

ŞASİ DİNAMOMETRELİ KLİMATİK ODA TEST SİMÜLATÖRÜNDE ARAÇ MODELİ OLUŞTURMA VE DOĞRULAMA SÜRECİ

Hüseyin BAYRAM *

Alınma: 19.10.2015; düzeltme: 15.11.2016; kabul: 18.12.2016

Öz: Askeri ve ticari araçlar seri üretimden önce Ar-Ge aşamasında birçok teste tabi tutulurlar. Testler esnasında aracın performansına bakılarak gereken yerler geliştirilir. Test sonuçlarının doğru şekilde yorumlanabilmesi için birçok parametrenin ölçülmesi ve gerçek hayatın benzetimi gerekmektedir. Test koşullarını sağlayabilmek için geliştirilmiş özel simülatörler bulunmaktadır. Bu sistemler gerçek hayat koşullarını (sıcaklık, nem, yük, kuvvet vs.) oluşturarak testler için uygun ortam sağlamaktadır. Simülatör kullanımı test sürecini hızlandırır ve önemli miktarda zaman tasarrufu sağlar. Klimatik oda ile entegre edilmiş şasi dinamometresi tasarım doğrulama süreçlerini hızlandırmaktadır. Klimatik oda içerisinde farklı çevresel koşullar sağlanabilmekte ve bu sayede dış hava koşullarından bağımsız olarak testler yapılabilmektedir. Şasi dinamometresi ise aracın güç paketi ve şasi bileşenlerinin yola çıkmadan test edilmesini sağlamaktadır. Bu makalede klimatik oda ve şasi dinamometresi simülatörlerinin birbirlerine entegre edilmesiyle inşa edilmiş olan bir test laboratuvarı ele alınmıştır. Klimatik oda ve şasi dinamometresinin genel çalışma prensibi açıklandıktan sonra ilgili simülatörlerin özellikleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra araca yolda etki eden dirençlerin dinamometrede benzetimi için gerekli olan parametreler yavaşlama testi (coast-down) ile elde edilmiştir. Son olarak yolda ve simülatörde aynı test yapılmış ve test sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamometre, klimatik oda, yavaşlama, soğutma paketi, test

Climatic Chamber with Chassis Dynamometer Testing Simulator Car Model Development and Validation Process

Abstract: Military and commercial vehicles are subjected to many tests, in the R & D stage before serial production. During this test process, critical parts have to be improved according to the evaluation of vehicle's performance. Measurement of several parameters and simulation of real life conditions are essential for correct interpretation of the test results. There are specially developed simulators to provide the required test conditions. These systems are simulating real life conditions (temperature, humidity, load, force, etc.) and provide a suitable environment for test process. Simulators accelerate the testing process and saving considerable amount of time. Climatic chamber with integrated chassis dynamometer is used to accelerate the process of design verification. Climatic chamber can provide different environmental conditions and by this way test processes can be performed independent from the ambient conditions. Moreover the chassis dynamometer provides testing the vehicle's power pack and chassis components instead of testing the vehicle in road conditions. In this article, a testing laboratory, which was built by integrating the climatic chamber and chassis dynamometer, has been focused on. Firstly the operating principles of the climatic chamber and the chassis dynamometer has been explained and then the simulators' characteristics are indicated. Secondly the main parameters for the simulation of the resistance acting on the vehicle during road tests have been calculated with the coast-down test on the dynamometer. Finally the same test was performed both on the road and on the simulator for comparing the test results.

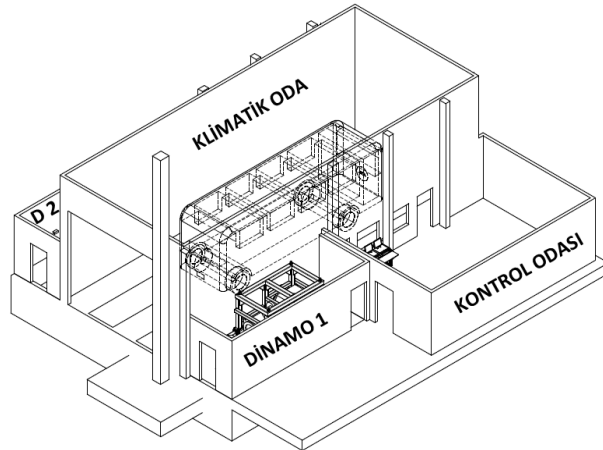
Keywords: Dynamometer, climatic chamber, coast down, cooling package, test

* Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş. 34854, Küçükyalı, İstanbul.
İletişim Yazarı: Hüseyin BAYRAM(huseyinbayram@outlook.com)

1. GİRİŞ

Dinamometreli iklimatik oda da farklı iklim koşullarında yol simülasyonları yapılmaktadır. Simülasyonlarda kullanılan araç modeli, yavaşlama testi (coast down) ile oluşturulmaktadır (Preda ve diğ., 2010). Yavaşlama testinde araç belirli bir hıza eriştikten sonra vites boşa alınarak serbest yavaşlamaya maruz bırakılmaktadır. Aracın anlık yavaşlama verisi kullanılarak farklı hızlarda maruz kaldığı kuvvetler hesaplanabilmektedir (Norrby, 2012). Yavaşlama testinde aracın yük durumu, aracın hızı, lastik basıncı ve türü önem arz etmektedir. Bu koşulların yanlış seçilmesi testin güvenilirliğini etkilemektedir. Veri toplama esnasında birkaç kez testin tekrarlanması karşılaştırma açısından fayda sağlamaktadır (SAE J2452, 1999).

Dinamometreli iklimatik oda iki ayrı bağımsız sistemin entegrasyonu sonucunda oluşmaktadır. Dinamometre ve iklimatik oda ayrı ayrı çalıştırılabileceği gibi testlerde istenen koşullara göre iki sistem senkronize şekilde de çalıştırılabilmektedir. Her iki sistem de ayrı kontrol bilgisayarı ve ayrı kontrol panosuna sahiptir. Sistemlerin senkronize çalışması için, iki sistem arasında çeşitli haberleşme ve acil durum sinyalleri transfer edilmektedir (Weiss, 2009). İklimatik oda da sıcaklık ve nem parametreleri birlikte kullanılarak Dünya'daki birbirinden farklı birçok iklim oluşturulabilmektedir. Dinamometrede ise araç sürüş modunda testler gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 1'de tesisin genel görünüşü bulunmaktadır.



