

ISI GERİ KAZANIMLI DEĞİŞKEN AKIŞKAN DEBİLİ (VRV/VRF) KLİMA SİSTEMİNİN TERMODİNAMİĞİ VE AKIŞ KONTROLU

Mustafa EYRİBOYUN

ÖZET

Aynı anda hem ısıtma hem serinletme gerektiren iklimlendirme uygulamalarında dört borulu sulu sistemlerin yerine kullanılan, ısı geri kazanımlı değişken akışkan debili klima sistemlerinin (VRV/VRF) kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Çünkü bu sistemler binanın yıllık ısıtma/soğutma enerji harcamasında %30'lara varan enerji tasarrufu sağlayabilmektedirler. Ancak sistemlerin kurulum masrafları yüksektir. Bunda da, üretim maliyetinin yüksek olması yanında Türkiye'de kullanılan sistemlerin tamamının ithal yoluyla karşılanmasının önemli rolü vardır. En basit split klima cihazının kontrolü bile ciddi bir elektronik kontrol donanımı ve yazılımı gerektirmektedir. Yazılım, sistem üzerindeki belirli noktalardan elde edilen verileri sürekli olarak işleyerek, en iyi (optimum) koşullarda çalışmasağlar. VRV/VRF sistemlerinde kontrol işlemi çok daha karmaşık yapıdadır. Kontrol sistemi, her odanın talep ettiği ısıtma veya serinletme ihtiyacına göre o odaya gönderilmesi gereken akışkan debisini belirleyerek, kompresörün buna uygun koşullarda çalışmasını sağlar. Kompresörden çıkan akışkanın istenen debi ve fazda iç ünitelere dağıtılması; iç, dış ve BS ünitelerindeki valflerle sağlanır. Kontrol sistemi, cihazların bağımsız veya birlikte çalışmalarına imkan tanır. Bu çalışmada değişik işletme koşulları için sistemin eşdeğer devreleri oluşturularak akışkan debileri hesaplanmış ve akışkanın üniteler içinde izlediği yol gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IsıGeri KazanımlıVRV, VRF Termodinamiği, Soğutucu Akışkan Akış Kontrolü

ABSTRACT

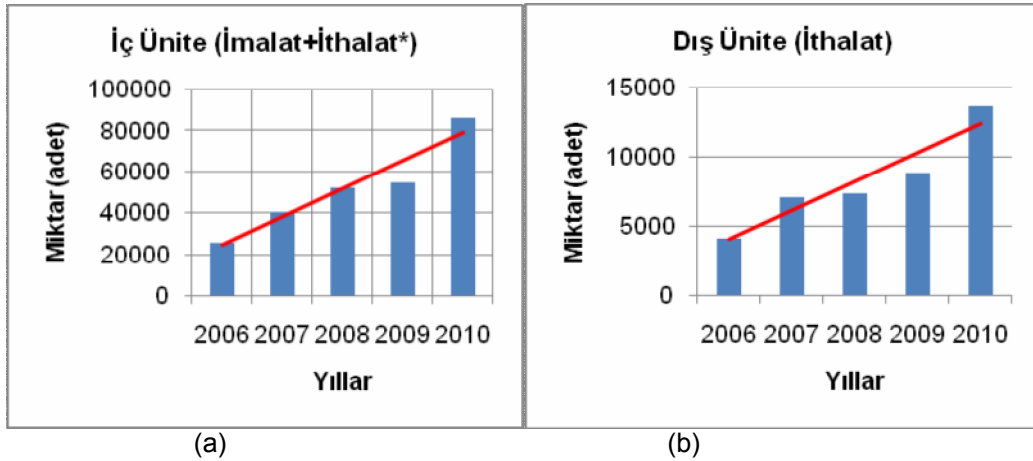
Heat recovery variable refrigerant flow (VRF/VRV) systems are widely used recently instead of four pipe system which requires both cooling and heating applications, simultaneously. Because, these systems provide 30% annual energy saving in cooling and heating energy consumption. However, installation cost of these systems is high. High costs are not only caused by high production costs but also they are affected by only imported products used in Turkey. Even control process of a simplest split air conditioner requires a high level electronic hardware and software. The software provides optimum working conditions by continuous processing data which are collected from specified points on the. The control process of the VRV/VRF systems has more complex structure. The control system provides appropriate working conditions for compressor by determining coolant flow rate which depend on the demand of cooling or heating rate for every room. Distribution of desired mass flow rate and phase state of coolant, which leaves compressor, is provided by control valves in outdoor, indoor and BS units. Control system enables the devices work together or individually. In this study, coolant flow rates for different working conditions are calculated by using equivalent circuits were introduced and showed route of coolant in the piping system.

Key Words: Heat Recovery VRV, Thermodynamics of VRF, Coolant Flow Control

1. GİRİŞ

Türkiye’de son yıllarda klima cihazlarının üretimi ve satışı hızla artmıştır. Ekonomik kalkınmaya paralel olarak artan alım gücü ve bunun sonucu olarak artan konfor talebi dikkate alındığında önümüzdeki yıllarda bu artışın devam edeceği açıktır. Bu artış, hem klima sistemlerinde hem de bireysel kullanıma yönelik klima cihazlarının satışlarında olacaktır. Büyük tesislerde kurulan merkezi klima santrallerinin bir kısmı yerli imalat olmakla birlikte; kompresör, kontrol sistem ve elamanları, hatta yoğuşturucu ve buharlaştırıcı serpantinleri kısmen ithal yoluyla karşılanmaktadır. Bireysel klima cihazlarında yerli üretim yanında doğrudan yabancı markalarla satışa sunulmakta ya da adı yerli olsa bile, içindeki parçalar yurtdışındayaptırılan üretime dayalı cihazlardır. Dolayısıyla dünya klima piyasası için Türkiye,daha çok,tüketici konumundadır.

Merkezi klima sistemleri içinde değişken akışkan debili sistemler de son yıllarda hızla pazar payını artırmaktadır (Şekil 1). Bu ürünler, VRV ve VRF gibi isimlerle, değişik firmalar tarafından üretilip pazarlanmaktadır. Markalara göre küçük değişiklikler gösterebilir de hemen hepsinin çalışma prensipleri aynıdır. VRF/VRV klima sistemleri; bir dış ünite ile akışkan dağıtıcıları yardımıyla birden çok iç ünitenin, birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği direkt genleşmeli klima sistemleridir. Isı geri kazanımlı tiplerinde iç üniteler birbirinden bağımsız olarak biri ısıtma yaparken, diğeri soğutma yapabilir. Her iç ünitenin ihtiyaç duyduğu soğutucu akışkan miktarı devir sayısı değişken olan (invertör kontrollü) kompresör veya kompresörlerle sağlanır. Isı Geri Kazanımlı Değişken Debili Klima Sisteminin (IGK-VRF) çalışma prensibi daha önce bu kongrede sunulan bir bildiriye kısaca anlatılmıştır [1]. VRF sistemlerin projelendirilme esasları da [2] no.lu kaynakta verilmiştir.



Şekil 1. VRF/VRV Klima iç ve dış ünite ithalat miktarları. *: Oran verilmemiş, büyük ağırlık ithalattır [3].

Özellikle iç kısımlarında yeme-içme mekanlarının bulunduğu alış-veriş merkezilerinin iç bölümleri serinletme ihtiyacı duyarken, dış duvara yakın bölümlerin ısıtılması (ya da tersi) gerekebilir. Aynı şekilde müşterilerine konfor taahhüt eden büyük otellerde, mevsim geçiş dönemlerinde binanın kuzeye bakan cephelerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulurken, güneye bakan cephelerinde serinletme gerekebilir. Bina içindeki bağımsız bir bölümün ısıtma ya da soğutma yükü; kullanım amacına bağlı olarak, içindeki insan ve çalışan elektrikli cihazların sayısına göre ya da güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak aynı gün içinde de değişkenlik gösterebilir. IGK-VRF Sistemlerinin en önemli özelliği; aynı dış üniteye bağlı iç ünitelerde birbirinden bağımsız olarak ısıtma veya soğutma yapılabilmesidir. Isıtma ya da soğutma yükündeki değişmelere karşın oda içinde istenen sıcaklık değerleri ya sistemi dur-kalk şeklinde çalıştırarak ya da oda içindeki ünitelerden geçen akışkan debisini değiştirerek sağlanabilir. Günümüzde bu, akışkan debisini değiştirerek sağlanmaktadır. Oda içindeki ünitelerde akışkan debisinin değişken olması, sonuçta kompresörlerdeki akışkan debisinin de değişken olması demektir. Bu da değişken devirli kompresörler ile sağlanmaktadır. Küçük güç gerektiren uygulamalarda tek bir değişken devirli kompresör kullanılırken, büyük sistemlerde biri sabit, diğeri değişken devirli ya da ikisi de değişken devirli kompresör beraberce kullanılmaktadır. Bu durum tamamen üretici firmaların tercihleriyle ilgilidir. Değişik işletme koşullarına uygun devirde çalışan kompresörlerin, elektrik

tüketimleri sabit devirliere göre daha az olduğu gibi dur-kalk sırasında oluşacak gürültü de ortadan kaldırılmış olmaktadır. Merkezi sistemlere ihtiyaç duyulan, daha büyük ısıtma/soğutma yüklerinin olduğu binalarda ise birden çok dış ünite birbirine bağlanarak VRF sistemleri merkezi çözüm üretilebilmektedir.

