

# **ARAÇ İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİNİN VE VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Bahadır SAPCI**

İstanbul Aydın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

<https://orcid.org/0000-0001-8376-0926>

[bahadirsapci@hotmail.com](mailto:bahadirsapci@hotmail.com)

**Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN**

İstanbul Aydın Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

[hasanheperkan@aydin.edu.tr](mailto:hasanheperkan@aydin.edu.tr)

## **ÖZ**

Yapılan bu çalışmada, araç iklimlendirme sistemlerinin çalışma prensipleri, soğutma sisteminde bulunan kompresör, kondenser, evaporatör, genişleme valfi ve nem tutucu filtre gibi sistem ana elemanlarının soğutma prosesindeki görevleri ile ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Sistemde bulunan sensör tipleri ve çalışma prensipleri araştırılmış, tüm sensörlerin elektronik kontrol ünitesi ile olan bağlantısı detaylı olarak anlatılmıştır. Sistemin enerji ve ekserji analizleri, sistem elemanları göz önüne alınarak parametrik denklemler oluşturularak yapılmış ve sistem tasarımının bu parametrelerin değerlendirilerek yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Sistemin dinamik davranışının daha iyi anlaşılması amacı ile sistem Matlab/Simulink ortamında simüle edilmiş, tasarlanan kontrolcünün sistem kararlılığının sağlanmasındaki rolü sistemin sürekli hal grafikleri alınarak detaylı olarak anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Elektronik Kontrol Ünitesi, Kompresör, Sensör, Dinamik Davranış, Sürekli Hal*

## **RESEARCH OF THE WORKING PRINCIPLES AND EFFICIENCY OF VEHICLE AIR CONDITIONING SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

In this study, working principles of vehicle air conditioning systems are defined by explaining the operating process of the main parts of cooling system as compressor, condenser, evaporator, expansion valve and dryer. Sensor types found in the system and their working principles are researched and the connection of the sensors to electronic control unit in is discussed in detail. The energy and exergy analyses are made by generating parametric equations with the consideration of system components. Therefore, it is concluded that system design must be made by considering all these system parameters. The system is simulated by Matlab/Simulink in order to understand the dynamic behavior of the system and the role of the designed controller is explained by the steady state graphs of the system

**Keywords:** *Electronic Control Unit, Compressor, Sensor, Dynamic Behavior, Steady State*

### **GİRİŞ**

HVAC (Isıtma, Soğutma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri, bina içi ortamda bulunan hava sıcaklığı, nem oranı, hava akış hızı gibi parametreleri, değerlendirip kullanıcı tarafından önceden belirlenmiş değerler aralığında tutarak bina içi hava kalitesinin standardizasyonunu sağlamakta kullanılan elektromekanik sistemlerdir. HVAC sistemlerinin dizayn edilmesinin amacı kullanıcının bulunduğu ortamdaki istenilen iklimlendirme şartlarını ve bina konforunu optimal olarak sağlamaktır. HVAC sistemleri verdiği servis seviyeleri olan; havalandırma, sıcaklık ve nem kontrolü gibi yeteneklerine göre beş ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Bu kategoriler SL0'dan SL5 seviyesine kadar uzanan bir yelpazede bulunuyor olmakla beraber, bu kategori Çizelge 1.1'de detaylı olarak gösterilmiştir [1].

**Çizelge 1.1:** HVAC sistemlerinin termal konfor servis kalitesinin sınıflandırılması [1]

Servis Seviyesi	HVAC Sistemlerinin Verdiği Servisler				
	Havalandırma	Isıtma	Soğutma	Nemlendirme	Nemsizleştirme
SL0	✓				
SL1	✓	✓			
SL2	✓		✓		
SL3	✓	✓	✓		
SL4	✓	✓	✓	✓	
SL5	✓	✓	✓	✓	✓

### **Araç İklimlendirme Sistemlerinin Gelişim Süreci**

Araç iklimlendirme sistemleri/araç klima sistemleri tam anlamıyla 1930' dan itibaren gelişmeye başlamış olmakla beraber, General Motors şirketinin klima ünitesini Cadillac marka aracın bagaj kısmına 1939 yılında entegre etmesiyle araç iklimlendirme sistemleri büyük bir ivmelenme göstermiştir. 1934 yılında, «Houde Engineering of Buffalo» ve «Carrier Engineering of Newark» şirketleri işbirliği ile ilk olarak bir otobüse entegre edilebilen bir A/C sistemi geliştirilmiştir [2].

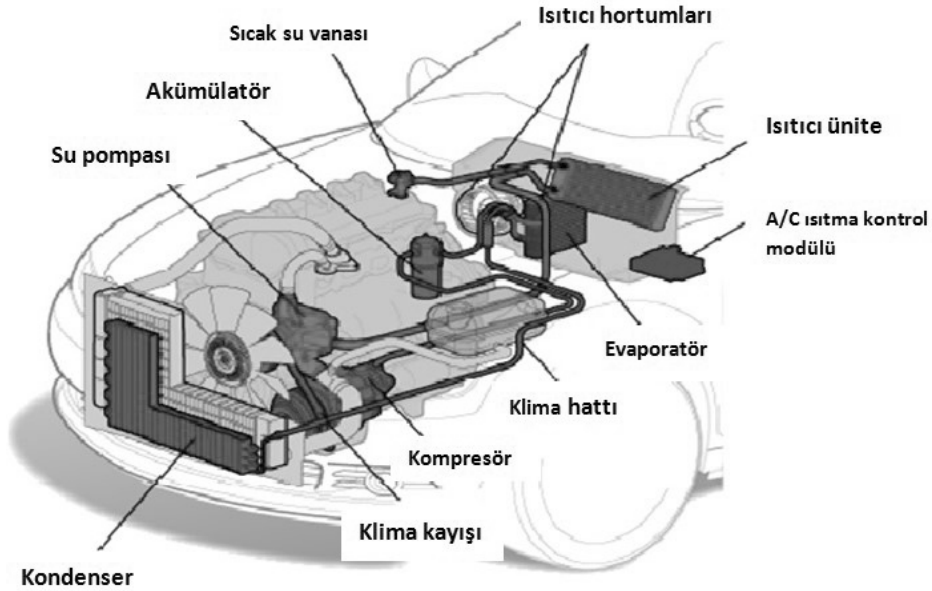
II. Dünya Savaşı'ndan önce yaklaşık 3,000 Amerikan aracı A/C sistemi ile donatılmıştır. Savaş sona erdikten sonra, A/C sistemi gelişmeye devam ederek Cadillac reklamlarında yüksek teknoloji klima kontrolü olarak lanse edilmiştir. Ancak Cadillac'ta bulunan bu klima sistemi ve sistemin kontrolü sürücü koltuğundan 1.8 m geride bagaj kısmında bulunduğu için kullanımında çeşitli zorlukları beraberinde getirmiştir. Sonrasında, General Motors şirketinin Harrison radyatör adlı departmanı, 1953 yılında, yeni bir dizayn geliştirerek klima sistemini motor kaputunun içine yani motor kompartımanına yerleştirmeyi başarmış ve böylelikle çok daha verimli bir dizayn uygulanmıştır [3].

