellikleri programda tanımlanmış ve bulunduğu ilin hava şartları girilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo.1’de verilmiştir. Toplam 1076 m2 alan için hesaplanan soğutma yükü 152,93 kWh ve ısıtma yükü ise 74,9 kWh olmuştur. Hesaplanan mahal ısı yüklerine göre İki Borulu VRF ve dört (4) borulu FCU sistem ekipmanları seçilmiştir.

VRF sistemi fabrikasyon olarak daha profesyonel üretim ve hizmet ağına sahiptir. Montajı üretici firmalarla belirlenen yetkili servislerce imalathanelerde üretilen bakır borularla yapılmaktadır. FCU sistem ekipmanları ve borulaması da yetkili kişilerce yapılmaktadır. İşçilik VRF sistemine göre daha çok insan kabiliyeti istemektedir ve imalat hatası oranı daha yüksektir.

İlk yatırım maliyetinde VRF sistemi tek firma üretimi olduğu için daha avantajlı fiyatlar sunmaktadır. FCU sistemini oluşturan ekipmanlar, tek bir firmadan tedarik edilemediği için işletmede oluşabilecek sıkıntılarda malzeme temini için daha fazla zaman ve para harcanmaktadır. FCU sistemini oluşturan parçaların fazla olması nedeniyle daha fazla teknik personele ihtiyaç duyulmaktadır.

Yatırım maliyetleri, işletme giderleri, tedarikçi ağı, teknik personel ihtiyacı gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem kıyaslamasını sadece yatırım maliyetleri üzerinden değerlendirmek sağlıklı sonuçlar oluşturmayacaktır.

Her iki sistem içinde ilk yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. VRF sistemlerinde ilk yatırım maliyeti, 280.348,3 TL işletme giderleri 291.266,18 TL ve enerji tüketimi 45,47 kWh olarak bulunmuştur. 4 borulu FCU sistemlerinde ise ilk yatırım maliyeti 371.854,78 TL, işletme giderleri 579.387,18 TL ve enerji tüketim değeri 68,601 kWh olarak hesaplanmıştır. VRF sistemlerinin FCU sistemlerine göre ilk yatırım maliyetlerine göre %24,6, işletme giderlerinde %32,5 ve enerji maliyetlerinde ise %33,7 oranında daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Tasarlanan yapılarda 400 kW ve üzeri soğutma yükü ihtiyacı çıkması durumunda VRF sistemi zonlamaları ve dış ünite sayılarında artışlar oluşmaktadır. VRF sistemi dış ünite sayılarının artması nedeniyle avantajlarını kaybetmeye başlamaktadır. FCU sisteminde ise bir adet chiller yüksek kapasitelere kadar çıkabildiği için adet artırımı olmadan kapasite artışına gidilerek sistem çözümlenebilmektedir. FCU sistemde fiyatlara en fazla etki eden ekipmanın chiller, VRF sistemde ise fiyatlara en fazla etki eden ekipmanın dış üniteler olduğu düşünülürse, soğutma

ihtiyacının artmasıyla birlikte sistem yeniden tasarlanırsa FCU kullanımı VRF sistemine göre daha avantajlı hale gelecektir.

Tez içerisinde ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarına yönelik sistemler tasarlanmıştır. ASHRAE standartları gereği mahallerde taze hava ihtiyaçlarının da konfor ve sağlık açısından karşılanması gerekmektedir. Taze hava ihtiyaçları mahallerin kullanım amacı, kişi sayısı vb. durumlara göre katsayılar içermektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için seçmiş olduğumuz sistemlere ısı geri kazanım cihazları ilave edilebilmektedir. VRF sistemi için DX bataryalı ısı geri kazanım cihazı, FCU sistemi için sulu bataryalı ısı geri kazanım cihazı kullanılarak mahallerde taze hava ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Aynur T.N., Hwang, Y., Radermacher R., Field Performance Measurements of a VRV AC/HP System, 11 th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, IN-A.B.D., 1-8, 15-20 Temmuz 2006.
- [2] Aynur T.N., Hwang Y., Radermacher, R., Experimental Evaluation of the Ventilation Effect on the Performance of a VRV System in Cooling Mode - Part I: Experimental Evaluation, HVAC&R Research, 14 (4), 615-630, 2008.
- [3] Çalışkan H., Dinçer İ., Hepbaşlı A., Exergoeconomic and Sustainability Analyses of a Novel Air Cooler, Energy and Build., 55 (1), 747-756, 2012.
- [4] Park, Y.C., Kim, Y.C. and Min, M.K., “Performance analysis on a multi-type inverter air

conditioner”, Energy Conversion and Management, 42 (13):1607–1621, (2001).

[5] Xia, J., Winandy, E., Georges, B. and Lebrun, J., “Testing methodology for VRF systems”, 9th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, IN, USA, 1-8, (2002).

[6] Masuda, M., Wakahara, K. and Matsui, K., “Development of a multi-split system air conditioner for residential use”, ASHRAE Transactions, 97: 127-131, (1991).

[7] Hai, X.H., Jun, S., Hand, Z.Y. and Bin, T.C., “Design and research of the digital VRV multiconnected units with three pipes type heat recovery system”, 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, West Lafayette, IN, USA, 1-5, (2006).

[8] Aynur, T.N., Hwang, Y. and Radermacher, R., “Field performance measurements of a VRV AC/HP system”, 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, West Lafayette, IN, USA, 1-8, (2006).

[9] Hai, X.H., Tao, Z., Yun, F.H. and Jun., S., “Design and research of the commercial digital VRV multi-connected units with sub-cooled ice storage system”, 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, West Lafayette, IN, USA, 1-5, (2006).

[10] Özsoy M., Yücel C. , Varlıca O., Kılıç S., Kaplan K. Optimization of Air Distribution in A Non-Ducted Concealed Type Fancoil Unit Heat Exchanger ,Yıl 2019, Cilt 5 , Sayı 3, Sayfalar 124 – 130.