VRV sistemlerinin 1980'lerden günümüze kaydettiği gelişim ayrıntılı olarak Aynur [4] tarafından verilmiştir. JinqiangXu ve Ziping Feng tarafından, VRV sisteminin çok değişkenli, nonlineer, gecikme zamanlı ve değişken zamanlı karakteri olduğu kabulüyle; üç buharlaştırıcı VRV sisteminde sıcaklık kontrolü için güçlü ve kendi kendine uyum sağlayan, iki kademeli Fuzzy Oransal İntegral Derivative (FPID) kumanda tasarlanmış ve simule edilmiştir [5].

ZHOU et al. [6] VRV hava şartlandırma (klima) sisteminin enerji performansını artırmak için yeni bir simülasyon modülü geliştirmişler ve bina enerji simülasyon programı EnergyPlus'ın (ABD) kabul ettiği esaslara uygun şekilde deneysel olarak geçerliliğini göstermişlerdir. Aynı çalışmada yaptıkları testlerle, VRV sisteminin kısmi yüklerde daha yüksek performans sergilediğini göstermişlerdir.

IGK-VRF Sistemlerinin bir bütün olarak anlaşılması ve kontrol sisteminin geliştirilmesi; makine, elektronik, bilgisayar ve elektrik mühendisliği alanında uzmanların bir arada çalışmasını gerektirir. Bu çalışmada, sistemin iç yapısına ve termodinamiğine girilerek akış kontrolünün nasıl yapıldığı üzerinde durulacaktır. Bununla amaçlanan; değişken debili sistemlerinin kontrol algoritmasının oluşturulmasına katkı sağlamak için bir ilk adım atmaktır.

2. TERMODİNAMİK ANALİZ

2.1. Temel Bilgi

Isıtma ya da soğutma yükü gün boyu değişkenlik gösteren bir uygulamada, o gün boyunca dış sıcaklıktaki değişim, yaz ile kış arasındaki değişime göre daha az olacaktır. Dolayısıyla IGK-VRF sisteminde soğutucu akışkanın (bundan sonra yalnız akışkan olarak adlandırılacaktır) buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları, dolayısıyla kompresörün çalıştığı basınç aralığı yazın başka, kışın başka olabilecektir. Bu çalışmada karşılaştırma yapabilmek için akışkanın buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı tüm farklı işletme koşulları için aynı alınmıştır. Çalışma boyunca tüm hesaplamalar için soğutucu akışkan olarak günümüzde kullanılan R-410A alınmış; buharlaşma sıcaklığı +7 °C, yoğuşma sıcaklığı ise +55 °C seçilmiştir. Basınçlar ise, sırasıyla bu sıcaklıklara karşılık gelen 9.90 bar buharlaşma ve 33.96 bar yoğuşma basınçlarıdır. Kızdırma ve aşırı soğutma değerlerinin her biri 5 K alınmıştır.

IGK-VRF Sistemleri yalnız soğutma (klima) veya yalnız ısıtma yapan (ısı pompası) iki sistemin birleştirilerek tek bir sistem olarak çalıştırılması esasına dayanmaktadır. Bir odadan ısı çekilirken, diğer odaya ısı verilmesi gerektiğinde, ısı çekilen odada buharlaştırıcı, ısı verilen odada yoğuşturucu bulunması gerekir. O halde sistemde bulunması zorunlu olan buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun uygun yerleştirilmesiyle iki ayrı sistem yerine, tek bir sistemle iki iş birden görülmüş olacağından daha ekonomik bir çözüm üretilmiş olur. Şekil 2'de bu durum şematik olarak gösterilmiştir. Soğutma yapılan odadan buharlaştırıcının çektiği ısı $Q_b = 5$ kW, ısıtma yapılan odaya yoğuşturucunun verdiği $Q_y = 5$ kW olarak alınmıştır. İki odanın birbirinden bağımsız olarak çalışan sistemlerle soğutulması/ısıtılması halinde bu yüklerin karşılanması için gerekli R-410A kütleli debisi, yukarıda verilen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları için oluşturulan $\ln P-h$ diyagramındaki çevrimden (Şekil 3) okunan entalpiler kullanılarak, sırasıyla $\dot{m}_5 = 0.03578$ kg/s ve $\dot{m}_1 = 0.02863$ kg/s olarak hesaplanmıştır. Bu iki sistemin birleştirilmesiyle elde edilen VRF sisteminde ise yalnız $\dot{m}_{VRF} = 0.03578$ kg/s debideki akışkan yeterli olmaktadır.

Hesaplamalar için kullanılan formüller aşağıda verilmiştir. Soğutma yapan iç üniteye bulunan ısı değiştirici, buharlaştırıcı olarak çalıştığından akışkanın aldığı ısı:

$$Q_b = \dot{m}_5 (h_1 - h_4) \text{ kW} \quad (1)$$

Buradan,

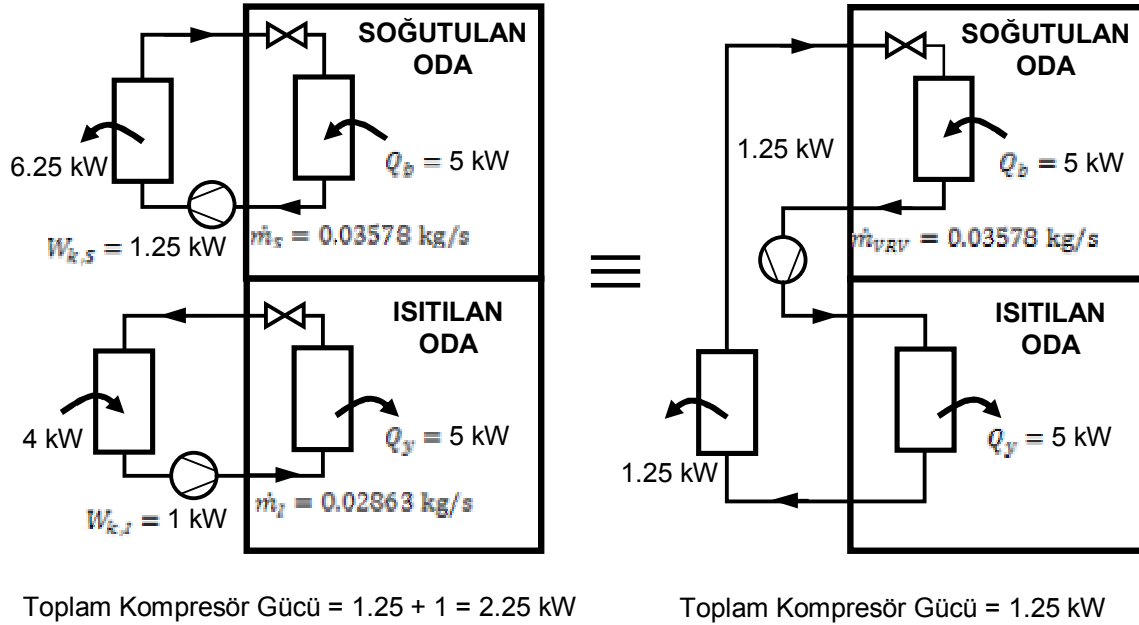
$$\dot{m}_s = \frac{Q_b}{(h_1 - h_4)} \text{ kg/s} \quad (2)$$

Isıtma yapan iç üniteye bulunan ısı değiştirici yoğuşturucu olarak çalıştığından, akışkanın aldığı ısı:

$$Q_y = \dot{m}_i (h_2 - h_3) \text{ kW} \quad (3)$$

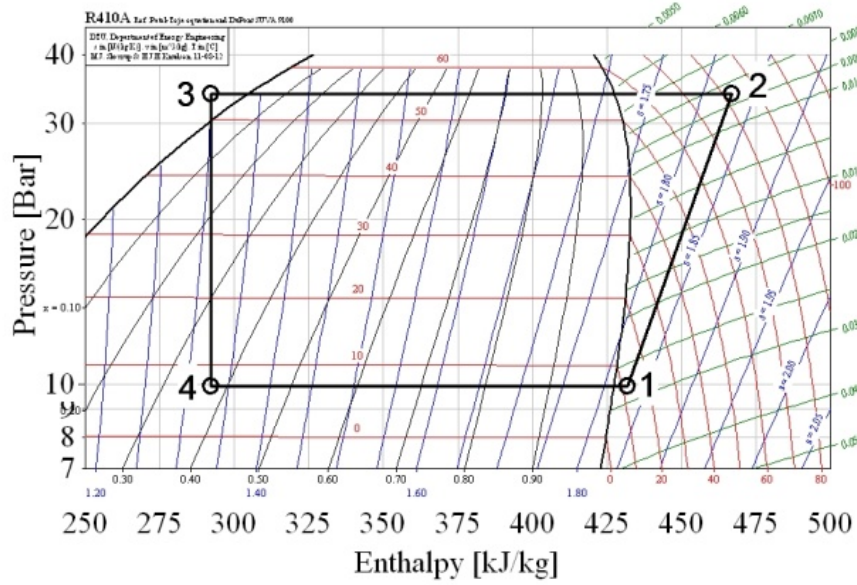
Buradan,

$$\dot{m}_i = \frac{Q_y}{(h_2 - h_3)} \text{ kg/s} \quad (4)$$



Şekil 2. IGK-VRF Sisteminin temel çalışma ilkesi.