Şekil 1:
Dinamometreli iklimatik oda yerleşimi

Saha testlerinde, hava durumu kontrol edilemediği için test başlangıcı, ortası ve sonunda sıcaklık farklılıkları olabilmektedir. İklimatik oda sıcaklık kontrolü sayesinde testler sabit sıcaklıkta yapılmaktadır. Test prosedüründe istenen ortam sıcaklığını elde edebilmek için hava şartlarının istenen koşula gelmesi beklenmeden yılın herhangi bir günü testler gerçekleştirilebilmektedir. Testlerin yapılacağı güzergah da önem arz etmektedir. Test prosedüründe istenen yol eğimi, yolun uzunluğu veya istenen hız miktarı dış ortamda her zaman sağlanamaz. Ayrıca trafiği kontrol etmek de imkansızdır. Dinamometrede araca istenen eğim verilebilmekte, süre sıkıntısı olmamakta ve istenilen hıza çıkılabilmektedir. Öte yandan fabrika içinde testlerin gerçekleştirilmesi önemli avantajları bünyesinde bulundurmaktadır. Araçta sorun çıktığında hemen müdahale edilebilmekte ve farklı tasarım konfigürasyonlarının denenmesi hızlı şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

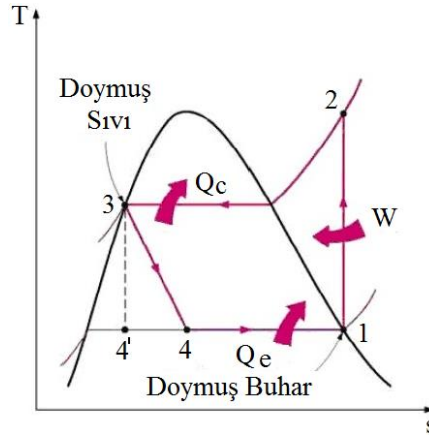
2. KLİMATİK ODA

2.1. Soğutma Çevrimi

Soğutma çevriminin çalışma prensibi, matematiksel olarak Sadi Carnot tarafından 1824'de bir ısı makinesi ile tanımlanmıştır. Bir soğutucu, tersinir çalışan bir ısı makinesidir. En genel

haldeki soğutucu sistemler, faz değişimli ısı pompasını temel alan çevrimi kullanır, bununla beraber absorbeli (soğurmali) ısı pompaları da uygulamaların birçoğunda kullanılır (Aybers, 1991).

Soğutma sistemleri, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısıyı çekerek yüksek sıcaklıktaki ortama atan ve böylece bulunduğu ortamı soğutan sistemlerdir (Çengel ve Boles, 1994). Pratikte ise iklimlendirme, havanın ısıtılması, soğutulması, nemlendirilmesi veya neminin alınması genel olarak havanın şartlandırılması işlemine denir (Özkan, 2014). Kompresörlü soğutma sistemleri endüstride, soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok uygulanan soğutma sistemidir. Temel olarak kompresör, kondenser, genişleme valfi ve evaporatör olmak üzere dört ana elemandan oluşmaktadır. Şekil 2’de temel soğutma çevriminin T-s diyagramı gösterilmektedir.



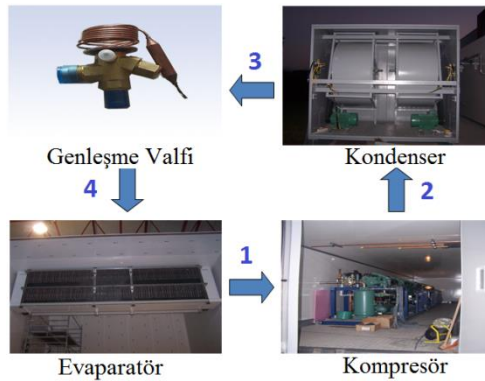
Şekil 2:

Temel soğutma çevrimi (Özkan, 2014)

Bu çevrimi oluşturan hal değişimleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Yamankaradeniz ve diğ., 2002).

- 1 – 2 Kompresörde izentropik (tersinir adyabatik) sıkıştırma
- 2 – 3 Yoğuşturucudan çevreye tersinir sabit basınçta ısı geçişi
- 3 – 4 Kısılma vanasında sabit entalpide genişleme
- 4 – 1 Buharlaştırıcıda akışkana tersinir sabit basınçta ısı geçişi

Klimatik oda temel soğutma çevrimine göre çalışmaktadır. Şekil 3’de iklimatik oda soğutma çevrimi ekipmanları gösterilmektedir.



Şekil 3:

Klimatik oda ekipmanları

Soğutma kompresörleri, buharlaştırıcıdan alçak basınç ve kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanı emerek, yoğuşturucuya yüksek basınç ve kızgın buhar halinde gönderen iş

makinelere. Yani buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki ısı ile yüklü soğutucu akışkanın yerine ısı yüklenmemiş soğutucu akışkanı dolaştırarak, soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ısı iletimini sağlar. Aynı zamanda buhar halindeki soğutucu akışkanın basıncını, kondenserdeki yoğuşma sıcaklığına karşılık gelen seviyeye çıkartır (Yamankaradeniz ve diğ., 2002). Bir kompresörün hacimsel verimliliği, pompaladığı gazın gerçek hacminin, hesaplanan hacme oranıdır (Özkoç, 1999).

Genleşme elemanı, kondenserden çıkan sıvı haldeki akışkanın basıncını düşürerek evaporatöre ulaştırır. İdeal şartlarda bu elemanda gerçekleşen basınç düşürme işlemi boyunca entalpinin sabit olduğu kabul edilir. (Ortatepe, 1997). Soğutucularda 1 BG gücüne kadar genleşme elemanı olarak genellikle kılcal boru kullanılır. Bu güçten büyük olanlarda ise otomatik genleşme valfi veya termostatik genleşme valflerinden uygun olanı kullanılır (Kılıçaslan, 2002).