1960'lı yıllar süresinde araç klima sistemlerinde yapılan iyileştirmeler klimaların daha güvenli ve sessiz hale getirilmesi üzerine olmuş ve Chrysler Motor gurubu sürücü tarafından sıcaklığın ayarlanabildiği otomatik klimaların temelini oluşturan bir sistem tasarlamıştır. Tasarlanan bu sistemde havanın akış hızı ve sıcaklığı optimize edilmiştir. General Motors grubu sonrasında klima kontrol sistemi adını verdiği bir sistem geliştirmiş ve bu sistem ilk olarak Cadillac marka araçlarda satışa sunulmuştur [4].

Eylül 1987’ de imzalanan Montreal Protokolü ile kloroflorokarbon gazının kullanımı büyük bir oranda azaltılmıştır. Sonrasında, R-134a gazının geliştirilmesi ile birlikte araç iklimlendirme sistemlerinde kullanılan kondenser ve kompresör gibi komponentlerin geliştirilmesi sağlanmıştır. 1990’lı yıllar, R-12’nin kullanımının sona erip R-134a gazının kullanımının günümüze kadar uzandığı periyot olmuştur. [5].

### **Araç İklimlendirme Sistemleri ve Sistem Yapısı**

Araç iklimlendirme sistemi, araç içi ortamı soğutan, akan havayı temizleyen ve nem ayarını yapan, hava akış durumunu ayarlayan, iç ortam konforunu sağlamaya yönelik kullanılan elektro-mekanik bir sistemdir. Sistemin çalışması temel olarak, klima sisteminin araç içi ortam ısını çekip ortamdaki ısıyı uzaklaştırarak atmosfere bırakmasından ileri gelmektedir [6].

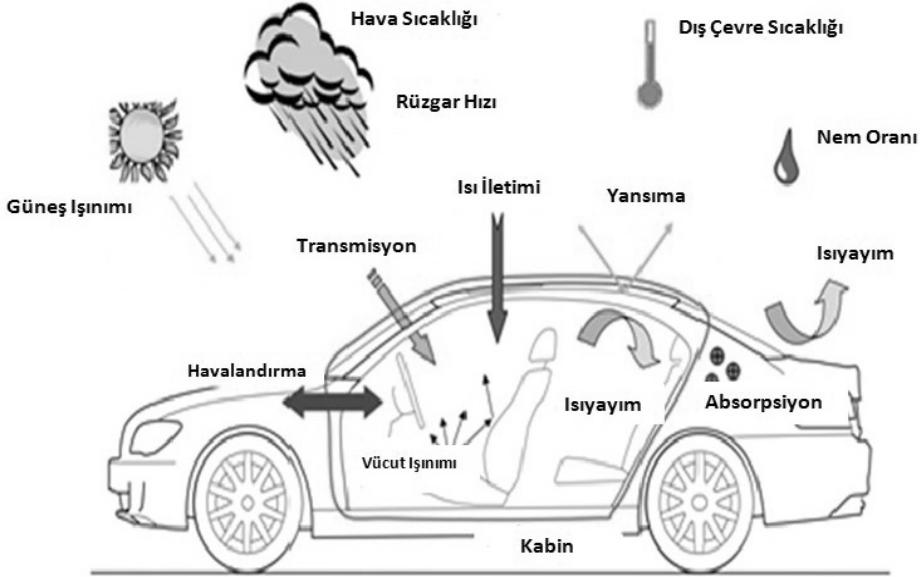


**Şekil 3.1:** Araç klima elemanları [7]

Araç iklimlendirme sistemlerinin araç içi ortam ısını çekip atmosfere bırakma süreci üç önemli olguyu içermektedir;

1. Isı transferi
2. Buharlaşma ısısı (Latent heat of vaporization)
3. Basıncın kaynama ve yoğunlaşma üzerindeki etkisi

İklimlendirme sistemlerinin temel çalışma prensibini anlamak ve yorumlamak için bu üç ana olgunun iyi anlaşılması gerekmektedir. Araç iklimlendirme sistemlerinde istenilen şartların sağlanabilmesi için bir çok parametrenin değerlendirilmesi ve bu parametreler göz önüne alınarak tasarım prosesinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sistemin araç içi istenilen konfor şartlarını optimal olarak sağlayabilmesi noktasında, aracın kabinindeki ısıl yüklerin hepsinin değerlendirilerek sistemin tasarlanması gerekmektedir. Araç kabinindeki ısıl yükler Şekil 3.2> de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Araç kabinindeki ısıl yüklerin şematik gösterimi [8]

### Araç İklimlendirme Sistemlerinin Kullanım Amaçları

Araç iklimlendirme sistemleri, araç içi ortam sıcaklığını istenen değerde tutmak ve konfor standartlarını sağlamak amacıyla araç içi havayı soğutan ve aynı zamanda nem düzeyini optimize eden elektro-mekanik bir sistemdir. Araç kabini sıcaklığı yüksek değerlerde olduğunda ısıyı çekerek ve nem oranı fazla olduğunda ise havanın nemini alarak konfor standartları sağlanmaktadır.

### ➤ Araç İçi Yolcu Kabin Sıcaklığının İstenilen Değerde Tutulmasındaki Kullanımı

Yol taşıtlarında bulunan klima sistemlerinde kabin sıcaklığı manüel ya da otomatik olarak ayarlanabilmektedir. İstenilen sıcaklık değeri sıcaklık kontrol düğmesi vasıtası ile 18 ile 32 °C arasındaki değerlerde arzuya göre seçilebilmektedir. Mekatronik sistemlerin bir örneği olan otomatik klima sistemlerinde, araç içi sıcaklık, gelişmiş sensörlerin aldığı giriş sinyallerinin elektronik kontrol ünitesinde

değerlendirilip çıkış sinyaline göre klima elemanlarının ayarlanmasıyla sürekli olarak istenilen bir sıcaklık değerinde sabit olarak tutulabilmektedir.

➤ **Kabin Nem Oranının Ayarlanmasındaki Kullanımı**

Kabin içindeki fazla nem kabinde bulunan konfor standartlarını düşürdüğünden klima sistemi tarafından çekilmektedir. Araç içinde bulunan nemli hava klima sistemi tarafından çekilip evaporatörde kondense edilmesi ile kabin içi fazla nem alınmış olur.

➤ **Kabin İçi Havanın Temiz Tutulmasındaki Kullanımı**

Resirkülasyon modu kapalı olduğu sürece dışarıdan gelen temiz havanın araç kabininde devridaimi yapılarak araç içi hava temiz tutulmaktadır. Bunun yanı sıra, yaygın olarak kullanılmakta olan polen filtresi vasıtası ile içeri giren hava girmeden önce bu filtre yardımı ile toz, toprak gibi yabancı maddelerden arındırılarak kabine ulaştırılır.