Şekil 2'den görüldüğü gibi; 2.25 kW'lık toplam kompresör gücü yerine 1.25 kW'lık kompresör ile aynı amaca ulaşılmaktadır. Güç kazancı = $1 - (1.25/2.25) = 0.44$ olmaktadır. Isıtılan ortamın ısı ihtiyacı 6.25 kW olsaydı kazanç %50 olurdu.



Şekil 3. Çevrime ait LnP-h diyagramı (RefUtil [7] ile oluşturulmuştur).

Eşitlik 1-4'deki entalpi terimleri, Şekil 3'deki noktalara ait olup; değerleri, basınç ve sıcaklık değerleri ile birlikte Çizelge 1'de verilmiştir. IGK-VRF sistemine ait debi hesaplarında da aynı entalpi değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Soğutma çevrimine ait seçilen ve bulunan değerler (Değerler RefUtil'den [7] okunmuştur).

| | Sembol | T (°C) | P (Bar) | h (kJ/kg) |
|-------------------------|---------|----------|-----------|-------------|
| Buharlaştırma Sıcaklığı | (T_b) | 7 | 9.90 | --- |
| Yoğuşma Sıcaklığı | (T_y) | 55 | 33.96 | --- |
| Kompresör girişi | 1 | 12 | 9.90 | 431.85 |
| Kompresör çıkışı | 2 | 82.54 | 33.96 | 466.80 |
| Yoğuşturucu çıkışı | 3 | 50 | 33.96 | 292.19 |
| Buharlaştırıcı girişi | 4 | 7 | 9.90 | 292.19 |

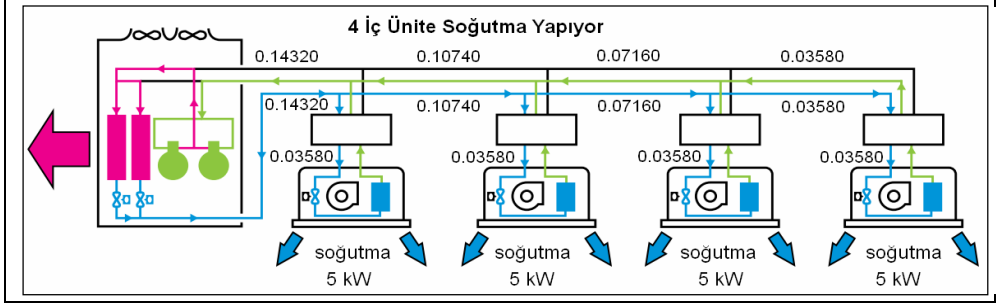
2.2. IGK-VRF Sistemi Debi Hesapları

IGK-VRF Sisteminde iç üniteler için debi hesapları, Eşitlik 1-4 ile yapılabilir. Ancak kompresörden geçen akışkan miktarını hesaplamak için sistemin boru şemasının çıkarılıp üzerinde akışkan yönleri dikkate alınarak işlem yapılmalıdır. Bu çalışmada, hem sistemin işleyişinin daha iyi anlaşılmasını hem de kompresör yükünün hatasız olarak hesaplanmasını sağlamak amacıyla farklı işletme durumlarına karşılık, sistemi basit soğutma çevrimine dönüştüren eşdeğer devreler oluşturulmuştur. Farklı işletme şartları olarak [8]'de verilen durumlar ele alınmıştır. Her birinin ısıtma ya da soğutma yükü 5 kW olarak alınan toplam dört iç ve bir dış üniteden oluşan sistem için beş farklı işletme koşulu şöyledir:

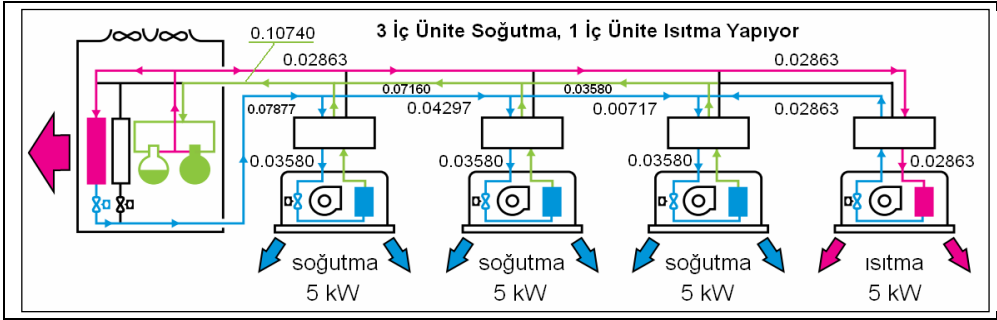
| Durum | İşletme Şekli |
|-------|--|
| A | 4 İç ünite de soğutma yapıyor |
| B | 3 İç ünite de soğutma, 1 iç ünite ısıtma yapıyor |
| C | 2 İç ünite de soğutma, 2 iç ünite ısıtma yapıyor |
| D | 1 İç ünite de soğutma, 2 iç ünite ısıtma yapıyor |
| E | 4 İç ünite de ısıtma yapıyor |

Şekil 4'de bu işletme durumu, alındığı kaynaktaki halleriyle ve bu çalışmada hesaplanan akışkan debileri üzerlerine işlenmiş olarak verilmiştir. A ve E işletme durumları için kompresörden geçen akışkan debisi, iç ünitelerden geçen akışkan debilerinin toplamına eşittir. B, C ve D işletme koşulları

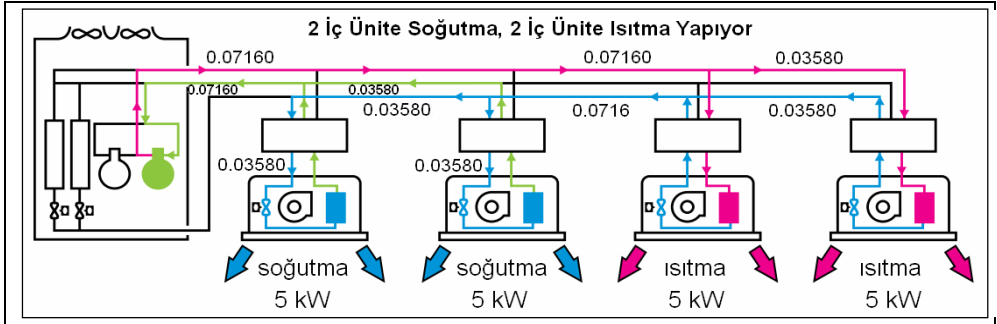
için bu durum farklıdır. Bu işletme durumları için kompresörden geçen akışkan debileri ancak sistemin boru şemasından, akış yönleri izlenerek bulunabilir. Debi değerleri RefUtil yazılımı [7] ile bulunmuştur. Ayrıca Eşitlik 2 ve 4 kullanılarak da hesaplanabilir. 3 iç ünite soğutma, 1 iç ünite ısıtma yapması halinde (Durum B), soğutma yapan iç ünitelerden geçerek kompresöre gelen akışkanın bir kısmı, kompresörden çıkışta ısıtma yapan iç üniteyi de beslemeye yeteceğinden toplam akışkan debisine esas olarak yalnız soğutma yapan iç ünitelerin yüklerinin toplanması yeterlidir. Her durum için oluşturulan eşdeğer devreler Şekil 5'de topluca verilmiştir.



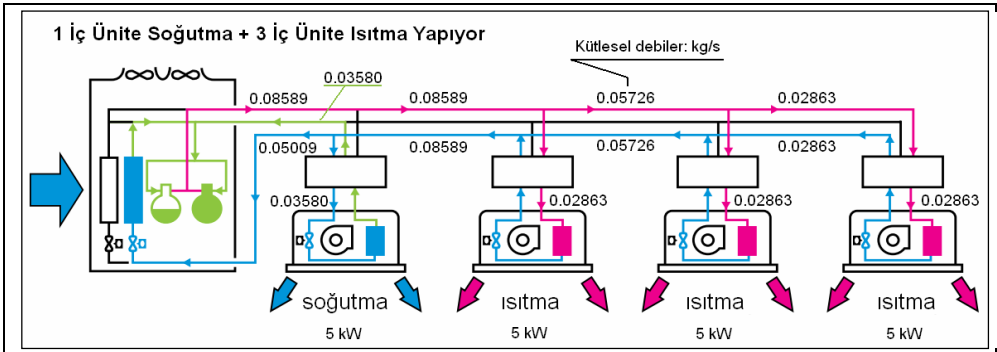
a) (A) İşletme Durumu: İç ünitelerin hepsi soğutma modunda çalışıyor.



