

Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Ek Isıtıcıların Egzoz Gazlarındaki Atık Isı Enerjisinin Geri Kazanılması

Emrah TAŞPINAR¹, Adnan ÖZTÜRK^{2*}

¹Taşpınar Isı -İklimlendirme Sistemleri, 35280, Konak, İzmir

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0002-2572-0552>

²<https://orcid.org/0000-0001-6371-0577>

*Sorumlu yazar: aozturk@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.12.2021

Kabul tarihi: 04.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Egzoz gazı ısı enerji kazanımı

Ek ısıtıcı

Eşanjör (Isı değiştiricisi) susturucu

Yakıt tasarrufu

ÖZ

Bu çalışmada, sulu tipte bir ek ısıtıcı kullanılan sistemde atık egzoz ısısının, susturucu yerine takılan bir eşanjör (ısı değiştirici) ile geri kazanılarak ek ısıtıcı yakıt sarfiyatının düşürülmesi hedeflenmiştir. Eşanjörlü sistemde motorun verimli çalışma sıcaklığına daha hızlı ulaşmasını sağlayarak, motordaki aşınmanın ve aynı zamanda çevreye verilen zararın azaltılması amaçlanmıştır. Farklı soğutucu akışkan sıcaklıklarında susturuculu ve eşanjörlü sistem için yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, elektrik tüketimleri ve gürültü seviyeleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde eşanjörlü sistemin susturuculu sistemden daha az yakıt tükettiği ve daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaştığı tespit edilmiştir. Eşanjörlü sistemin susturuculu sisteme göre daha fazla elektrik enerjisi tükettiği, ancak tasarruf edilen yakıtla karşılaştırılmayacak düzeyde düşük bir kayıp olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sistemde susturucu yerine eşanjör takıldığı için gürültü seviyelerindeki değişim ölçülmüş, eşanjörün susturucudan daha iyi ses yalıtımı sağladığı görülmüştür.

Recovery of Waste Heat Energy in Exhaust Gas of Additional Heaters Used in Motor Vehicles

Research Article

Article History:

Received: 25.12.2021

Accepted: 04.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Exhaust gas heat energy recovery

Additional heater

Heat exchanger

Silencer

Fuel saving

ABSTRACT

In this study, it is aimed to reduce the additional heater fuel consumption by recovering the waste exhaust heat with a heat exchanger installed instead of the silencer in the system using a water-type additional heater. In the heat exchanger system, it is intended to reduce the wear on the engine and also the damage to the environment by enabling the engine to reach the efficient operating temperature faster. For the systems with the silencer and the heat exchanger at different refrigerant temperatures, the fuel consumption, the heating time taken to bring the coolant to the targeted temperature, electricity consumption and noise levels were measured and compared. It has been determined that the heat exchanger system consumes less fuel than the system with silencer at all temperature values and reaches the target temperature in a shorter time. It has been determined that the heat exchanger system consumes more electrical energy than the system with silencer, but has a low loss that is incomparable with the fuel saved. In addition, since a heat exchanger is installed instead of a silencer in the system, the change in noise levels has been measured and it has been seen that the heat exchanger provides better sound insulation than the silencer.

To Cite: Taşpınar E., Öztürk A. Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Ek Isıtıcıların Egzoz Gazlarındaki Atık Isı Enerjisinin Geri Kazanılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 482-494.

1.Giriş

Günümüzde doğal enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve küresel ısınmaya karşı gelişen enerji tasarrufu politikaları, enerjinin daha verimli kullanılması ve atık enerjinin geri kazanılması yönünde yapılan çalışmaları teşvik etmektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının doğru kullanımıyla, bu enerjiyle çalışan makinelerin verimli çalışması ve kullanılmayan enerjinin geri kazanımı önem arz etmektedir.

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidarla ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi birçok mühendislik uygulamasında önem taşır. Bu tür bir ısı geçişini gerçekleştirmek için kullanılan düzenek olan eşanjör (ısı değiştirici), sanayide çeşitli iş kollarında, iklimlendirme tesislerinde, termik santrallerde, atık ısının geri kazanılmasında ve kimyasal işlemlerde uygulama alanı bulmaktadır (Incropera, 2015) ve atık ısı enerjisini egzoz gazlarından geri kazanım cihazları olarak da kullanılır. Jouhara ve ark. (2018) atık ısı geri kazanımını kullanarak enerji verimliliğini artırmanın yolunun farklı yaklaşımlarla ve farklı teknolojilerin kullanımı ile elde edilebileceğini göstermişlerdir. Hatami ve ark. (2014) çalışmalarında, egzozdan ısı kazanımıyla ilgili yapılan çalışmaları incelemiş, motorların egzozundan atılan ısının geri kazanımında eşanjör kullanmanın yaygın bir yol olduğunu belirtmişlerdir.