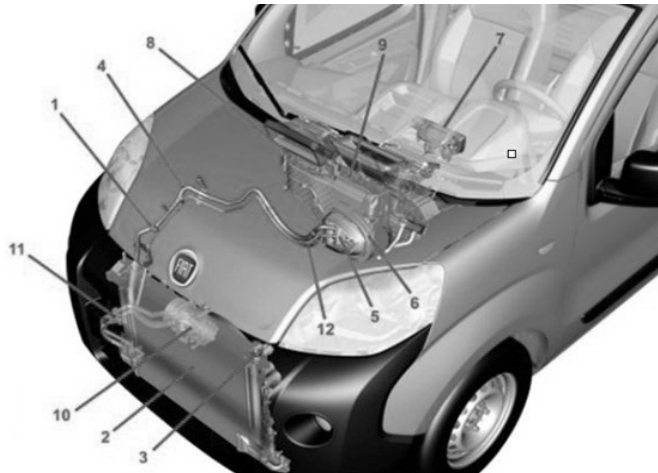
➤ **Hava Sirkülasyonunun Sağlanmasındaki Kullanımı**

Araç klima sistemi dışarıdan gelen havayı polen filtresi ile süzdükten sonra kabine soğuk hava olarak iletmesinin yanı sıra, kabin sıcaklığı istenilen değere geldiğinde, resirkülasyon modu ile daha az enerji harcayarak kabin sıcaklığı istenilen değerde tutulabilmektedir. Ancak bu fonksiyonun uzun süre kullanılması kabindeki temiz hava miktarının azalmasına sebep olmaktadır [9].

**Araç İklimlendirme Sistemlerinin Yapısını Oluşturan Parçalar**

Araç iklimlendirme sistemleri, kabinde istenilen sıcaklığı belirli konfor standartlarını sağlamak üzere tasarlanmış sistemler olmakla birlikte bir araç iklimlendirme sistemi temel olarak, kompresör, genişleme valfi, kondenser, evaporatör ve nem tutucu filtreden meydana gelmektedir. Şekil 3.3’ te araç iklimlendirme sistemlerinde bulunan parçalar şematik olarak gösterilmiştir.

1. Lineer presostat
2. Kondenser
3. Entegre nem tutucu filtre
4. Alçak basınç borusu
5. Genişleme valfi
6. Evaporatör
7. Kumanda paneli
8. Polen filtresi
9. Davlumbaz/dağıtıcı grubu
10. Kompresör
11. Yüksek basınçlı gaz boruları
12. Yüksek basınçlı sıvı boruları



**Şekil 3.3:** Araç iklimlendirme sisteminde bulunan parçalar [10]

### **Kompresör**

Araç A/C sisteminin önemli bir parçası olan kompresörler, soğutucu akışkanı emip, kondensere basarak basıncın yükselmesini sağlar ve basınç artmış olur. Bu sayede kompresör, klima soğutucu akışkanının sistemde dolaşmasını sağlamış olur. Yol taşıtlarında, sadece soğutucu yağ ile yağlanmakta olan pistonlu kompresörlerin kullanımı mevcuttur. Araçta klima sistemindeki kompresör yalnızca klima sistemi devredeyken çalışmaktadır ve araç rölantideyken bile bir kompresör yeterli soğutma gücünü sağlayabilecek kapasitede dizayn edilmiştir [11].

### **Kondenser**

Klima sisteminde kondenser, kompresörden gelen sıkıştırılmış, yüksek sıcaklık ve basınçtaki soğutucu akışkandan ısı çekip, soğutma ve yoğunlaştırma işleminin yapılarak soğutucu akışkanın sıvı hale döndüğü klima sistemi parçasıdır. Kompresör vasıtası ile kondenser içine sıkışan soğutucu gazın basıncı artar ve sıcaklığı yükselir, bundan dolayı soğutulması gerekir. Bu sebeple, soğutma işlemi bir fan yardımı ile gerçekleştirilir. Araç klima sisteminde kullanılan kondenserler genellikle radyatörün arka kısmına yerleştirilirler çünkü aracın ön kısmından gelen hava akımı kondenserin soğumasına yardımcı olmaktadır [12].

### **Evaporatör**

Araç A/C sistemlerinin önemli bir parçası olan evaporatör, genişleme valfinin arka kısmında yer alan ve genişleme valfinden çıkararak basıncı düşürülen soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlamaktadır. Soğutucu akışkanın genişleme valfi öncesindeki fiziksel hali sıvıdır. Yüksek basınçlı ve sıvı haldeki soğutucu akışkan, genişleme valfi vasıtası ile daha geniş bir hacme ulaşarak basıncı düşer. Sonrasında, bu basıncı düşmüş sıvı haldeki bu soğutucu gaz evaporatörde buharlaşır ve ortamdan ısı çekebilecek, yani soğutucu özelliğe sahip olur. Evaporatör yüzeyi yaklaşık  $-18^{\circ}\text{C}$  ye kadar soğur. Evaporatör yüzeyindeki bu soğuk hava, evaporatör fanı yardımı ile araç kabini içine ulaştırılmış olur ve araç kliması soğutma işlevini yerine getirmiş olur [13].

### **Genleşme valfi**

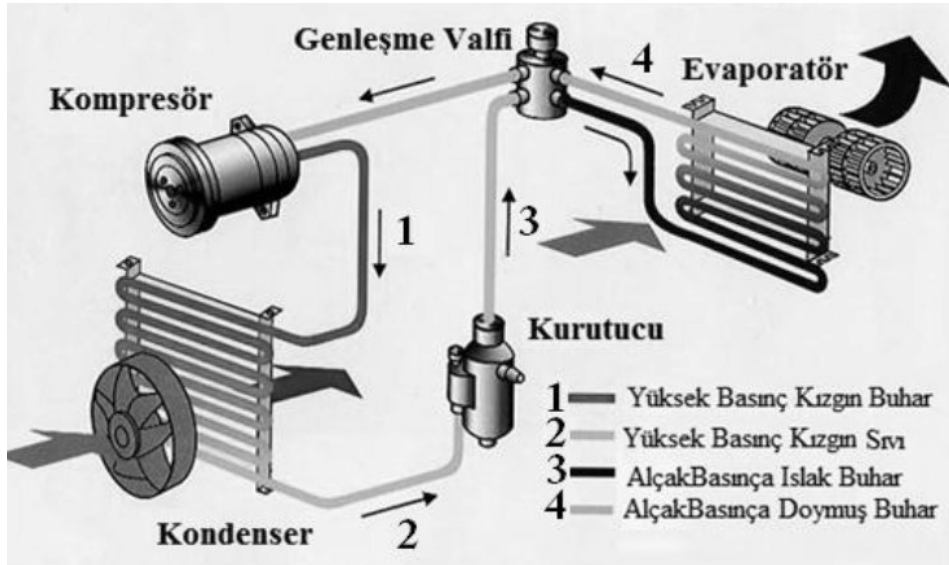
Yol taşıtları klima sistemlerinde kullanılmakta olan genişleme valfi, yüksek sıcaklık ve basınçta olan soğutucu akışkanın, sıcaklığını ve basıncını düşürerek, evaporatöre ulaşmasını sağlayan klima elemanıdır. Genleşme valfi aynı zamanda soğutucu akışkanın akış miktarının ayarlanmasında da görev almaktadır. Bir evaporatörün yüksek verimle çalışması için düşük sıcaklık ve basınçta uygun oranda soğutucu akışkan sirkülasyonu gerekmektedir. Eğer genişleme valfine gelen soğutucu akışkan miktarında azalma olursa, evaporatöre giden soğutucu akışkanın da miktarı azalacak, sıvı daha erken gaz haline dönüşmeye başlayacak ve klimanın soğutma veriminde azalma görülecektir [14].