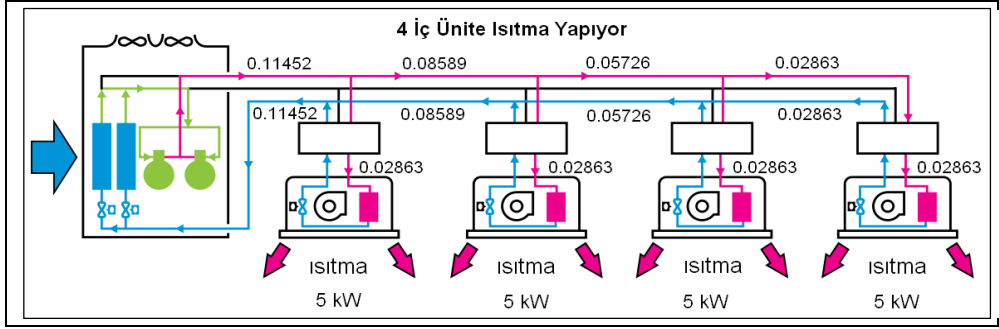
b) (B) İşletme Durumu: İç ünitelerden üçü soğutma, biri ısıtma modunda çalışıyor.



c) (C) İşletme Durumu: İki iç ünite soğutma, iki iç ünite ısıtma modunda çalışıyor.

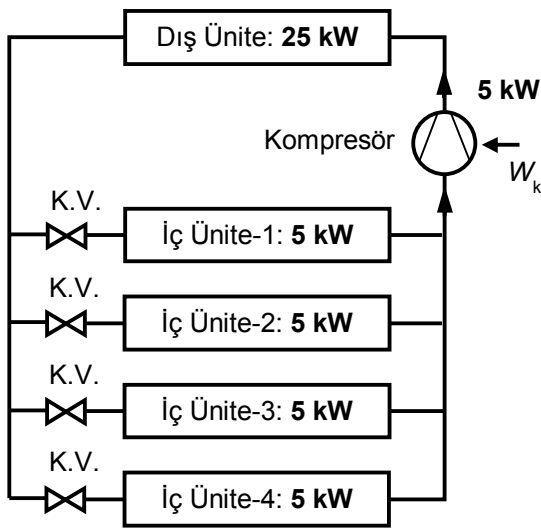


d) (D) İşletme Durumu: Bir iç ünite soğutma, üç iç ünite ısıtma modunda çalışıyor.

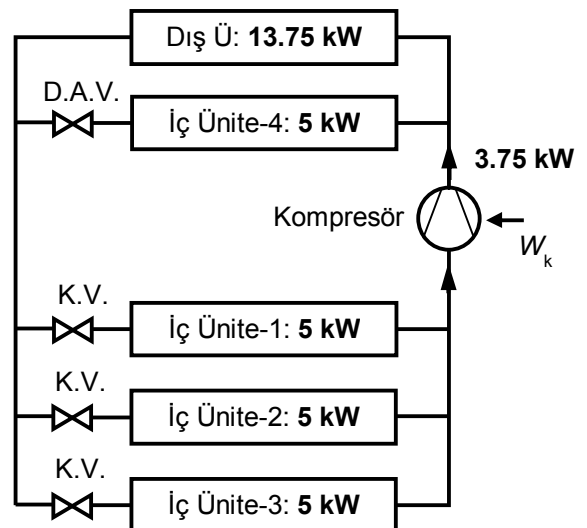


e) (E) İşletme Durumu: Bütün iç üniteler ısıtma modunda çalışıyor.

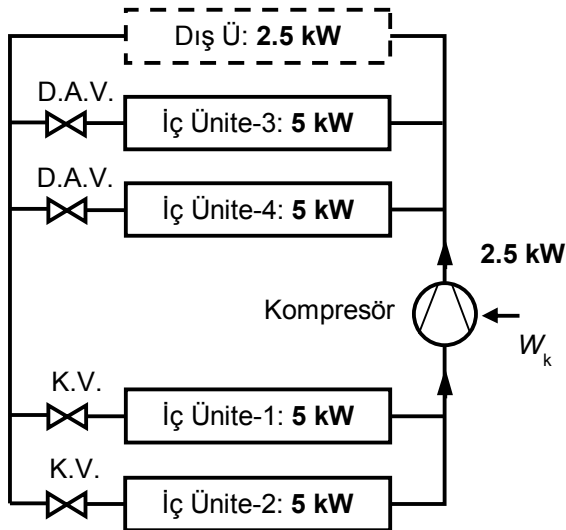
Şekil 4. Değişik işletme koşulları için borulardaki akışkan debileri (Şekil üzerindeki birimsiz sayılar, kg/s olarak debi değerlerini göstermektedir).



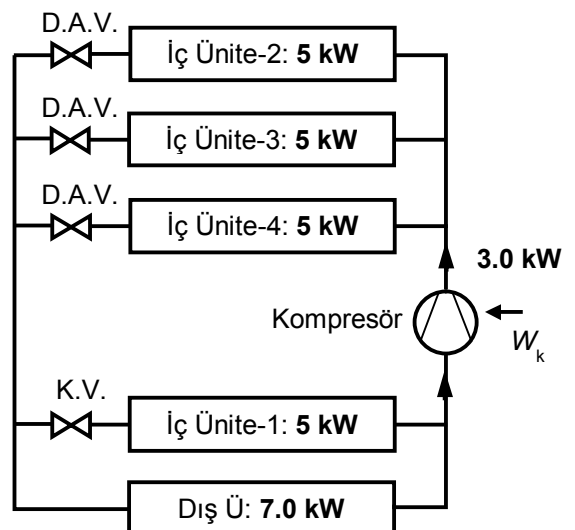
İşletme Durumu: **A**



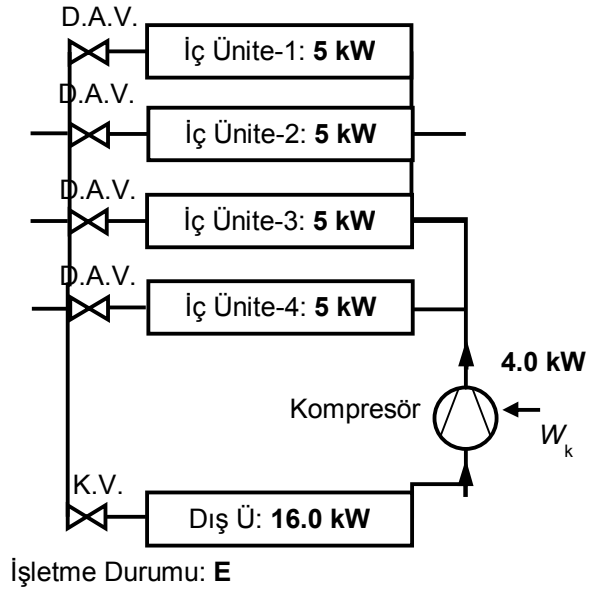
İşletme Durumu: **B**



İşletme Durumu: **C**



İşletme Durumu: **D**



Şekil 5. IGK-VRF Sisteminin değişik işletme durumlarına karşılık gelen eşdeğer soğutma çevrimleri.

Beş farklı işletme durumu için hesaplanan debiler ve bu debilerin hesaplanmasına esas olan iç ısıtma/soğutma yükleri Şekil 5'te ilgili üniteler üzerinde ve Çizelge 2'de tablo olarak gösterilmiştir. Tüm iç ünitelerin soğutma modunda çalıştığı durum, kompresörden geçen akışkan debisinin en yüksek olduğu durumdur. Dolayısıyla kompresörün tam kapasitesi bu değere esas alınarak belirlenmelidir. Diğer durumlardaki kompresör debileri bu değere bölünerek kompresör yüklenme oranları hesaplanmış ve bu değerler de Çizelge 2'de sunulmuştur. B,C ve D durumlarında her bir ünitenin ihtiyaç duyduğu miktarda akışkan üç yollu vana, debi ayar vanası ve elektronik kontrollü genişleme vanası gibi elemanlarla kontrollü olarak ilgili ünitelerden geçerek, istenen oda sıcaklığını sağlar.

Tablo 2. IGK-VRF Sisteminde değişik işletme şartları için kompresör yüklenme oranları. (Hesaplar R-410A için $T_b = 7^\circ\text{C}$, $T_y = 55^\circ\text{C}$, 5°C kızdırma ve 5°K aşırı soğutma esas alınarak yapılmıştır.)

| İŞLETME DURUMU | İç Ünite Yükları kW | Toplam Yükl kW | Isıl Yükları ve Debiler | | | | Kompresör Yüklleme Oranı |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|-----------------------|--------------------------|
| | | | Q_b kW | Q_y kW | W_k kW | Kütlesel Debi kg/s | |
| A Yalnız Soğutma | 20 | 20 | 20 | 25.00 | 5.00 | 0.1432 | 1.00 |
| B 3 Ünite Soğutma 1 Ünite Isıtma | 15 5 | 20 | 15 | 18.75 | 3.75 | 0.1074 | 0.75 |
| C 2 Ünite Soğutma 2 Ünite Isıtma | 10 10 | 20 | 10 | 12.50 | 2.50 | 0.0716 | 0.50 |
| D 1 Ünite Soğutma 3 Ünite Isıtma | 5 15 | 20 | 12 | 15 | 3.00 | 0.0859 | 0.60 |
| E Yalnız Isıtma | 20 | 20 | 16 | 20 | 4.00 | 0.1145 | 0.80 |