Evaporatör, buharlaşabilen bir akışkanın soğutulacak ortamdan veya maddeden ısı çekmek amacıyla buharlaştığı herhangi bir ısı transfer yüzeyidir. Uygulama alanının çokluğu ve çeşitliliğinden dolayı evaporatörler çok değişik tiplerde, şekillerde, boyutlarda ve tasarımlarda imal edilirler. Bu değişikliklerden dolayı uygulamalarına göre, yapılarına göre, işletme şartlarına göre, soğutucu akışkanın kontrol tipine göre soğutucu akışkanın beslemesine göre ve hava veya suyun sirkülasyon yöntemine göre sınıflandırılmaktadırlar (Dossat, 1997). Evaporatör, bir maddeyi veya ortamı, soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısısını kullanarak soğutur (Yamankaradeniz ve diğ., 2002).

Kondenser, buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin yüksek basınç bölgesinde çalışan ve çevrimde dolaşan soğutucu akışkanın almış olduğu enerjiyi dış ortama atan bir ısı değiştiricidir. Yani soğutulacak ortamdan evaporatör sayesinde aldığı ısıyla buharlaşan ve kompresörde sıkıştırma işlemi sonucunda sıcaklığı ve kızgınlığı artan soğutucu akışkan, burada sıvı hale dönüşerek ısısını dış ortama veya bir maddeye atar. Soğutulacak ortamdan alınan ısının dış ortama atılabilmesi için, evaporatörden çıktıktan sonra soğutucu akışkanın sıcaklığının dış ortam sıcaklığının üstüne çıkarılması gerekmektedir. Bunu temin etmek için evaporatörden çıkan soğutucu akışkanın basıncı dolayısıyla sıcaklığı kompresör tarafından artırılır. Bu şekilde çevrimin devamlılığı temin edilmiş olur (Yamankaradeniz ve diğ., 2002, Ortatepe, 1997).

Soğutucu akışkanlar, buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminde ısının soğutulacak ortamdan alınarak başka bir ortama aktarılmasını soğutucu akışkanlar (soğutkan) sağlar. Soğutucu akışkanlar, ısı alış verişini genellikle sıvı halden buhar haline ve buhar halinden sıvı haline dönüşerek sağlarlar (Yamankaradeniz ve diğ., 2002). Soğutucu akışkan R404A, klor içermediğinden dolayı ozon tabakasına zararı olmayan, üçlü bir bileşimden meydana gelen, düşük ve orta sıcaklık uygulamaları için kullanılan bir soğutucu akışkandır. Soğutucu akışkan, R125'den %44, R143A'den % 52 ve R134A'dan %4 karışım oranı ile elde edilir. Çok geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmesinden dolayı iklimlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır.

2.2. Testlerde Kullanılan Klimatik Oda

Testlerin gerçekleştirildiği klimatik oda Otocar Otomotiv ve Savunma Sanayi'nde bulunmaktadır. Klimatik oda genel hatlarıyla; soğutma sistemi, ısıtma sistemi, nemlendirme, taze hava, egzoz tahliyeden oluşmaktadır.

Klimatik oda kapasitesi:

- Sıcaklık: -45°C ile +60°C
- Nem: %5-95 rH
- Taze hava: 7200 m³/h
- Boyut: 6m x 6,6m x 16,5m

Odanın soğutulması R404 gazı ile sağlanmaktadır. Gazın çevrimi, oda dışında bulunan 6 adet vidalı tip kompresörle sağlanmaktadır. Oda içerisinde bulunan ısı yükünün büyüklüğüne

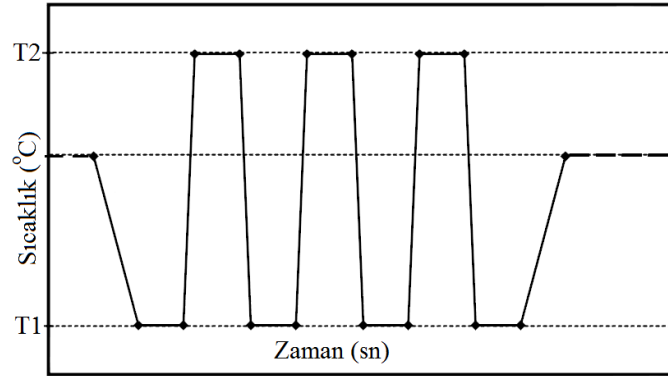
göre, kompresörlerin çalışma sırası ve çalışma kapasitesi PLC tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır.

Klimatik oda $+60^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkıp bu sıcaklıkta sabit kalma kapasitesine sahiptir. Böylece araçların karşılaşılabileceği yüksek sıcaklıklar klimatik odada oluşturularak testler gerçekleştirilebilir. Klimatik odada sıcaklık artışı ve kontrolü rezistanslı ısıtma ünitesinden oluşmaktadır.

Odanın ön kısmında tavana asılı konumda beş adet fan dan oluşan evaporatör ünitesi bulunmaktadır. Evaporatör önünde ısıtılan veya soğutulan hava, fanlar vasıtasıyla oda içerisinde çevrilerek odanın içerisinde homojen sıcaklık dağılımı sağlanmaktadır.

Klimatik oda da sıcaklık ile birlikte nem de ayarlanabilmektedir. Nem kapasite değerleri %5-95 rH arasındadır. Klimatik oda da nem ayarlayıcı ünite ve nem alıcı ünite mevcuttur. Nem ayarlayıcı ünite, klimatik oda içerisindeki nem miktarını istenilen seviyeye ayarlamaktadır. Sistemde kazan bulunmakta ve kazan, suyu kaynatarak istenilen su buharını oluşturmaktadır. Böylece istenilen nem miktarı ortama simule edilmektedir. Nem alıcı ünite, klimatik oda içerisine gönderilecek havanın nemini alır ve bu sayede evaporatör çıkışında yoğuşma olmasını engeller. 10°C 'nin üstündeki sıcaklıklarda, oda dışında bulunan nemlendirme ünitesiyle oda içerisindeki nem miktarı bağıl nem (% rH) veya mutlak nem (gr/m^3) olarak kontrol edilebilmektedir. 10°C 'nin altındaki sıcaklıklarda, yoğuşma nedeniyle nem kontrolü yapılamamaktadır.

Klimatik odada sıcaklık ve nem sabit tutulabildiği gibi belli zamanda belli oranda değişmesi de programlanabilmektedir. Yazılımda grafiksel döngüler oluşturularak, iki farklı sıcaklık seviyesi arasındaki değişim süreci veya birim zamandaki sıcaklık değişim miktarı klimatik oda yazılımları sayesinde ayarlanmaktadır. Şekil 4'de görüldüğü gibi standartlarda belirtilen farklı profildeki testler yapılabilmektedir.