### **Nem tutucu filtre**

Nem tutucu filtre araç klima sistemlerinde bulunan önemli parçalardan biri olmakla beraber, genellikle radyatörün ön veya arkasına yerleştirilmektedir. Bu filtrelerin kullanım amacı, kondenserde sıvı hale getirilmiş soğutucu akışkanı soğutma yük durumuna göre ihtiyaç halinde kullanılmak üzere soğutucu akışkanı geçici olarak depolamak, soğutucu akışkanın içinde bulunabilecek muhtemel yabancı maddeleri ve nemi süzmektir [15].

### **Araç İklimlendirme Sistemlerinin Temel Çalışma Prensibi**

Araç kabin ortamında optimal konfor standartlarının sağlanması kapsamında tasarlanan ve geliştirilen araç klima sistemleri, araç içine gelen havayı soğutmak, temizlemek ve kabin içi nem dengesini sağlamak amacıyla araç üreticileri tarafından artık neredeyse her yol taşıtında standart bir özellik olarak sunulan sistemler olarak kullanılmaktadır. Araç klimalarının çalışma esası, maddenin sıvı halden gaz haline geçerken ısı alması ve gaz halinden sıvı haline geçerken de ısı vermesi prensiplerine dayanmaktadır. Araç klima sistemlerinde soğuk hava üretimi söz konusu değildir. Dış ortamda bulunan havanın ve araç kabininde sirküle edilen havanın, klima sistemindeki evaporatörden geçirilerek bir fan yardımı ile tekrar kabine ulaştırılması ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiş olur [16].



**Şekil 3.4:** Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi [17]



Bir araç iklimlendirme sisteminin çalışma prosesi sırasıyla açıklanacak olursa:

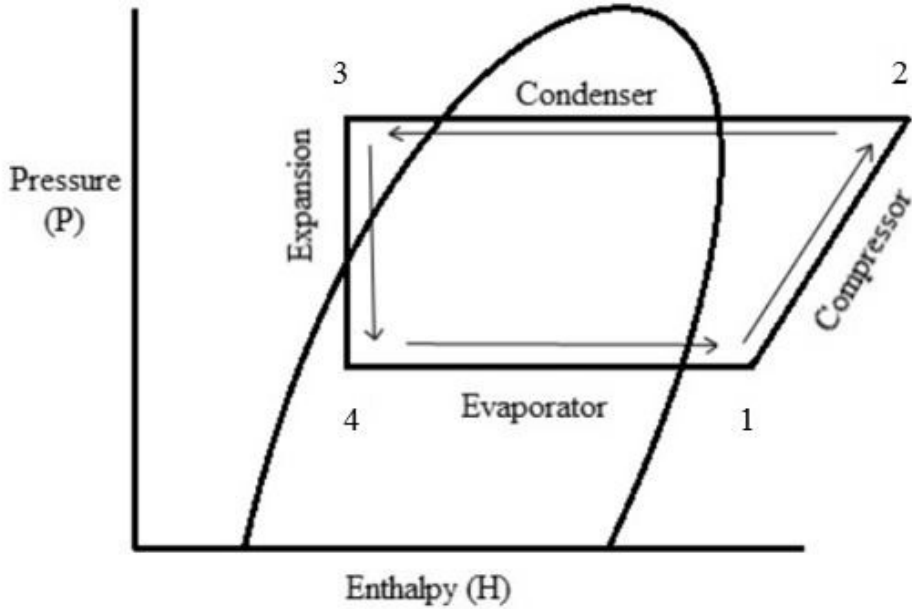
- 1.Evaporatörden gelen soğuk gaz halindeki soğutucu akışkan, kompresör tarafından emilir ve sıkıştırılır. Yüksek sıcaklık ve basınca sahip halde olan bu soğutucu akışkan gaz halinde kondensere iletilir.
- 2.Aracın radyatör kısmından gelen soğuk hava, kondenserdeki yüksek sıcaklıktaki soğutucu gazı soğutur ve gaz sıvı hale geçer. Sonrasında soğutucu akışkan, sıvı halde ve yüksek basınçlı olarak kondenserden genleşme valfine aktarılır.
- 3.Genleşme valfi vasıtası ile sıvı halde bulunan soğutucu akışkanın basıncı düşürülür ve evaporatöre iletimi sağlanır.
- 4.Evaporatörde, soğutucu akışkan, sıvı halden gaz haline geçer ve ortamdan ısı çeker, yani soğutma işlemini gerçekleştirmiş olur.
- 5.Bir fan vasıtası ile evaporatör üzerinden geçen hava ısını evaparatör üzerinde bırakır ve soğumuş haldeki hava aracın içine aktarılmış olur.

### **Buhar Sıkıştırılmalı Araç İklimlendirme Sistemleri**

Araç klima sistemlerinde, soğutucu gaz sistemde sirküle olmakta ve çevre ile ısı alışverişine devam etmektedir. Sistem çalışmasını kompresörün motordan aldığı enerji vasıtası ile sürdürmektedir. Şekil 3.5' te görülen buhar sıkıştırılmalı çevrim, dört fonksiyonel termodinamik prosesine ayrılabilir. Bu prosesler; sıkışma (compression), yoğunlaşma (condensation), genleşme (expansion) ve buharlaşma (evaporation)' dir.

Şekil 3.5' in 1-2 hattında görülen sıkışma prosesinde, kompresör düşük sıcaklık ve basınçta olan gaz halindeki soğutucu akışkanı sıkıştırarak yüksek sıcaklık ve basınçlı gaz haline geçmesini sağlar.

Şekil 3.5' in 2-3 hattında görülen yoğunlaşma prosesinde, yüksek sıcaklık ve basınçta gaz halinde olan soğutucu akışkan kompresörden kondensere gelir. Kondenserin dış ortam ile olan ısı alışverişinden dolayı olan ısı kaybı ve ilaven bir fan yardımı vasıtasıyla yüksek basınçlı gaz halindeki soğutucu akışkan yoğunlaşarak sıvı hale geçer. Yoğunlaşma prosesi proses sabit basınç altında gerçekleşmektedir.