3. AKIŞ KONTROLÜ

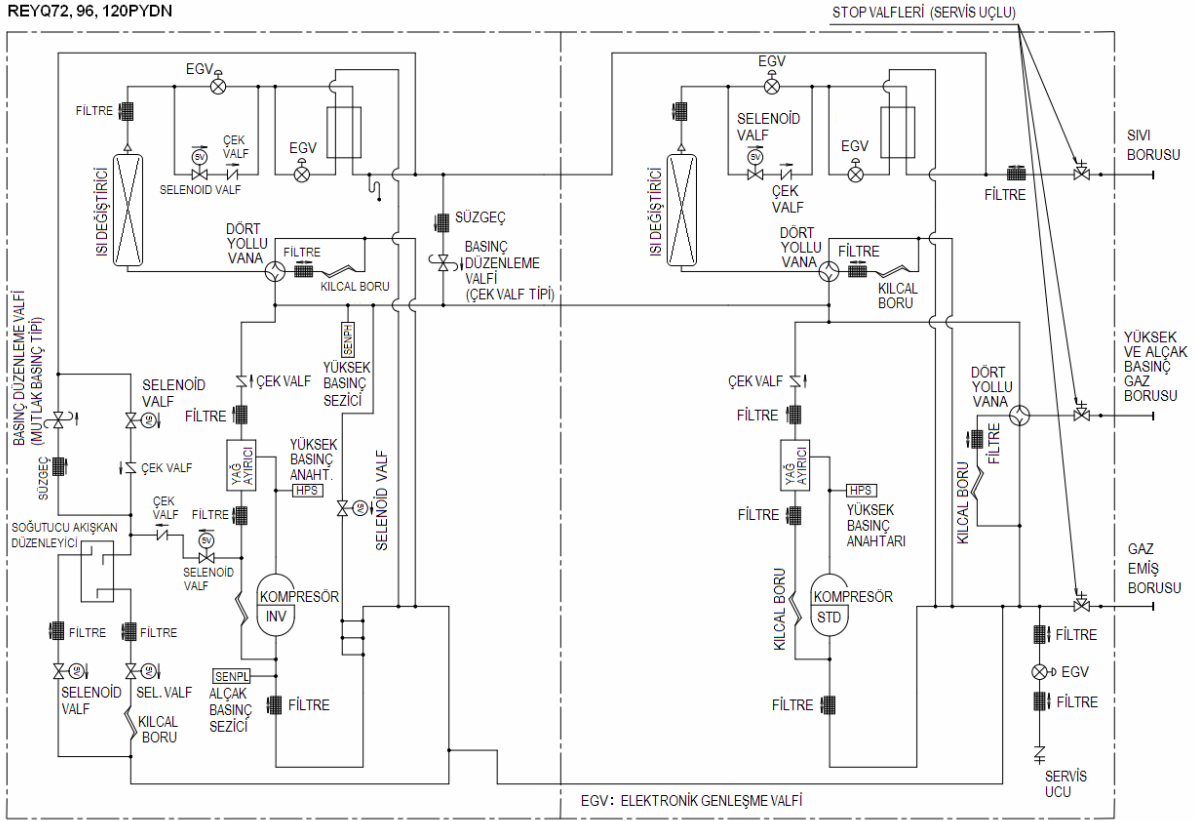
IGK-VRF sisteminde akış kontrolünün anlaşılması için sistemi oluşturan dış ünite, iç ünite ve BS ünitesinin içyapılarının incelenmesi gerekmektedir.

3.1 Dış Ünite

Dış ünite, kompresör ve dış ünite ısı değıştircileri içinde bulunduran elamandır. Ancak sistem bunların dışında dört yollu vana, tek yönlü vana, selenoid vana, elektronik genleşme vanası, basınç düzenleme vanası, filtre, çok sayıda termostat, yüksek ve alçak basınç duyargaları, yağ ayırıcı, kılcal boru gibi çok sayıda eleman içermektedir. Bütün sistemden toplanan sıcaklık verilerinin işlenerek en uygun akışkan debisinin hesaplanmasını sağlayan bir de işlemci bulunmaktadır. İşlemci, bir bilgisayar kartı (PC card) üzerinde bulunur ve üzerine, kullanılan akışkana bağlı olarak çalışan yazılım yüklenmiş haldedir. Dış üniteler başka dış ünitelere bağlanmayı sağlayacak donanım da bulundurmaktadırlar. PC kartı üzerinde bulunan anahtarlar ile iç ünitelerin bağımsız çalışması ya da bazılarının grup olarak tanımlanması, ünitenin bina yönetim sistemine (BYS) bağlanması vs. gibi sabit bilgiler baştan tanımlanabilmektedir. İşlemciye yüklenen yazılım, başta girilen sabit bilgiler ile çalışma esnasında sistemden gelen değışken bilgileri sürekli olarak takip ederek kontrol sinyalleri üretir ve ilgili elemana gönderir. Burada işin bu kısmına dair elektrik şeması üzerinde durulmayacaktır ancak fikir vermesi bakımından yalnız şeması verilmiştir (Şekil 6).

Şekil 7'de dış ünite boru diyagramı verilmiştir. Şekilde iki kompresör ve iki ısı değıştirgeci görülmektedir. Kompresörlerden biri değışken devirli (inverter), diğeri sabit devirlidir. Verilen diyagram, 21, 28, 35 kW soğutma, 24, 31, 40 kW ısıtma kapasiteli olup bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmış edilmiş üniteler içindir. Başka dış ünitelerle birleştirilerek çalışacak ünitelerde üç boru çıkışına ilave olarak bir de basınç eşitleme borusu bulunmaktadır. Bu boru ile birbirine bağlı dış üniteler arasında basınçlar dengelenmektedir. Şeması [9] no.lu kaynakta bulunmaktadır. Değışik işletme koşulları için akışkanın dış ünite içinde izlediği yol, sonraki bölümlerde anlatılacaktır.

REYQ72, 96, 120PYDN

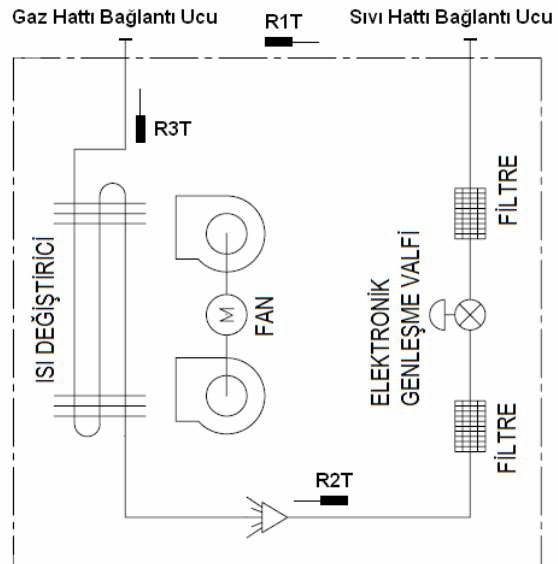


Şekil 7. Dış ünite boru diyagramı ([9]'dan uyarlanmıştır).

3.2 İç Ünite

İç ünite, bir ısı değiştiricisi, fan ve motoru, filtreler, elektronik genişleme vanası ve üç adet termostat içermektedir (Şekil 8). Termostatlardan biri oda içinde dolaşan havanın üniteye giriş sıcaklığını (R1T), biri ısı değiştiricisinin girişinde (R2T) diğeri de çıkışında (R3T) olmak üzere soğutucu akışkan sıcaklığını kontrol etmeye yarar. Bu üç termostatın algıladığı sıcaklık bilgisine göre üretilen sinyal elektronik genişleme valfine kumanda ederek, gerekli miktarda akışkanın iç ünite ısı değiştiricinden geçmesini sağlar. Oda içindeki kablolu ya da kablosuz uzaktan kumanda ile haberleşerek oda sıcaklığını istenen sıcaklığı $\pm 0.5^\circ\text{C}$ tolerans içinde sabit tutmaya çalışan kontrol kartı da yine iç üniteye bulunmaktadır. Kontrol kartı, hava üfleme hızını ve üfleme yönünü, filtre temizleme/değiştirme gerekip gerekmediğini takip eden donanıma sahiptir. IGK-VRF sisteminde, iç üniteye elektronik genişleme valfi; soğutma modunda çalışırken kısılma, ısıtma modunda çalışırken debi ayar vanası olarak iş görmektedir.