Şekil 4:

MIL STD 810 G standardı sıcaklık profili (MIL STD, 2012)

Aracın egzoz gazının tahliyesi ve taze hava ihtiyacını dengelemek için ortam basıncındaki değişimi ± 10 Pa seviyelerinde tutan özel fan sistemi kullanılmaktadır. Tahliye sistemi aracın sürüş konumunda istenilen hızda kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Sürüş esnasında çıkan egzoz gazı ortama verilmeden doğrudan dışarı atılmaktadır. Egzoz tahliye kanalı ve tahliye fanı ile $18000 \text{ m}^3/\text{saat}$ hacminde egzoz gazı tahliye edilebilmektedir. Araç için gerekli olan taze havada klimatik oda içine basılarak, egzoz sistemi ile bir sirkülasyon sağlamaktadır. Aracın motor gücüne göre taze hava farklı miktarlarda ortama verilebilmektedir. Temiz hava debisi $7200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'a kadar verilebilmektedir.

Klimatik oda kontrol ünitesi, operatör bilgisayarından gelen sıcaklık komutuna göre rezistanslı ısıtma ünitesini veya kompresör ve evaporatörden oluşan soğutma ünitesini devreye almaktadır. Yine operatör bilgisayarından gelen komuta göre taze hava hazırlama ünitesini ve nemlendirme ünitesini devreye almaktadır. Kontrol bilgisayarı; operatör bilgisayarından bağımsız

olarak sistem üzerinde bulunan sensörden gelen verilere göre yağ soğutma ünitesini, egzoz gazı tahliye ünitesini, gaz alarm ünitesini çalıştırmakta ve ayrıca kompresörlerin çalışma sırasını ve kapasitesini belirlemektedir.

3. DİNAMOMETRE

Araçların laboratuvar ortamında test edilmesi ile performans değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Test sonuçlarının güvenilirliği çok fazla sayıdaki parametrenin ölçülmesi ve deneysel verilerin doğru bir şekilde kaydedilmesine bağlıdır. Bunun için birçok donanımına sahip motor test standlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmalarla motorların laboratuvar ortamında test edilmeleri ile hedeflenen amaca ulaşım ulaşamadıkları kontrol edilmektedir. Bu testler yeni geliştirilen araçlar üzerinde yapılabileceği gibi üretim aşamasında üretimin denetlenmesi için de yapılabilir. Yenileştirilmiş motor ve taşıtlara da bu gibi testler uygulanarak sonuçların tatmin edici olup olmadığı araştırılabilir (Çelik ve diğ., 2007).

İki farklı dinamometre türü bulunmaktadır. Bunlar motor dinamometresi ve şasi dinamometresidir. Motor dinamometresi genellikle fabrikalarda kullanılır. Araç üzerinden sökülen motorun volan çıkışı özel aparatlar yardımı ile dinamometreye bağlanır. Elektrik bağlantıları yapılarak motor çalıştırılır ve volan çıkışındaki gücün ölçümü yapılır. Ölçülen güç sadece motordaki güçtür ve sistemin pratikte en büyük dezavantajı motorun ve elektrik bağlantılarının araç üzerinden sökülmesi gereğidir. Bu dinamometreler yüksek ölçme hassasiyetine sahiptir. Elektromotor olarak hareket üretimi yapabilmekte ve motorlara güç verebilmektedir. Jeneratör olarak hareket üreten makinelerin güçlerinin yutulmasında da kullanılabilir (Çelik ve diğ., 2007).

Şasi dinamometresi her marka araç üzerine çalışan servislerin ve ölçüm merkezlerinin kullandığı sistemdir. Araç sabitlenir ve tam gaz pozisyonunda, araç sabit devirde tutulmak suretiyle ölçüm yapılır. Ölçümler motor çıkışı veya tekerlek çıkışı olarak farklı farklı yapılabilir. Şasi dinamometreleri araçların yol simülasyon testleri için çok faydalı araçlardır. Ancak bu sistemlerin maliyetleri oldukça yüksektir. Çeşitli tasarımlara sahip şasi dinamometreleri bulunmaktadır, ama hepsi ortak bazı temel özelliklere sahiptir ve sistem temelde aynıdır (French ve Stark, 2000). Hafif tip araç testleri çoğunlukla bir şasi dinamometresi üzerinde önceden tanımlanmış bir test çevrimine göre yapılır. Bu test aynı zamanda gerçek sürüş koşullarının da bir simülasyonudur (Pelkmans ve Debal, 2006). Şasi dinamometresinde ölçülen gücün özelliği, tekerlek gücü olmasıdır. Yani motordan tekerlere kadar olan tüm sürtünmeler bu gücün dışındadır. Burada ölçülen güç, araca hareket veren tekerleklerden alınan tamamı faydalı güçtür. Ölçüm, motor araç üzerinde iken yapılır (Anthony ve Alexander, 2007, Ribbens ve Mansour, 2003).

Araçları motorunu en çok zorlayan konum maksimum tork ve maksimum güç durumudur. Tork, motorun gücü ile doğrudan ilişkili değildir. Bu değer tekerlek çapı, vites kutusu ve motor tipi gibi etmenlere bağlı olarak değişir. Bir motorun tork eğrisi ne kadar düz bir çizgi şeklinde ilerliyorsa, motor o kadar verimlidir. Motorlar farklı devirlerde farklı seviyede tork üretirler. Yani her bir devir için motor o devirde verdiği torka bağlı olarak farklı bir güce sahip olur (Won ve Langari, 2002).