**Şekil 3.5:** Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi Basınç - Entalpi diyagramı [18]

Genleşme prosesi Şekil 3.5'in 3-4 hattında görüldüğü üzere, yüksek sıcaklık ve basınçlı sıvı haldeki soğutucu akışkan, akış kontrol ünitesi, TVX sistemlerinde genleşme valfi veya CCOT sistemlerinde orifis tüpü yardımı ile düşük basınç ve sıcaklıkta olan sıvı-gaz karışımı şeklindeki soğutucu akışkan evaporatör (yoğunlaştırıcı)' e gönderilir.

Buharlaşma prosesi Şekil 3.5' in 4-1 hattında görüldüğü gibi sıvı-gaz karışımı halinde olan soğutucu akışkanın sıvı olan kısmı evaporatörde buharlaştırılarak ortamdaki ısı çekebilme kapasitesine sahip olur ve evaporatör üzerine yerleştirilmiş bir fan yardımı ile soğuk hava araç kabininin içine üflenir. Buharlaşma prosesi sabit basınç altında gerçekleşmektedir.

### **Araç İklimlendirme Sistemlerinde Kullanılan Sensörler**

Araç iklimlendirme sistemleri kabin içi konfor standartlarından olan; sıcaklık, nem, temiz hava sirkülasyonu gibi parametreleri sağlamak amacı ile tasarlanmış mekatronik sistemler olup A/C ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) ünitesi tarafından kontrol edilen, sistem kararlılığını sağlamak için aracın belirli elektromekanik parçalarına veya araç gövdesinin belirli yerlerine yerleştirilmiş çeşitli sensörler içermektedir. Bu sensörler bulunduğu yerden topladığı verileri ECU' ne göndererek araç klima sisteminin optimal çalışma standartlarının sağlanması doğrultusunda bu sisteminde yerini almaktadır.

### ➤ **Sıcaklık Sensörü**

Yol taşıtlarında sıcaklık sensörü olarak, sıcaklığa dayalı lineer olmayan yarı iletken sensörler olan termistörler kullanılmaktadır. Aracın birçok yerinde bulunabilen termistörler, NTC (Negative Temperature Coefficient) ve PTC (Positive Temperature Coefficient) tipi yarı iletken materyalden oluşan sensörlerdir.

Sensörün araçta kullanıldığı yerler ve görevleri:

- 1.Motor soğutucu sıcaklık sensörü - Motor soğutma suyu sıcaklığı ölçümü
- 2.Dış çevre sıcaklığı sensörü - Kondenser/Ön tampon yanına yerleşimli
- 3.Evaporatör sıcaklık sensörü - Evaporatör dış yüzeyi yerleşimli, evaporatör yüzey sıcaklığını ölçme amaçlı
- 4.Kabin sıcaklık sensörü - Klima kontrol paneli veya hava kanalı yerleşimli

### ➤ **Güneş Yükleme Sensörü**

Güneş yükleme sensörleri araç otomatik klimalarda kullanılan, güneş ışığının araç kabinini ısıtma miktarını ölçme amacı ile kullanılır. Güneş yükleme sensörleri esasında fotovoltaiik diyotlar olup, fotovoltaiik etkiyi kullanarak güneş ışığı yoğunluğunu ölçer. Bu sensörler araçlarda genellikle ön cam havalandırma kanallarının olduğu bölgede bulunmaktadır. Güneş yükleme sensörü yardımı ile güneş ışığı yoğunluğunun ölçülerek kabin sıcaklığının kontrolsüz olarak değişmesinin önüne geçilmiş olur.

### ➤ **Basınç Sensörleri**

Araç klima sistemlerinde bulunan basınç sensörleri, klima sisteminde bulunan fanların, soğutucu akışkanın belirli oralarda geçtiği genişleme valfi, kurutucu gibi parçalardaki kontrolünün yapılması için gerekli verilerin toplanması için kullanılan, kapasitif, piezoelektrik veya gerinim ölçme tabanlı gibi çeşitlerde olabilen sensörlerdir.

### ➤ **Nem Sensörü**

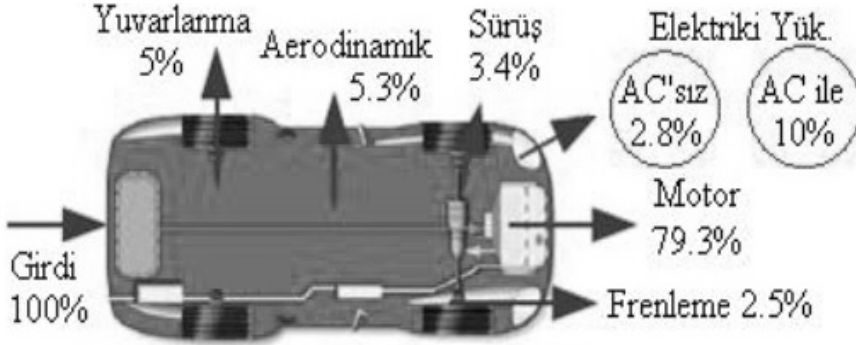
Nem sensörleri araç içi havanın bağıl nemini ölçmek için tasarlanmış kapasitif ölçme prensibi ile çalışan sensörlerdir. Nem sensörleri genellikle sıcaklık sensörleri ile birlikte çalışacak şekilde kullanılmaktadır. İki sensör hatasız olarak çiy noktasının tespit edilmesi için birlikte çalışmaktadır.

### ➤ **Hava Kalite Sensörü**

Hava kalite sensörleri, yol taşıtının egzoz gazının yoğun olduğu bir bölgeye veya kirli bir hava kütesinin içine girmesi durumunda, araç klima sistemine dış ortamdaki hava girişini durdurarak, resirkülasyon modunun açılmasını sağlamaktadır. Böylece kabin içi temiz havanın dış ortam havası ile kontaminasyonu engellenmiş olmaktadır. Bu sensörler, aracın ana hava giriş kanalına yerleştirilmekte olup, sensörde önceden tanımlanmış olan karbon monoksit ve nitrojen dioksit eşik değerine göre resirkülasyon modu devreye girmektedir [19].

### **Araç İklimlendirme Sistemi ve Yakıt Ekonomisi**

Araç iklimlendirme sistemleri motor üzerindeki önemli ilave yüklerden biri olması ile birlikte, yakıt tüketiminin 8.7 l/100 km olan bir yol taşıtındaki A/C sistemi enerji tüketimini Şekil 3.6’ da gösterilmiştir. Bir klima kompresörü, araç motoruna yaklaşık 5-6 kW ilave yük eklemekle birlikte, klima sistemi aktif haldeyken araç yakıt tasarrufunda önemli bir oranda azalma görülmektedir [20].



**Şekil 3.6:** Geleneksel bir yol taşıtında enerji tüketimi [20]

Araç klima sistemlerinde öne çıkan nokta, klima sisteminin neden olduğu yakıt tüketiminin şehir içi kullanımda yüksek ve diğer yandan otoyol kullanımında önemli bir oranda azaldığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak, klima sistemlerinin rölantide çalıştığı durumlarda büyük oranda verimli olduğu sonucuna varılmaktadır [21].