İç ünitelerin boru diyagramı hemen hepsinde aynı olmakla birlikte, elektrik diyagramı; tavan tipi, döşeme tipi, duvar tip olup olmamasına göre, üfleme yönü sayısına göre vs. değişikli gösterir. Kontrol sistemi, iç ünitenin durma ve çalışma saatleri ile istenen sıcaklığı günlük ve



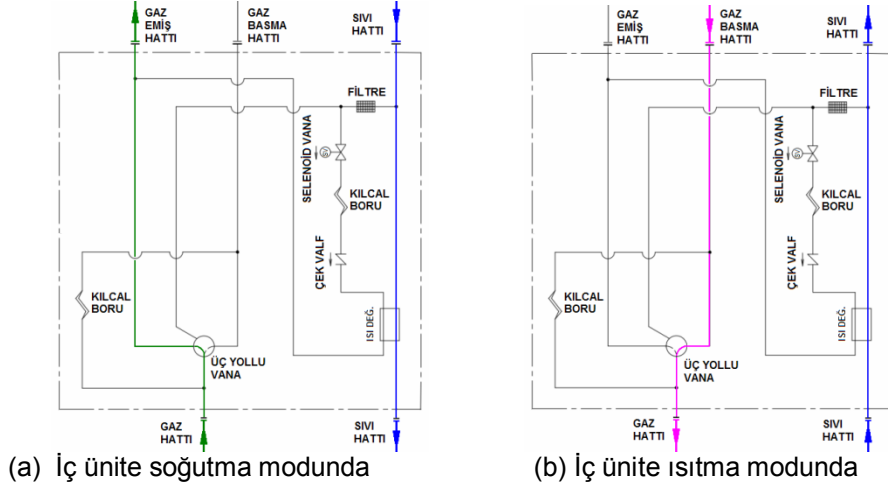
R1T: İç hava emiş termistörü
R2T: Sıvı hattı termistörü
R3T: Gaz hattı termistörü

Şekil 8. İç ünite boru diyagramı [10].

haftalık olarak programlamaya izin verecek şekilde oluşturulmuştur.

3.3. BS Ünitesi

IGK-VRF sistemi ile VRF sistemi arasındaki temel farkı oluşturan BS (BranchSelector) ünitesidir. Bu cihaz içinde bulunan üç yollu vana ile oda içinde ısıtma ya da soğutma talebine göre iç üniteye giden akışkanın halini belirler (Şekil 9).



Şekil 9. BS Ünitesi boru diyagramı [11]. a) İç ünite soğutma modunda, b) İç ünite ısıtma modunda,

İç ünite soğutma modunda ise dış üniteden gelen yüksek basınçlı sıvı haldeki akışkan BS ünitesinin sıvı hattından girerek iç üniteye ulaşır. İç üniteye gelen akışkanın elektronik genleşme valfinde (EGV) basıncı düşürülen akışkan, sıvı+gaz gaz fazında iç ünite ısı değiştiricisine girerek odadan ısı çeker. İç ünite ısıtma modunda ise BS ünitesi içindeki üç yollu vana, akış yönünü değiştirerek; dış üniteye kompresörden çıkan yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz fazındaki akışkanın geçişine izin verir. Bu durumda iç üniteye gelen akışkanın elektronik genleşme valfi (EGV) debi ayar vanası görevi görmeye başlar. İç ünite ısı değiştiricisinde ısı veren gaz yoğunlaşarak, sıvı hattını takip ederek soğutma yapılan bir odaya ya da doğrudan dış üniteye gider.

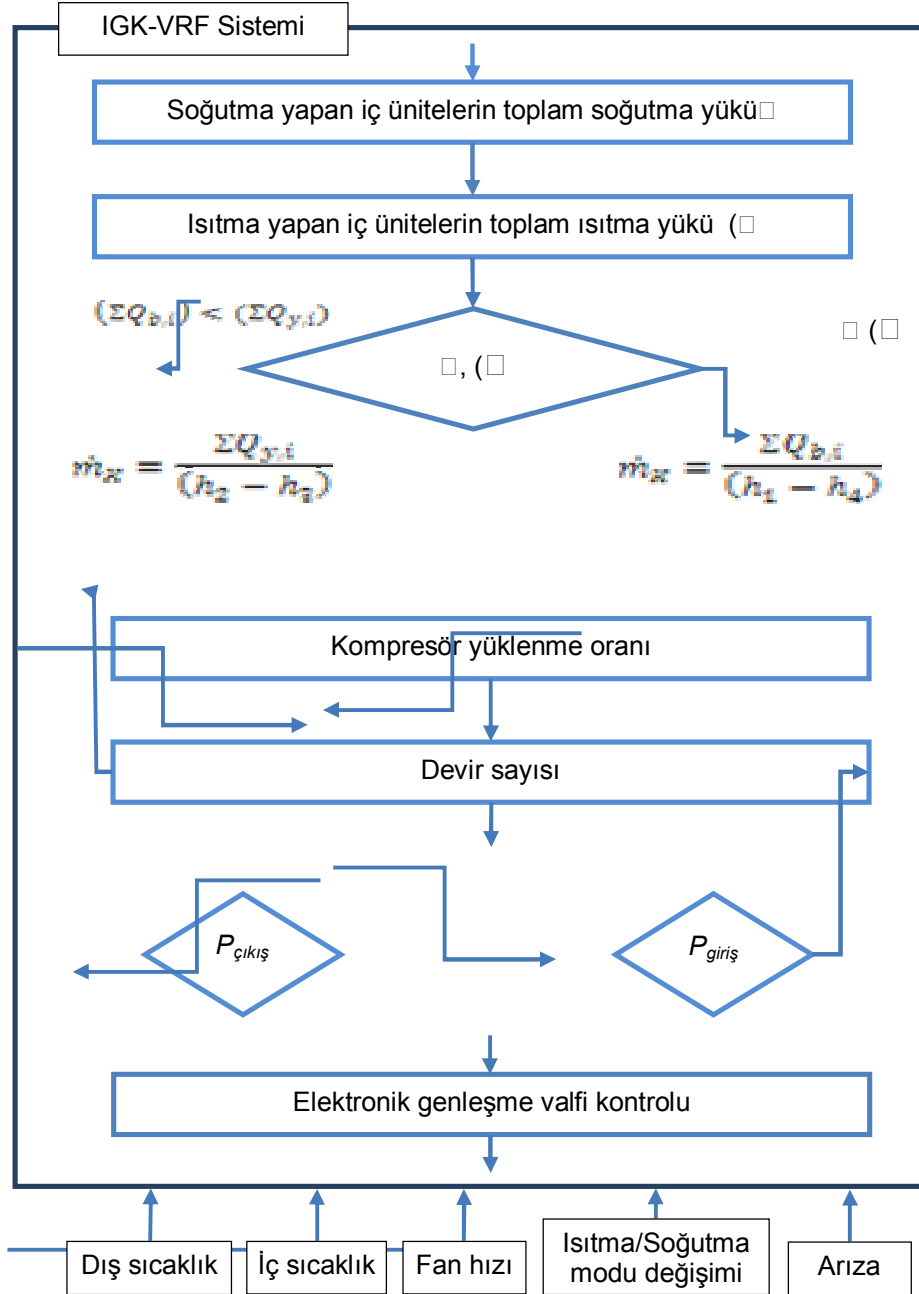
Cihaz içindeki çek valf, selenoid vana ve kılcal borular iç ünite çalışma modu ısıtmadan soğutmaya ya da soğutmadan ısıtmaya değiştirildiğinden devreye girerler.