Soğuk bir sıvının ön ısıtılması için yüksek sıcaklıktaki bir egzoz gazından atık ısının geri kazanımında plakalı ısı eşanjörleri kullanılabilir. Plakalı ısı eşanjörleri ile atık ısı geri kazanımı, çeşitli endüstrilerde hem ısı verimi artırmak hem de yakıt ihtiyacını azaltmak için ekonomik bir yöntemdir. Bu eşanjörlerde termal enerji, karışmayı önlemek için ince iletken duvarlarla ayrılmış iki veya daha fazla sıvı arasında aktarılır. Plakalı eşanjörlerin avantajları, kompaktlık, boyut esnekliği, yüksek termal verimlilik ve farklı akış düzenlemelerine olanak tanımaları nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Doğal gaz sıvılaştırma, içten yanmalı motorların soğutulması, ısıtma sistemleri, klima üniteleri ve atık ısı geri kazanımı gibi geniş bir uygulama yelpazesi için tasarlanmış olmalarından dolayı endüstride önemli bir role sahiptir. Bu nedenle termal sistemlerin akış düzeni ve ısı davranışı araştırmacılar tarafından hem sayısal hem de deneysel olarak geniş çapta araştırılmıştır (Abu-Khader, 2012; Song ve ark., 2012). Nia ve ark. (2021) egzozla atılan ısıyla, farklı uygulamalarda kullanılacak hava akışını ısıtmak için bir plakalı eşanjör kullanmışlardır. Sıcak gazın radyasyon iletimi parametresinin ve plakalı eşanjördeki eğim açısının ısı performans üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Arsenyeva ve ark. (2021) endüstriyel bir kurutma işleminden sonra ısının geri kazanımı için kullanılan plakalı ısı eşanjörlerinin tasarımında farklı matematiksel modeller önermişler ve kullandıkları sistemle egzoz gazından 640 kW ısı enerjisi tasarrufu sağlamışlardır.

Ek ısıtıcılar, içten yanmalı motorların verimli çalışabilmesi için soğutma suyu ve motor parçalarının belli bir sıcaklık değerine ulaştırılmasında kullanılmaktadırlar (Shepard, 1989; Yoshimoto ve ark. 1996; Soruşbay, 1999; Topgül ve Çınar, 2001; Özülcü, 2002; Pulkrabek, 2004; Kauranen ve ark. 2010). Soğuk iklim koşullarında motor ve parçaları düşük sıcaklıkta olduğundan emme ve sıkıştırma zamanında yakıtın oldukça az bir kısmı buharlaşacaktır. Bu durumda yakıt soğuk ve akışkanlığı düşük

olduğundan, daha az yakıt debisi ve daha büyük yakıt damlacıkları oluşur. Ek ısıtıcılar sistemde konfor ısıtması yapmasının yanı sıra motorun daha hızlı ısınmasını ve yakıtın daha iyi yanması sonucu motor performansının artırılması, aşınmanın ve çevre kirliliğinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, sıvı ısıtmalı tipte bir ek ısıtıcının egzoz çıkışındaki susturucu çıkarılarak yerine bir eşanjör bağlanmıştır. Harici bir soğutucuda farklı sıcaklıklara soğutulan ve kapalı devre içerisinde dolaşımı sağlanan motor soğutma suyuna, ek ısıtıcı çıkışındaki egzoz gazı ile ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Böylece yapılan ön ısıtma işlemiyle istenilen soğutma suyu sıcaklığına daha kısa sürede ulaşıldığından ek ısıtıcının çalışma süresinin azaldığı görülmüştür. Ek ısıtıcı çalışma süresinin kısalmasıyla, ek ısıtıcının yakıt tüketimi de azalmıştır. Azalan yakıt tüketimi de çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Uygulamada daha hızlı ısınan motor soğutma suyu ile motorun verimli çalışma sıcaklığına daha kısa sürede ulaşması, aynı zamanda kabin içi hava sıcaklığının da hızlı bir şekilde artması sağlanmış olacaktır. Susturuculu ve eşanjörlü sistem, yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, dolaşım sıvısı sıcaklığı, basınç kaybı, elektrik tüketimi ve gürültü düzeyi gibi parametreler açısından karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