### **Ekserji Analizi**

Enerjinin kullanılabilirliği, bir sistemde var olan enerji ile sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Bir sistemin, en yüksek kapasitede iş yapabilmesi için sistemin ilk halden, hal değişiminin sonunda, ölü noktasına ulaşması gerekmektedir. Sistem ölü haldeyken, sistem çevre ile termodinamik olarak dengededir ve sistem ölü haldeyken sistemden yararlı iş potansiyeli eldesi sıfırdır. Buradan yola çıkarak, bir sistem çevre elemanları ile tersinir olan hal değişimi sonucunda termodinamik dengeye (ölü hal) geldiğinde elde edilebilecek iş miktarı, sistemin ekserji değerine denk gelmektedir. Dolayısıyla, bu ifade bir sistemin termodinamik yasalar kapsamında yapabileceği en yüksek iş miktarını belirler. [22].

Ekserji bütün enerji şekillerini gösterebilen bir özellik olmakla birlikte, bir sistemdeki toplam ekserji sistemde bulunan farklı enerji potansiyelleri belirlenerek tespit edilmektedir. Sistemde, nükleer, elektrik, manyetik gibi enerji çeşitlerinin olmadığı farz edilirse, sistemdeki toplam ekserji E ;

$$E = E_{\text{fizik}} + E_{\text{ke}} + E_{\text{pe}} + E_{\text{kimya}} \quad (4.10)$$

burada,

$E_{\text{fizik}}$  :Fiziksel ekserji

$E_{\text{ke}}$  :Kinetik ekserji

$E_{\text{pe}}$  : Potansiyel ekserji

$E_{\text{kimya}}$  : Kimyasal ekserji,bağıntıları ile bulunur.

Çevre ile gerçekleşen ısı transferi ihmal edilerek, kompresörde bulunan ekserji yıkım miktarı (4.11) ile bulunabilir.

$$E_{\text{Komp}} = m_{\text{sa}} T_0 (s_2 - s_1) \quad (4.11)$$

Kondenserden çevreye olan ısı kaybını kapsayan kondenserde bulunan ekserji yıkım miktarı (4.12) yardımı ile hesaplanabilir.

$$E_{\text{Kond}} = m_{\text{sa}} T_0 (s_5 - s_2) - \left(4 \left(\frac{h_5 - h_2}{T_{\text{kond,g}}}\right)\right)$$

Genleşmenin adyabatik olduğu farz edilerek genleşme valfindeki ekserji yıkımı (4.13) ile bulunabilir.

$$E_{\text{TVX}} = m_{\text{sa}} T_0 (s_6 - s_5) \quad (4.13)$$

Evaporatörde bulunan ekserji yıkım miktarı (4.14) yardımı ile bulunabilir.

$$E_{\text{Evap}} = m_{\text{sa}} T_0 \left[ (s_7 - s_6) - \left(\frac{h_7 - h_6}{T_{\text{evap,g}}}\right) \right] 4$$

Buradan, soğutma sisteminde bulunan elemanların toplam ekserji kaybı (4.15) vasıtası ile hesaplanabilir.

$$E_{\text{Toplam}} = E_{\text{Komp}} + E_{\text{Kond}} + E_{\text{TVX}} + E_{\text{Evap}} \quad (4.15)$$

## **Araç İklimlendirme Sistemlerinin Modellenmesi**

### **Araç İklimlendirme Sistemlerinin Matlab/Simulink Simülasyonu**

Araç iklimlendirme sistemlerinin modellenmesi ve sistemin dinamik davranışının simüle edilmesi amacıyla oluşturulan Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 5.1’ de verilmiştir. Burada kabine giriş ısı kaynakları olarak, dış ortam, kabindeki kişi sayısı ve iklimlendirme sistemi kabul edilmiştir. Bu kapsamda, kabin sıcaklığını kontrol edebilmek için PID tipi kontrolcü kullanılmıştır. PID kontrolcüye ait matematiksel ifade aşağıda denklem (5.1) ile gösterilmiştir.

$$G_c(s) |_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5.1)$$

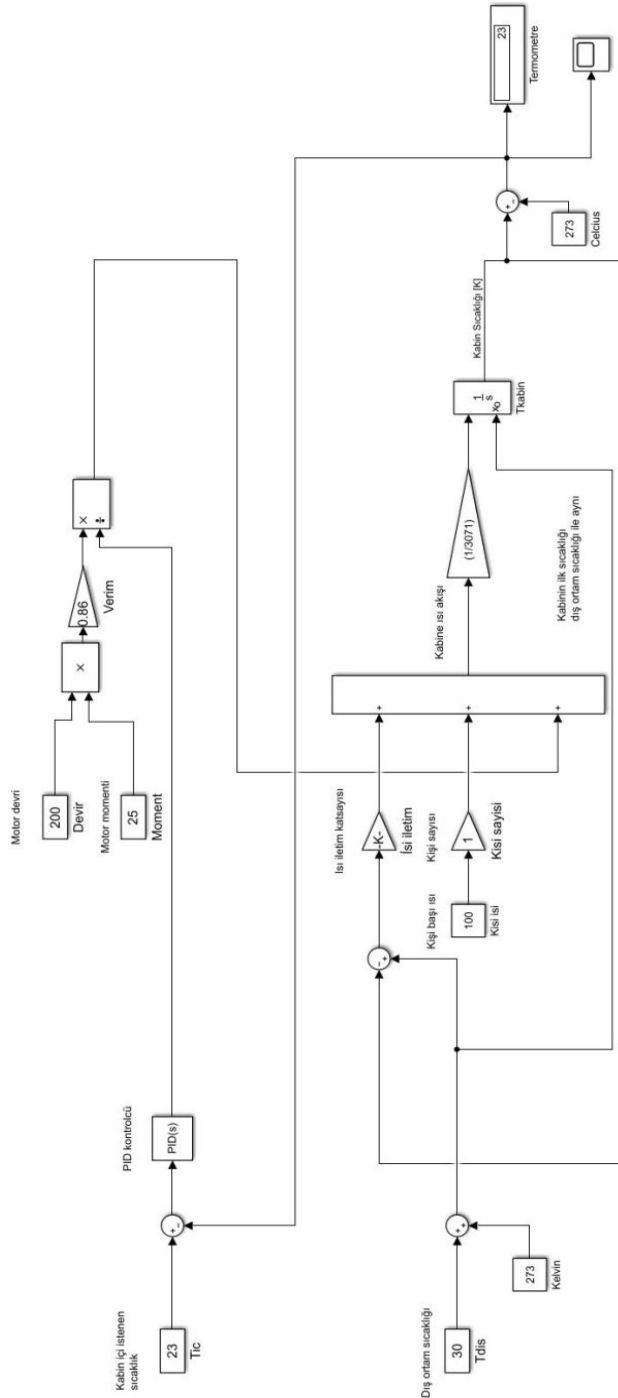
Denklem (5.1)’ de  $K_p$  oransal katsayı,  $K_i$  integral katsayısı,  $K_d$  ise türev terimine ait katsayıdır.  $K_p$  hatayı oranlarken,  $K_i$  başlangıçtan itibaren hatanın toplamını ve  $K_d$  de hatanın türevinin almaktadır. PID kontrolcüler bir çok değişkeninin yer aldığı karmaşık proseslerin endüstriyel alanda kontrolünün sağlanmasında yaygın olarak kullanılan kontrolcü tiplerinden birisidir [23].