Araç motorlarında iki çeşit güç vardır. Bunlardan birincisi, silindir içerisine giren karışımın yanması ile meydana gelen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi sırasında elde edilen, indike güçtür. İyi bir yakıt ekonomisi ve emisyon için, motor yanma veriminin, motorun bütün çalışma şartlarında maksimum seviyede tutulması gerekmektedir. Her bir işletme parametresinin yanma üzerindeki etkisi farklı olmaktadır. Dolayısıyla mümkün olan çok sayıda parametreden, yakıtın en verimli biçimde enerjiye dönüşümünü sağlayacak şekilde yararlanılmalıdır (Çelik ve Balcı, 2002). Diğeri ise mil, fren veya faydalı güç olarak adlandırılan ve motorun volanından veya kasnağından ölçülen güç olup motorun gerçek gücüdür. Yani motor içerisindeki sürtünme

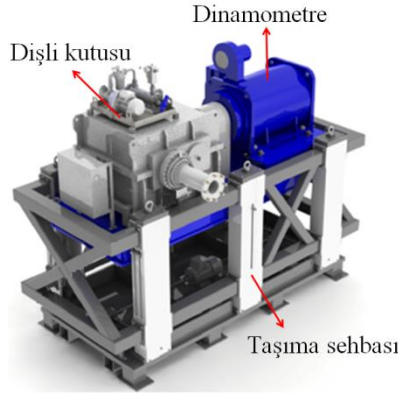
ve diğer kayıplardan sonra kalan gerçek güçtür. Faydalı güç dinamometre ile ölçülür (Batmaz, 1998).

3.1. Testlerde Kullanılan Dinamometre

Testlerin gerçekleştirildiği dinamometre Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi'nde bulunmaktadır. Dinamometre kapasitesi:

- Vites oranı: 8
- Maksimum transfer gücü: 550 kW
- Maksimum çıkış devri: 500 rpm
- Maksimum çıkış torku: 48000 Nm

Dinamometreler, iklimatik odanın sağ ve sol dış tarafında bulunan kabinlerde bulunmaktadır. Dinamometre çıkış şaftları, üç farklı dişli oranına ve hareketi 90 derece çevirme yapısına sahip dişli kutularına bağlanmıştır (Bkz. Şekil 5).



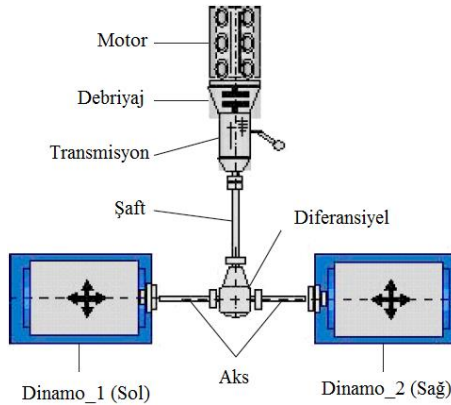
Şekil 5:

Dinamometre ve dişli kutu (AVL, 2009)

Dişli kutusu çıkış şaftları, kardan şaftlar aracılığıyla tekerleri sökülen test araçlarının çekici aks poyrasına bağlanmaktadır. Dinamometreye bağlanan aksın dışında kalan diğer aksların ara şaftları sökülerek tekerlerin dönmesi engellenir. Paletli araçlarda, palet ve cer dişlisi sökülerek hız azaltan çıkışına bağlanır.

Dinamometrelerin farklı vites dişlisi oranları sayesinde araçların tüm vites oranlarında ortaya çıkan tork değerleri elde edilebilmektedir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi hareketin motordan dinamometreye iletimini aktarma organları sayesinde olmaktadır.



Şekil 6:

Araç-dinamometre hareket aktarımı (AVL, 2005)

Dinamometredeki testlerin tanımlandığı, araçtaki güç, tork, devir ve hız parametrelerinin incelendiği ve kayıt altına alındığı bir kontrol bilgisayarı mevcuttur. Dinamometre yazılımı ile araç hızına bağlı olarak aracın ön yüzeyine rüzgar fanından hava üflenmektedir. Böylece motor ortam sıcaklıkları ve soğutma fanının devreye girişi, gerçek sürüş modunda olduğu şekliyle benzetilmektedir. Klimatik oda yazılımı ile fan açılmakta ve araç hızı ile fan hızı koordineli olarak çalışmaktadır. Test edilecek araç ile ilgili dingil mesafesi, teker yarıçapı, araç ağırlığı, tekerlek atalet momenti gibi önemli parametreler kontrol bilgisayarındaki dinamometre yazılımına tanımlandıktan sonra operasyonlar başlatılmaktadır. Şekil 7’de askeri aracın dinamometreye bağlanmış görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 7:
Dinamometre testi

3.2. Dinamometre Parametrelerinin Hesaplanması

Araçlar yolda ilerleme esnasında bazı dirençlere maruz kalmaktadır. Bunlar; yuvarlanma direnci, rüzgar direnci, yokuş direnci, ivmelenme direnci, fren kuvveti ve aracın şanzıman, diferansiyel gibi aktarma organlarından kaynaklanan iç dirençler olarak sıralanabilir. Testler esnasında elde edilen hız profilinden yola çıkarak araca etki eden dirençler aşağıdaki formülasyonlar yardımı ile hesaplanabilir (SAE J2452, 1999, Göktan ve diğ., 1995).

$$F_{yol} = F_{yuvarlanma} + F_{rüzgar} + F_{yokuş} + F_{ivmelenme} + B_{fren} \quad (1)$$

$$\text{Yuvarlanma direnci} \rightarrow F_r = P^\alpha W^\beta (a + bV + cV^2) \quad (2)$$

$$\text{Rüzgar direnci} \rightarrow F_a = \frac{1}{2} A \rho C_D V_{ref}^2 \quad (3)$$

$$\text{Yokuş direnci} \rightarrow F_i = W_{arac} \sin \theta \quad (4)$$

$$\text{İvmelenme direnci} \rightarrow F_B = \lambda m \ddot{x} \quad (5)$$

$$\text{Fren kuvveti} \rightarrow B_F = \mu_x F_Z \quad (6)$$

Tekerleğin elastik yapısı nedeniyle, tekerlek temas merkezinin önünden yuvarlanmaya karşı tekerlek yuvarlanma dirençleri oluşmaktadır. Formülasyonda geçen parametreler tek tek incelenip araca etki eden kuvvet azaltılabilmektedir. Yuvarlanma kuvvetini ele alacak olursak, aracın ağırlığı kadar tekerlerin yolla temas yüzeyi de önem arz etmektedir. Burada lastik