4. AKIŞ KONTROLU

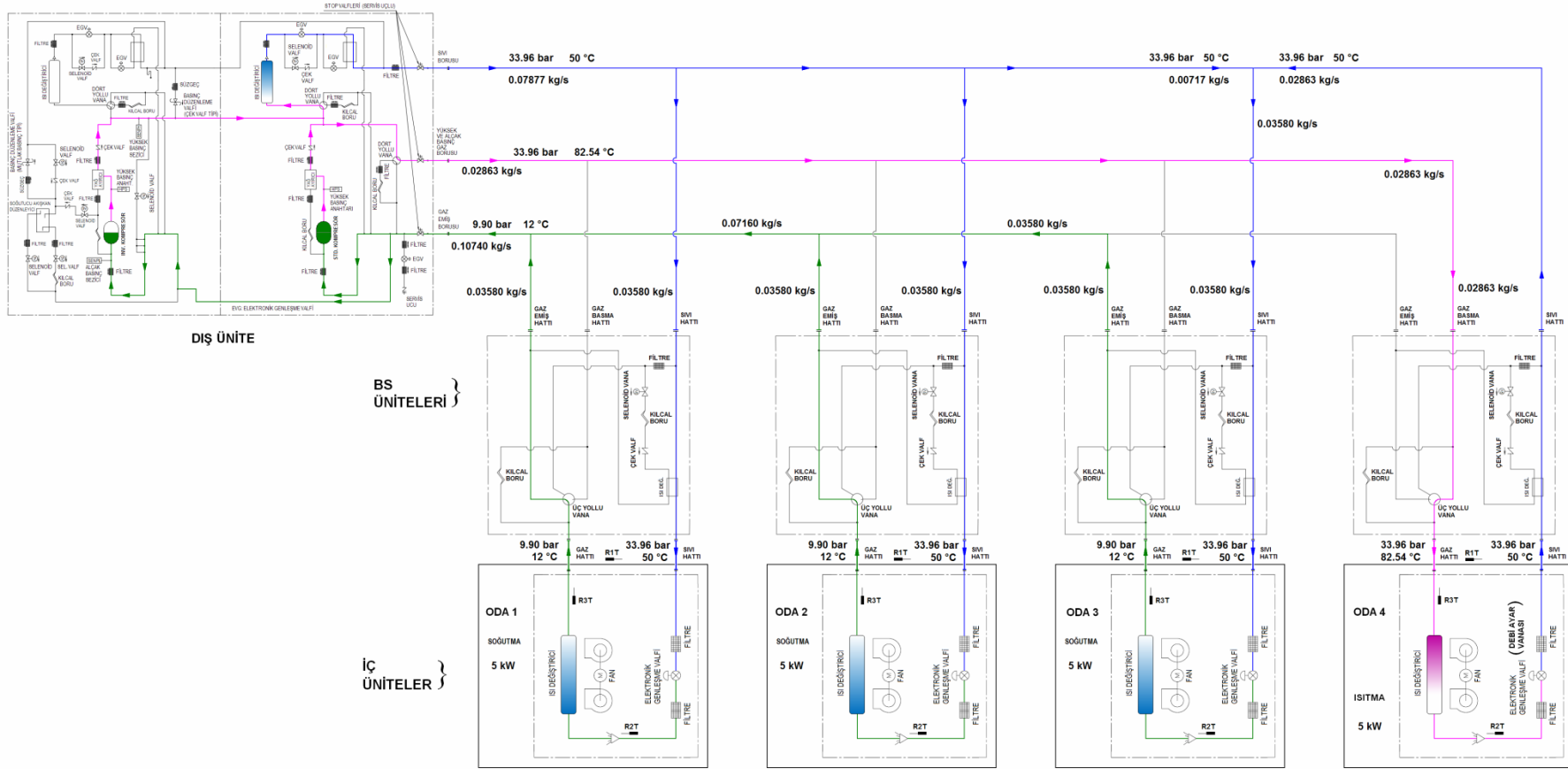
IGK-VRF Sisteminde, değişik işletme koşulları için borulardaki akışkan debileri Şekil 4'de verilmişti. (A) işletme durumu, yalnız soğutma yapan çoklu ayırık (multi-split) sistemden, (E) işletme durumu da yalnız ısıtma yapan ısı pompası sisteminden farksızdır. Yalnız ısıtma veya yalnız soğutma yapılan sistemlerde veya IGK-VRF için (A) ve (E) işletme durumunda iç ünitelerin talep ettiği akışkan miktarı toplamı sonuçta sistemde dolaşan toplam akışkan debisini belirleyecektir. İç ünite ister ısıtma, ister soğutma modunda çalışsın; akışkan debisi kontrolü, iç ünitelerde bulunan R1T, R2T ve R3T termostatlarıyla üzerinden, elektronik genleşme valfi aracılığıyla gerçekleştirilir. Kompresör belli bir devir seviyesinde çalışırken talep edilen akışkan miktarındaki artma kompresör çıkışındaki basıncın düşmesine yolaçar. Bunun tersi olarak, talep edilen akışkan miktarındaki azalma ise kompresör çıkışındaki basıncın artmasına neden olur. Bu iki sebep-sonuç ilişkisi kullanılarak kompresörün hangi devir sayısında çalışacağı belirlenir. Sistemin çalışması sırasında; dış ortam sıcaklığı, talep edilen iç ortam sıcaklığı, hava üfleme hızı, seçilen ısıtma/soğutma modu, arıza durumu gibi çok sayıda parametrenin değişimi sürekli olarak izlenerek, PC kartına yüklü yazılım ile kontrolü sağlanır. Aynı

şekilde yağ geri dönüşü ve defrostzamanları da aynı yazılım tarafından düzenlenir. Sistemin genel kontrol şeması Şekil 10'da sunulmuştur.

Kompresör giriş ve çıkış basınçları ile elektronik genişleme valfleri (EGV) açıklık oranına göre belirlenen akışkan debisi EVG'ler ve debi ayar vanaları ile ilgili iç üniteler arasında paylaştırılmış olur. Değişik işletme durumları için debi değerleri ve akışkanın borular içinde izlediği yol Şekil 4'de verilmiştir. Burada, ilave olarak (B) işletme durumu için dış ünite, iç üniteler ve BS üniteleri içinde akışkanın izlediği yol ile debi, basınç ve sıcaklık değerleri verilmiştir (Şekil 11).
Şekil 10. IGK-VRF Kontrol şemasından bir bölüm.



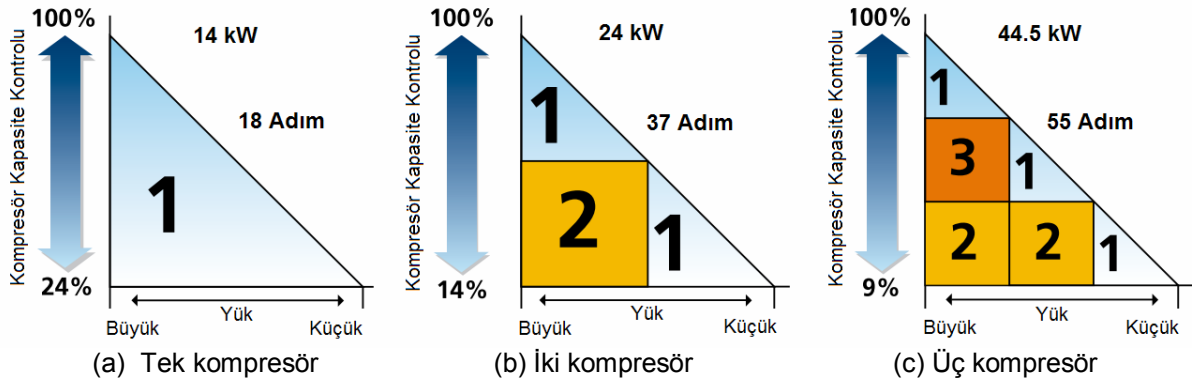
Şekil 10. IGK-VRF Kontrol şemasından bir bölüm.



Şekil 11. Aynı anda soğutma ve ısıtma yapılan (B) İşletme Durumu için IGK-VRF sisteminin akış şeması.

Şekil 11 incelendiğinde; kompresörden geçen akışkan debisinin 0.10740 kg/s olduğu görülmektedir. Bu debi değeri, soğutması istenen ODA 1, ODA 2 ve ODA 3'ün ihtiyaç duyduğu akışkan miktardır. Bu üç odadaki ısı değiştiricilerde buharlaşan akışkan kompresöre yönlendirilir. Kompresörde sıkıştırılmış akışkanın, ısıtılan odanın ihtiyacı kadar olan kısmı (0.02863 kg/s) dış ünite yoğuşturucusunagirmeden Yüksek ve Alçak Basınç Gaz Borusu yoluyla ODA 4'e yönlendirilir. Geri kalan 0.07877 kg/s'lik bölümü ise dış ünite yoğuşturucusunayöneltirilir. Dış ünite ısı değiştiricisinden sıvı fazında çıkan akışkan soğutulan odalar dağıtılır. ODA 2'den ODA 3'e ayrılan sıvı gidiş hattında 0.00717 kg/s debisinde akışkan kalmış olur. Bu da ODA 4'te ısıtma yaparak kendisi yoğuşan0.02863 kg/s debisindeki akışkan ile birleşerek ODA 3'e gönderilir. Böylece her bir iç ünitenin talep ettiği akışkan miktarı karşılanmış olur. Şekilde sabit devirli kompresörün tam yükte, değişken devirli kompresörün ise kısmi yükte çalıştığı, içlerinin renk doluluğuyla ifade edilmiştir.

VRF sistemlerinde kompresör kapasite kontrolü devir sayısı değiştirilerek yapılmaktadır. Devir sayısının değiştirilmesi ise frekans invertörü ile sağlanır. Sabit devirli kompresörler 50 Hz'lik şebeke frekansına bağlı olarak çalışırken, değişken devirli olanlar 20–30'dan 105–120 Hz'e kadar değişen frekans arasında çalışırlar [4]. Kompresör kapasitesi büyüdükçe kapasite kontrol aralığı artmaktadır. Değerler üretici firmalara ve modeller arasında değişiklik göstermektedir. Örneğin 14 kW dış ünite gücü için %24-%100 aralığında değişen kapasite, 24 kW gücünde dış ünite için %14-%100, 44.5 kW kW gücünde dış ünite için %9-%100 değerleri arasında değişmektedir (Şekil 12). Şekil 11'de 14 kW olarak gösterilen dış ünite tek kompresör, 24 kW'lık dış ünite 2 kompresör ve 44.5kW'lık dış ünite ise 3 kompresör bulunmaktadır.