Araç iklimlendirme sistemleri Matlab/Simulink blok diyagramında bulunan PID kontrolçüsünde bulunan parametrelerden;

$$K_p = 10$$

$$K_i = 1$$

$$K_d = 100 \text{ olarak seçilmiştir.}$$



Şekil 5.1: Araç iklimlendirme sistemleri Matlab/Simulink blok diyagramı

Şekil 5.1’de gösterilmiş olan Matlab/Simulink blok diyagramı, araç iklimlendirme sistemlerinin modellenerek, sistem dinamiğinin işleyişini simülasyondaki parametreler vasıtası ile gösterip sistemin davranışının anlaşılması için gerekli bilgileri vermektedir. Bu kapsamda, ilgili Matlab/Simulink blokları kullanılmış ve sistemin sürekli hale gelmesinde, ısı yükler, araç içi kişi sayısı ve iklimlendirme sisteminin kendisi gibi parametreler değerlendirilmiş ve Matlab/Simulink “Scope” bloğu yardımıyla alınan sürekli hal grafiklerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu başarılı sonuçlar, sistem gereksinimlerini sistemdeki parametrelerin tamamının değerlendirilmesi ve sürekli hal (steady state) grafiklerinde de istenilen zaman aralığında başarılı sonuçlar alınmasını sağlayan PID tipi kontrolcünün kullanılması ile elde edilmiştir.

### **Araç İklimlendirme Sistemi Matlab/Simulink Simülasyon Grafikleri ve Grafiklerin Değerlendirilmesi**

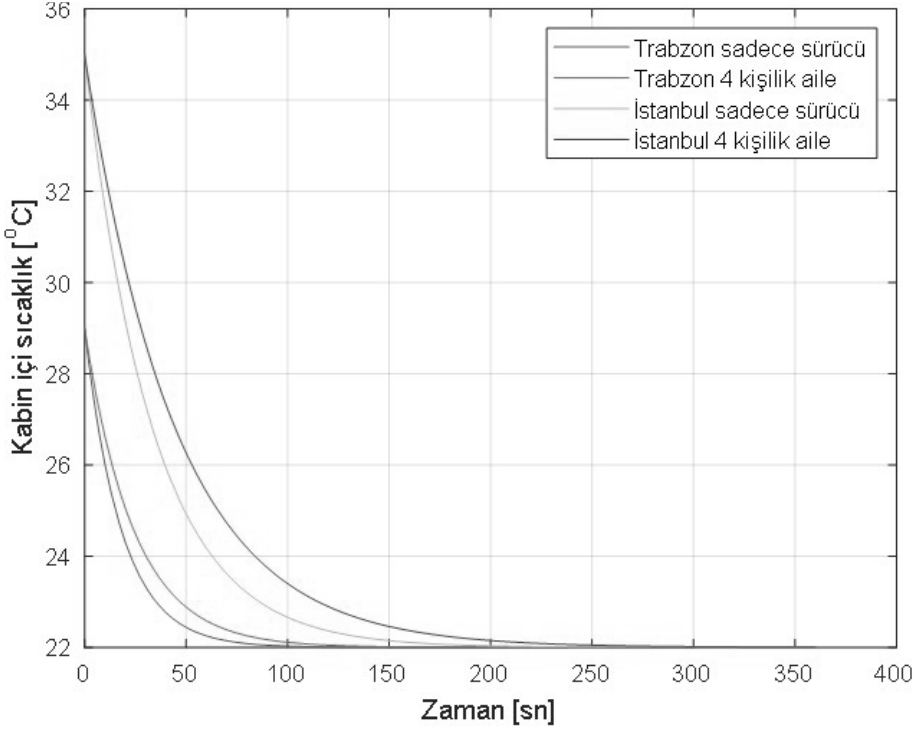
Araç iklimlendirme sistemlerinin modellenmesi amacıyla Matlab/Simulink ile hazırlanan simülasyonda, sistem kararlılığının sağlandığının görülmesi amacı ile iki farklı durum değerlendirilmiş ve bu iki farklı durumun her biri için de iki ayrı şart kapsamında simülasyonu hazırlanmış ve simülasyon grafikleri alınmıştır. Sistemin sürekli hal grafikleri aşağıda ilgili şekiller ve açıklamalar ile belirtilmiştir. Simülasyondaki tüm grafikler 6 dakika (360 saniye) üzerinden oluşturulmuştur.

Birinci durumda, 7 Ağustos 2017 tarihli Trabzon merkez hava durumu baz alınıp iki farklı araç simülasyonu yapılmıştır. Birinci araçta sadece sürücü, ikinci araçta da dört kişilik bir aile olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda, birinci durumda dış ortam sıcaklığı 29 °C olmakla birlikte, kabin sıcaklığının da 22 °C olması hedeflenmiştir.

İkinci durumda, 7 Ağustos 2017 tarihli İstanbul merkez hava durumu baz alınıp iki farklı araç simülasyonu yapılmıştır. Birinci araçta sadece sürücü, ikinci araçta da dört kişilik bir aile olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda, ikinci durumda dış ortam sıcaklığı 35 °C olmakla birlikte, kabin sıcaklığının da 22 °C olması hedeflenmiştir.

Şekil 5.2’de birinci ve ikinci durum şartlarından elde edilen sonuçlar tek bir grafik olarak gösterilmiştir.





**Şekil 5.2:** Birinci ve ikinci durumdaki tüm şartların oluşturduğu kabin içi sıcaklık-zaman grafiği

Birinci durumda, Trabzon’ da dış ortam sıcaklığının 29 °C olmakla birlikte, kabin sıcaklığının 22 °C olması hedeflenmiştir. Birinci durum grafikleri incelendiğinde, kabinde sadece sürücü varken sistemin grafiğinin sürekli hale ulaşması 100 saniye civarındayken, kabinde dört kişilik aile varlığında 150 saniye civarına ulaşmaktadır. İkinci durumda ise kabinde sadece sürücü varken sistemin grafiğinin sürekli hale ulaşması 200 saniye civarındayken, kabinde dört kişilik aile varlığında 250 saniye civarına ulaşmaktadır. Diğer yandan, birinci durumda dış ortam sıcaklığı 29 °C ve ikinci durumda 35 °C’ dir. Şekil 5.2.’ te birinci ve ikinci durumda, sistemin sürekli hale ulaşması için gerekli süreler arasındaki fark açık bir şekilde görülmektedir.