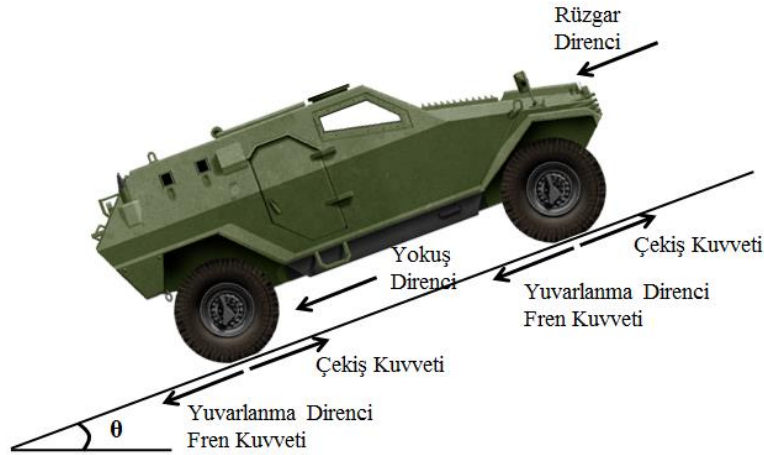
seçiminin önemi artmaktadır. Çapraz katlı lastikler, radyal lastiklere göre yolla temas eden yüzeyi daha az olduğu için araca etki eden kuvvet daha az olacaktır.

Araç yolda ilerlerken tüm hacmiyle rüzgar direncine karşı koymaktadır. Rüzgar direnci araç tipine göre değişen hava direnci katsayısı ve araç ön izdüşüm alanı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Burada aracın yan profilinden etkiyen rüzgar kuvvetleri ihmal edilmiş olup, rüzgârın sadece seyahat doğrultusunda estiği varsayımı yapılmaktadır. Rüzgar direnci hesaplanırken; ρ : hava yoğunluğu = $1.226 \text{ Ns}^2/\text{m}^4$ hava yoğunluğu (1.0133 bar ve 15°C), A : kesit alanı = otomobillerde 1.85 m^2 , kamyonlarda 8 m^2 , C_D : hava direnci katsayısı = otomobillerde $0.3 - 0.4$, kamyonlarda 0.8 alınabilir.

Araçtan bağımsız olarak sürüş yapılan yolun düz veya yokuş olma durumu direnç oluşturmaktadır. Sürüş yapılan yol eğimsizse bu direnç ihmal edilebilir. Eğer yolda eğim varsa kuvvet denkleminde yerini almak durumundadır.

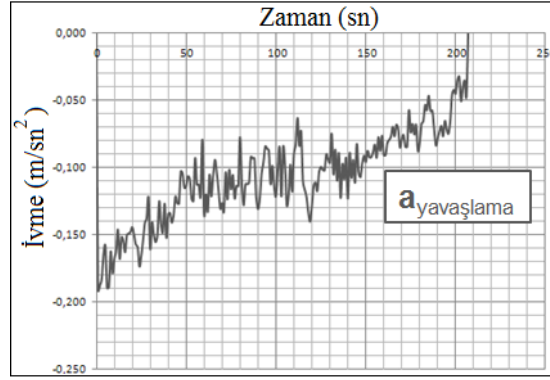
Frenin kullanılması durumunda fren kuvvetinin de hesaba katılması gerekmektedir.

Araçlarda, rüzgar, yokuş, yuvarlanma, fren dirençlerine karşılık, tekerleklerle güç organları tarafından aktarılan pozitif çekiş kuvvetleri bulunmaktadır. Dirençler yenildiği takdirde, arta kalan çekiş kuvvetleri aracın ivmelenmesi için kullanılmaktadır. İvmelenme direnci hesaplanırken λ değeri otomobillerde 1. viteste 1.45; 2. viteste 1.15; 3. viteste 1.08; 4. viteste 1.05; 5. viteste 1.03 civarında alınabilir. Şekil-8'de araca etki eden dirençler görülmektedir.



Şekil 8:
Araca etki eden kuvvetler

Yol testlerinde araca karşı direnç gösteren kuvvetleri bulmak için bir dizi işlem uygulanmaktadır. Yavaşlama testinde kullanılacak aracın enstrümantasyonu gerçekleştirilir. Araca yerleştirilen GPS sensörü sayesinde hız ve yolun eğimi kayıt altına alınır. Test aracıyla belirlenen hız ve yolda data toplama işlemine geçilir. Aracın yavaşlama hız eğrisinin türevi alınarak yavaşlama ivmesi elde edilir. Şekil-9'da aracın asfalt yolda ilerlemesi esnasında oluşan zamana bağlı yavaşlama eğrisi görülmektedir.

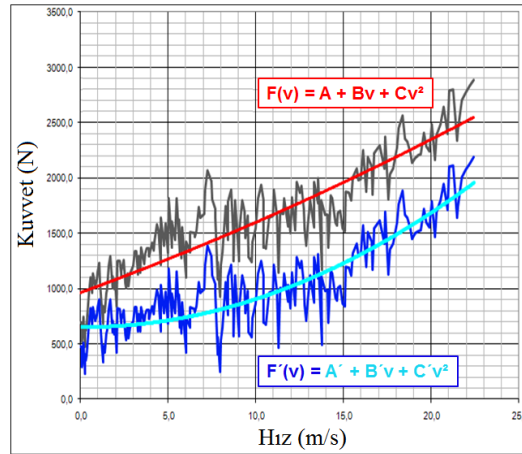


Şekil 9:
Araç asfaltta yol alırken toplanan yavaşlama eğrisi

Yavaşlama ivmesi bulunduğundan sonra aşağıdaki formül yardımı ile araca yolda etki eden kuvvet bulunur. Bu kuvvet aracın yavaşlamasına neden olmaktadır.

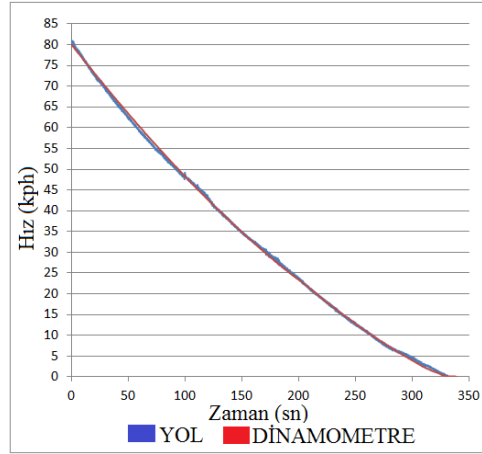
$$F_{yol} = m a_{yavaşlama} \quad (7)$$

Elde edilen kuvvetlerden polinom eğrisi $[F(V)]$ oluşturulur. Bu kuvvet eğrisinin içinde araç yürür aksam kaynaklı dirençlerde bulunmaktadır. Araç yürür aksam kaynaklı dirençleri bulmak için şaftlardaki tork sensörleri kullanılır. Farklı araç hızlarında okunan tork değerleri lastik yarıçapına bölünerek araç yürür aksam iç dirençleri bulunur. Yürür aksam dirençleri, elde edilen kuvvetten çıkarılarak yolda maruz kalınan kuvvet eğrisi $[F'(V)]$ tam olarak elde edilmiş olur. $[F'(V)]$ kuvvet eğrisindeki (A', B', C') katsayıları dinamometre yazılımına girilir. Şekil 10'da işlenen veriler sonucu görüntülenen kuvvet eğrileri bulunmaktadır.