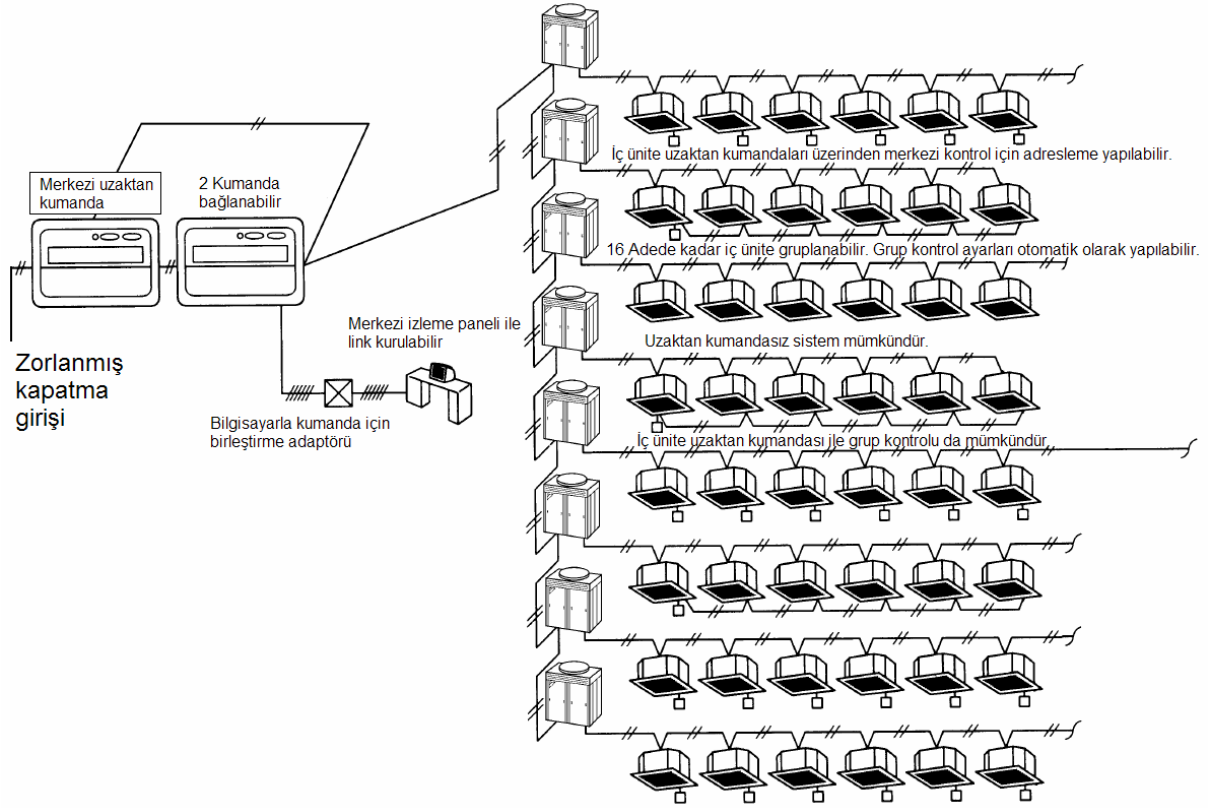
Şekil 12. Yüke göre kompresör sayıları ve kapasite kontrolü ([12]'den değiştirilerek).

Tek kompresörlü uygulamalarda bütün yük değişimleri aynı kompresör ile karşılanır. Şekil 12-a'da verilen kompresör 18 farklı devir sayısında çalışabilmektedir. İki kompresörlü uygulamalarda, sistem düşük yüklerde çalışırken, önce değişken devirli kompresör devreye girer. Sistemin tamamı 37 farklı kapasitede çalışabilir. Değişken devirli kompresör gücünün sınırına gelindiğinde sabit devirli olan da devreye girer ve ikisi birlikte çalışmaya devam eder. Üç kompresörlülerde işlem bezer şekilde olur ve bu sistem de 55 farklı debi değeri sağlayabilir.

5. SİSTEMİN GENEL YAPISI VE KONTROLÜ

Bölüm 4'te akışkan akışına ait kontrol mekanizmasıverilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında, sistemin genel yapısı ve kontrolü oldukça karmaşıktır. Burada sadece ana hatlarına değinilecektir. Şekil 13'de sistemin genel yapısı verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, çok sayıda dış ünite birbirine ve hepsi birden bina yönetim sistemlerine bağlanabilir. Böylece tüm sistemin tek bir merkezden kontrolü mümkündür. Bu kontrol bir bilgisayar ekranından, uzaktan kumandadan veya internet üzerinden de yapılabilir. Her bir dış üniteye 60 kadar iç ünite bağlanabilir. Bu iç üniteler kendi aralarında gruplanarak tek bir iç ünite gibi kumanda edilebilir. İç ünite uzaktan kumandalarından oda sıcaklığı, fan hızı, günlük, haftalık zamanlama yapılabileceği gibi merkezi kontrol için adresleme de yapılabilir. Aynı

şekilde sistem hata kodları, filtre değiştirme/temizleme uyarıları da kumanda aletleri üzerinden okunabilir. Dolayısıyla böyle bir sistemin mekanik aksamı yanında, elektrik, elektronik aksamı ve üzerinde çalışan yazılım da çok önemlidir.



Şekil 13. Sistemin Genel Yapısı [13].

SONUÇ

Bu çalışmada, ısı geri kazanımlı, değişken akışkan debili klima sistemlerinin genel tanıtımı yapılmış, ayrıca sistemin termodinamiğinden hareketle akışkan debileri ve kompresör yüklenme oranları hesaplanmıştır. Seçilen belli bir kompresör çalışma koşulları için iç ünitelerin beş farklı bir işletme durumu için debi hesapları yapılmış ve sistem boru diyagramı üzerine işlenmiştir. Kısmi yüklenme durumu için dış ünite, iç üniteler ve BS üniteleri içinde akışkanın izlediği yol gösterilmiş, akışkan debisinin kontrolünün nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Çalışma, farklı kompresör çalışma koşulları için geliştirilebilir. Ayrıca konuyla ilgili deneysel çalışmaların yapılabilmesi, sistemin daha iyi anlaşılmasını ve yeni ürün tasarlanması açısından önemli ve gereklidir.

KAYNAKLAR

[1] EYRİBOYUN, M., "Değişken Soğutkan Debili Klima Sisteminin (VRV), İki Katlı Bir Bina Üzerinde Uygulanması ve Split Klima Sistemi ile Karşılaştırılması", II. Ulusal İklimlendirme Kongresi (İklim 2007), 15-18 Kasım 2007, Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E 2007/450, ANTALYA, 2007.

[2] EYRİBOYUN, M., "Değişken Soğutkan Debili Klima Sistemlerinin (VRV) Projelendirme Esasları ve Örnek Bir Uygulama", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 20–23 Kasım 1997, İzmir.

[3] http://www.iskid.org.tr/bilgi_bankasi/istatistikler

[4] AYNUR, T. N., Variablerefrigerantflowsystems: A review, EnergyandBuildings 42 (2010) 1106–1112, 2010.

[5] JinqiangXuandZiping Feng, A Novel Self-adaptiveFuzzy-PID Controller forTemperature Control in VariableRefrigerant Volume (VRV) AirConditioningSystems, International Conference on IntelligentSystemsand Knowledge Engineering (ISKE 2007)

[6] Y.P. Zhou, J.Y. Wu *, R.Z. Wang, S. Shiochi, Y.M. Li, Simulationandexperimentalvalidation of thevariable-refrigerant-volume (VRV) air-conditioningsystem in EnergyPlus, EnergyandBuildings 40 (2008) 1041–1047

[7] Refrigeration Utilities V2.84, Technical University of Denmark, Department of EnergyEngineering, Lyngby, 2000. (<http://www.et.web.mek.dtu.dk/coolpack/Files/RefUtil.exe>)

[8] DAIKIN, PCVUSE07-04C, www.daikinac.com

[9] DAIKIN, Engineering Data, VRV 3, EDUS 39 -802A-R2_a, , www.daikinac.com

[10] DAIKIN, Engineering Data, EDUS 39 - 600 – F3, www.daikinac.com

[11] DAIKIN, Engineering Data, EDUS 39 - 600 - F8, www.daikinac.com

[12] DAIKIN, VRV III Brochure, www.daikinac.com

[13] DAIKIN, Engineering Data, EDUS39-605A-C VRV Control Systems.pdf, www.daikinac.com

NOT: [1] No.lu kaynaktaki Sayfa 467’de **BS Ünitesi** (BranchSelector...) şeklinde başlayan paragrafın 5. satırında başlayıp, 8. satırda biten aşağıdaki kısım çıkartılarak, yok sayılmalıdır: “Burada bir kısmı kompresöre bir kısmı da ısıtma yapan iç üniteye yönlendirilir. Benzer şekilde ısıtma yapan iç üniteye gaz fazında giren soğutkan buradan yoğunlaşmış olarak çıkar ve BS ünitesine girer. BS ünitesinden çıkan sıvının bir miktarı soğutma yapan üniteye, kalanı dış ünite içindeki buharlaştırıcıya gider.”

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa EYRİBOYUN

1959 Çaycuma/Zonguldak doğumlu. 1982’de Zonguldak DMMA’dan makina mühendisliği lisans; 1985’de Yıldız Teknik Üniversitesi’nden yüksek lisans, 1997’de doktora derecelerini aldı. 1985-1986 yıllarında Isparta, Antalya, Denizli ve Burdur illerindeki askeri inşaat ve tesislerde kontrol mühendisi olarak asteğmen olarak askerlik yaptı. 1996 yılı Ağustos - Aralık ayları arasında JICA (Japan International Cooperation Agency) bursu ile Japonya’da “Air-Conditioning Engineering Course”na katıldı. Makina Mühendisleri Odası, Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği gibi meslek örgütlerinin üyesidir. Ayrıca değişik STÖ’lerde kurucu üye veya üye olarak yer almaktadır. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Yardımcı Doçent olarak çalışmaktadır. Okumak, fotoğraf çekmek, sinema, elektronik devreler, bilgisayar ve yazılım konularında uğraşmayı sever. Yerel basında ve sanal yayın organlarına mesleği dışında yazılar yazar.