## **SONUÇ**

Araç iklimlendirme sistemlerinin çalışma prensipleri ve verimliliği kapsamında oluşturulan bu çalışmada, araç iklimlendirme sistemlerinin çalışma prensipleri, klima sisteminde bulunan ana elemanlar olan; kompresör, kondenser, evaporatör, genişleme valfi ve nem tutucu filtrenin araç klima sistemlerinin soğutma prosesinde aldığı görevler ve her birinin çalışma sistemi ayrı ayrı ve hepsinin oluşturduğu sistem bütünsel olarak ele alınmış, soğutma sistemi ve sistemin çalışma prensipleri detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmada, araç iklimlendirme sistemlerinin bütün bir sistem ve sistem elemanları olarak mekatronik mühendisliği açısından değerlendirilmesi yapıldığında, sistemde bulunan sensörlerden; sıcaklık, güneş yükleme, basınç, nem, hava kalite sensörlerinin sistem gereksinimlerini karşılamadaki görevleri, bütün sensörlerin çalışma biçimi, ana kontrol ünitesi ile olan bağlantısı ve sistem kararlılığına katkısı detaylı olarak bahsedilmiştir.

Tasarım mühendislerinin daha verimli klima sistemleri tasarlaması amacı ile termodinamik yasaları kapsamında, ekserji analizi yapılmıştır. Bu noktada, ekserjinin klima sistemindeki tüm bileşenleri ve klima sistem komponentleri birlikte değerlendirilerek, parametrik denklemler oluşturulmuş ve bu denklemler analiz edilmiştir.

Çalışmanın araç iklimlendirme sistemlerinin modellenmesi kısmında, bir araç kabini, araç kabine etki eden termal yükler ve klima kompresörü baz alınarak sistem modellenmesi yapılmıştır. Bu modellenme sonucunda endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmakta olan kontrolcü tiplerinden PID kontrolcü parametreleri belirlenip farklı durumları içeren simülasyonlar yapılmıştır. Kontrolcü parametreleri belirlenirken, kabin içi konfor standartları ve sistemin fiziksel kısıtları göz önünde bulundurulmuştur. Tasarlanan PID kontrolcü ile ele alınan farklı senaryolarda, sistem kararlılığına ulaşma noktasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile araç iklimlendirme sistemlerinde, ısı transferinin pek çok parametreye bağlı olarak değişmesi, tasarlanacak veya mevcut sistemi geliştirecek tasarım mühendislerinin bu parametreleri tek tek değerlendirmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu çalışma, sistem parametreleri, sistemin çalışma prensipleri ile ilgili bilgilerin detaylı olarak verilmesi ve sistem modellenmesinin Matlab/Simulink ortamında yapılarak sistem dinamiği ve kontrolü noktasında önemli bir simülasyon modeli oluşturulması açısından klima sistemi tasarım mühendislerine yol gösterici bir kaynak niteliğinde olacaktır.

## KAYNAKÇA

Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I., *The map of energy flow in HVAC systems*, *Applied Energy*, vol. 88, no. 12, pp. 5020-5031, 2011.

Anon, *Air conditioned systems now available for motor vehicles*, *Automotive Industries*, pp. 605-606, 1935.

Homes, J. R., *Development of an automotive air conditioning system for underhood installation*, *General Motors Engineering Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 1-9, 1955.

Davitz, R. P., *Postwar scripts*, *Old Cars*, pp. 18-19, 1978.

Bhatti, M. S., *Global warming impact of automotive air-conditioning systems*, *VII International Mobility Technology Conference and Exhibition*, 1998.

Khayyam, H., Kouzani, A., *Coordinated energy management of vehicle air conditioning system*, *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, no. 5, pp. 750-764, 2011.

Underwoodsmotorgroup, *Air Conditioning Service, How Does My Air Conditioning System Work*, Erişim 22.02.2018, <https://www.underwoodsmotorgroup.com/service-repair/air-conditioning-service/>.

Fayazbakhsh, M., Bahrami, M., *Comprehensive Modeling of Vehicle Air Conditioning Loads Using Heat Balance Method*, *SAE International*, doi: 10.4271/2013-01-1517, 2013.

Shah, R., *Automotive Air Conditioning Systems-Historical Developments, the State of Technology, and Future Trends*, *Heat Transfer Engineering*, vol. 30, no. 9 pp. 720-735, 2009.

Anonim, *Tofaş Eğitim Ders Notları*, *Klima Sunumu*, 2012.

Prabhakar, A., *Thermal Analysis of a Car Air Conditioning System Based on an Absorption Refrigeration Cycle Using Energy from Exhaust Gas of an Internal Combustion Engine*, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, ISSN: 2248-9622, *NATIONAL CONFERENCE on Developments, Advances & Trends in Engineering Sciences*, 2015.

Datta, S.P., Das, P.K., *Performance of a condenser of an automobile air conditioner with maldistribution of inlet air - Simulation studies and its experimental validation*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 98, pp. 367-379, 2016.

*Qu, X., Shi, J., Experimental study on frosting control of mobile air conditioning system with microchannelevaporator, Applied Thermal Engineering, vol. 31, no. 14-15, pp. 2778- 2786, 2011.*

*Shang, Y., Wu, A., Dynamic simulation of electronic expansion valve controlled refrigeration system under different heat transfer conditions, International Journal of Refrigeration, vol. 72, pp. 41-52, 2016.*

*Miyazaki, T., Saha, B., An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 46, pp. 16-29, 2015.*

*Bentrcia, M., Alshatewi, M., Developments of vapor-compression systems for vehicle air-conditioning: A review, Advances in Mechanical Engineering, vol. 9, no. 8, pp. 1-15, 2017.*

*CoolCar, Car Air Conditioning Service Near Me-Air Con Recharge-Cool Car, Erişim Tarihi: 23.02.2018, <https://www.coolcaraircon.co.uk/maintain-your-car-aircon-system/acdiagram/>.*

*EnggCyclopedia, Typical Vapor Compression Refrigeration (VCR) cycle, Erişim Tarihi: 23.02.2018, <http://www.enggcyclopedia.com/2012/01/typical-vapor-compression-refrigeration-cycle-vcr/>.*

*Nagel, D., Trapp, R., Comfortable vehicle air conditioning, The intelligent solar sensor, ATZ Worldwide, vol. 107, pp. 16-18, 2005.*

*Johnson, V., “Fuel Used for Vehicle Air Conditioning: A State-by-State Thermal Comfort-Based Approach”, National Renewable Energy Laboratory, Society of Automotive Engineers, 2002.*

*Weilenmann, M., Stettler, P., “Influence of Mobile Air-Conditioning on Vehicle Emissions and Fuel Consumption: A Model Approach for Modern Gasoline Cars Used in Europe”, Environmental Science and Technology, vol. 39, no. 24, pp. 9601-9610, 2005.*

*Güzenge, O., “Bir Soğu Deposunun Ekserji Analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bitirme Projesi, İzmir, 2007.*

*Gao, X., Shang, C., A novel approach to monitoring and maintenance of industrial PID controllers, Control Engineering Practice, vol. 64, no. 2017, pp. 111-126, 2017.*