Şekil 10:
Kuvvet eğrileri

Araç yürür aksam iç dirençlerinin kuvvet eğrisinden çıkartıldıktan sonra elde edilen ikinci kuvvet eğrisine ait katsayılar yine dinamometreye girilir. Dinamometrede tekrar araca ait yavaşlama eğrileri çıkartılır. Yoldan elde edilen yavaşlama eğrisi ve dinamometreden elde edilen yavaşlama eğrileri karşılaştırılır. Şekil 11'de görüldüğü gibi; iki eğri birbirine çok yakın çıkmış ve dinamometrede yol simülasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11:

Dinamometre ve yol eğrilerinin karşılaştırılması

4. TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Şasi dinamometreli klimatik oda hem çevre sıcaklığını hemde sürüş esnasında araca etkiyen kuvvetleri oluşturabilmektedir. Bunu doğrulamak için askeri araçla testler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma testi olarak soğutma paketi optimizasyon testi seçilmiştir. Bunun nedeni soğutma paketi testinin çevre sıcaklığı ve motorun zorlanmasıyla doğrudan ilişkili olmasıdır. Soğutma paketi testlerinde motor soğutma suyunun mümkün olduğunca düşük çıkması istenir. Böylece yüksek çevre sıcaklığında araç hararet yapmadan kullanılabilir. Motor soğutma suyu sıcaklığının düşük seviyede kalması için hava emiş, radyatör, fan, izolasyon vb. parametreler değiştirilerek optimum koşul elde edilmeye çalışılır. Testler motorun maksimum tork ve maksimum güç koşullarında gerçekleştirilir. Bu koşulları sağlayan vites ve devir değerleri motor firmaları tarafından verilmektedir. Aracın enstrümantasyonu için soğutma paketi ile ilgili olan kritik noktalara sıcaklık ve basınç sensörleri yerleştirilmiştir.

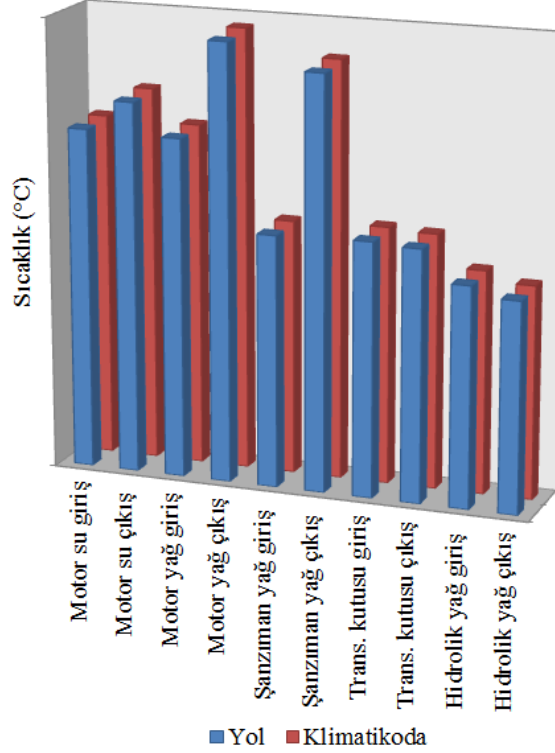
Soğutma paketi testi sıcaklık ve basınç ölçüm noktaları:

- Motor su giriş ve çıkış
- Motor yağ giriş ve çıkış
- Şanzıman yağ giriş ve çıkış
- Transfer kutusu giriş ve çıkış
- Hidrolik yağ giriş ve çıkış

Aracın hızını ve konumunu kayıt altına almak için GPS sensörü takılmıştır. Aracın CAN hattından motor devri alınmıştır. Çok kanallı veri toplama sistemi sıcaklık, basınç, hız, konum ve motor devri datalarını senkronize olarak kaydetmesi için araca yerleştirilmiştir. Data toplama işlemi test için en önemli süreçtir. Bu yüzden data toplama işleminden önce parkur, sensör yerleşimi, araç ağırlığı, araç hızı ve data örnekleme frekansı seçilirken dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yol ve klimatik odadaki testler karşılaştırılacağından araçta soğutma paketi performansını etkileyecek herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Test sonuçları karşılaştırmalı olarak ele alınacağı için test koşullarının değişmesi hatalı değerlendirmeye neden olabilir. Soğutma paketi testlerinden ilki yolda gerçekleştirilmiştir. Araç uygun vites ve motor devrinde belirlenen yolda sürülerek data toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Klimatik oda testlerinde dinamometreye girilmesi gereken katsayıların bulunması için yavaşlama testi yapılmıştır. Yavaşlama testinden elde edilen datalardan yolda araca etkiyen dirençler bulunmuş ve dinamometre yazılımına girilmiştir. Yolda ölçülen çevre sıcaklığına göre klimatik oda sıcaklığı

ayarlanmıştır. Ayrıca araç hızına göre rüzgar hızı ve yolda ölçülen motor devri de dinamometre yazılımı sayesinde ayarlanmıştır. Tüm bu hazırlıklardan sonra klimatik odada soğutma paketi testi gerçekleştirilmiştir. Şekil 12’de aynı araçla yolda ve klimatik odada yapılan test sonuçlarının karşılaştırmalı değerleri görülmektedir.



Şekil 12:
Sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Yolda ve klimatik oda da yapılan test sonuçları karşılaştırıldığında sıcaklıklar arasındaki fark %2 seviyelerinde kalmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda yol şartlarının şasi dinamometresinde uygulanabildiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hem askeri hemde ticari araçların test faaliyetlerinde kullanılan entegre bir simülator incelenmiştir. Simülatorün iki ana bölümü olan klimatik oda ve şasi dinamometresi ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalışmanın klimatik oda kısmında soğutma, ısıtma ve nemlendirme işlemleri hakkında bilgi verilmiş ve simülatorün kapasitesi belirtilmiştir. Çalışmanın dinamometre kısmında ise temel çalışma mantığı ve simülatorün özellikleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra dinamometrede yoldaki direnci oluşturabilmek için gerekli olan parametrelerin elde edilmesi yöntemi ele alınmıştır. Son kısımda ise yolda ve klimatik oda da test aracı ile yapılan soğutma paketi testi anlatılmıştır. Yolda gerçekleştirilen test verileri ile klimatik oda da gerçekleştirilen test verileri karşılaştırıldığında sıcaklık farklarının %2 çıktığı görülmüştür. Böylece direnç parametrelerinin hesaplama yönteminin doğruluğu teyit edilmiştir.

Bu çalışmada araçlara yolda karşı direnç uygulayan yuvarlanma ve rüzgar kuvvetleri ele alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Testler düz yolda yapılmış ve eğim direnci gözönüne alınmamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda testler eğimli yolda gerçekleştirilerek test sonuçlarına etkisi görülebilir.

SİMGELER

- A: Araç ön cephe alanı
a, b, c: Deneysel yöntemler ile elde edilen katsayılar
 $a_{yavaşlama}$: Yavaşlama ivmesi
 B_F : Fren direnci
BG: Beygir
CAN: Controller area network; Kontrol alan ağı veri yolu
 C_D : Hava direnci katsayısı
 F_a : Rüzgar direnci
 F_B : İvmelenme direnci
 F_i : Yokuş direnci
 F_r : Yuvarlanma direnci
 F_{yol} : Yol direnci
 F_z : Tekerlek üzerine gelen düşey yükler
GPS: Global positioning system; Küresel konumlama sistemi
m: Kütle
 P^a : Tekerlek basıncı
 Q_e : Çevreden evaporatöre ısı girişi
 Q_c : Kondenserden çevreye ısı çıkışı
s: Entropi
T: Sıcaklık
 V_{ref} : Rüzgar bağıl hızı
W: Kompresörde izentropik sıkışma
 $W_{araç}$: Araç ağırlığı
 W^B : Tekerlekler üzerindeki yük
 \ddot{x} : Araç ivmesi
 θ : Yokuş eğimi
 λ : Dönen kütlelerin atalet faktörü
 μ_X : Kuvvet bağlantı katsayısı
 ρ : Hava yoğunluğu

KAYNAKLAR

1. Anthony, A., Alexander, M. (2007). Engine testing: theory and practice, *Butterworth-Heinemann*, 442.
2. AVL (2005). EMCON 402 Vehicle Simulation, AVL, AT2039E, Rev. 00, 15.
3. AVL. (2009). Overview and Operation Manuel, AVL, AT3125E, Rev. 00, 150.
4. Aybers, N. (1991). Soğutma Makineleri, *Bayrak Yayıncılık*, İstanbul.
5. Batmaz, İ. (1998). Bilgisayar ve veri toplama sisteminin taşıt performans ölçümlerinde kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 13, No 2, 171-179.
6. Çelik, M. B., Balcı, M. (2002). Sabit yük ve hız şartlarında sıkıştırma oranının motor karakteristiklerine etkisi, *Teknoloji Dergisi*, 5, (3-4), 39-45.
7. Çelik, M. B., Bayır, R., Özdalyan, B. (2007). Bilgisayar Destekli Motor Test Standının Tasarımı ve İmalatı, *Teknoloji Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2, 131-141.

8. Çengel, A.Y., Boles, A.M. (1994). Thermodynamics: An Engineering Approach, *McGraw-Hill*, 987.
9. Dossat, R.J. (1997). Principles of Refrigeration, *Prentice – Hall Inc.*, 512, 1997.
10. French, M., Stark, A. (2000). Chassis Dynamometers, *Experimental Techniques*, 45-46.doi: 10.1111/j.1747-1567.2000.tb00926.x
11. Göktaş, A.G., Güney, A., Ereke, M. (1995). Taşıt Frenleri, *Ders Notları*, İTÜ Makina Fakültesi, 4-30.
12. Kılıçaslan, E. (2002). Soğutma Sistemlerinin Performans Analizi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 132.
13. MIL-SDT-810-G. (2012). Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, *Military Standard*, 103.
14. Norrby, P. (2012). Prediction of Coast-down Test Results / A Statistical Study of Environmental Influences, Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology, 3-5.
15. Ortatepe, K. (1997). Mevcut Soğutma Gruplarının Yeni Soğutucu Akışkanlara Adaptasyonu, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 180.
16. Özkan, D.B. (2014). İklimlendirme Sistem Elemanları, Ders Notları, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 7-8.
17. Özkol, N. (1999). Uygulamalı Soğutma Tekniği, *Makine Mühendisleri Odası*, Yayın No:115, 709.
18. Pelkmans, L., Debal, D. (2006). Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles, *Transportation Research Part D:Transport and Environment*, Volume 11, Issue 4, 233-241, doi: 10.1016/j.trd.2006.04.001
19. Preda, I., Covaciu, D., Ciolan, G. (2010). Coast Down Test Theoretical And Experimental Approach, CONAT 2010 - International Automotive Congress, At Brasov, Romania, 152-165.
20. Ribbens, W. B., Mansour, N. P. (2003). Understanding automotive electronics, *Newnes*, 470.
21. SAE J2452. (1999). Stepwise Coastdown Methodology for Measuring Tire Rolling Resistance, *Society of Automotive Engineers*, 2-10.
22. Weiss Technik GmbH. (2009). Climatic Drive in Chamber with Combustion Air Supply in Coordination with Powertrain Testbed, *Weiss*, Project WK 653/45/60/RO, 11-14.
23. Won, J. S., Langari, R. (2002). Fuzzy torque distribution control for a parallel hybrid vehicle, *Expert Systems*, Volume 19 Issue 1, 4-10, doi: 10.1111/1468-0394.00184
24. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S. (2002). Soğutma Tekniği ve Uygulamalar, *VİPAŞ A.Ş.*, 608.