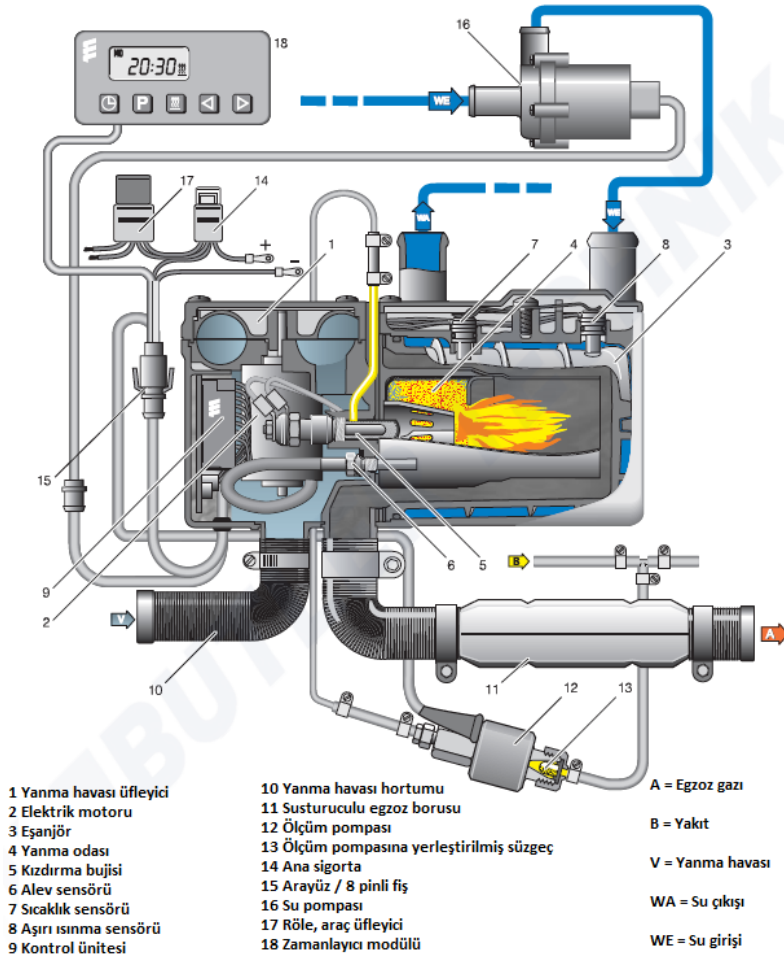
Ek ısıtıcılar, ısıtılan akışkana göre kuru tip ve sıvılı tipte olmak üzere farklı yapıda üretilmektedir. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan sulu tipte bir ek dizel ısıtıcı (Eberspacher D5WS) ve ek parçaları Şekil 1'de şematik olarak sunulmuştur. Ek ısıtıcının çalışma durumları üç aşamada açıklanabilir.

i) Ek ısıtıcı açılıp hazır hale geldiğinde dolaşım pompası çalışmakta bir ön yıkama ve ön kızdırma programı tamamlandıktan sonra yanma havası fanı, kızdırma bujisi ve ölçüm pompası açılmaktadır. Kazan içerisinde bir alev algılandığında ve yanma süreci karalı hale geldiğinde, bir zaman kontrolü sistemi kızdırma bujisini kapatmakta ve ısıtma durumuna geçilmektedir.

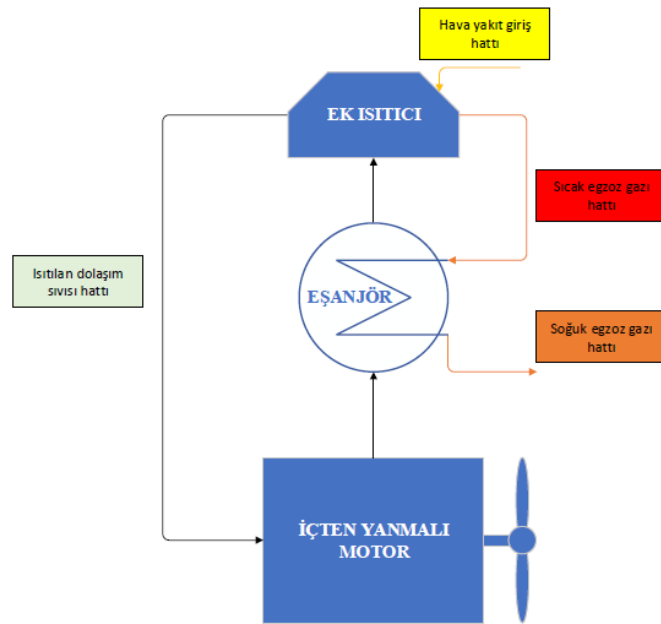
ii) Isıtma durumunda, ek ısıtıcı, "düşük" ve "yüksek" ayarları arasında geçiş yapabilmektedir. Motor soğutma sıvısının istenilen sıcaklık değerine yaklaşıldığında (85-90°C), ısıtıcı "kapalı" konuma geçmekte ve ardından brülörün soğutulması için yaklaşık 130 saniye daha çalışmaktadır. Soğutma sıvısı sıcaklığı düşüp yeniden devreye girinceye kadar çalışmaya devam etmektedir.

iii) Ek ısıtıcı kapatıldığında, yakıt pompası tarafından gönderilen yakıt kesilmektedir. Kapatma durumunda, kızdırma bujisi 20 saniye süreyle açılmakta, yanma havası fanı ve su pompası kısa bir süre çalıştıktan sonra ardından otomatik olarak kapanmaktadır (<https://www.eberspacher.com>).

Ek ısıtıcılardaki susturucular, ek ısıtıcı standart donanımında bulunan gürültünün azaltılması ve konfor şartlarını sağlaması için üretici tarafından parçalardır. Bu çalışmada egzoz çıkışındaki susturucu çıkarılıp yerine kompaktlık değeri yüksek olan sıvı-gaz geçişli yüksek ısıya dayanıklı kaynaklı tip plakalı bir eşanjör bağlanmıştır. Şekil 2'de sıvı ısıtan tipte bir ısıtıcıda sistem çıkışına eklenen eşanjörle, atık egzoz gazlarından elde edilen enerjisinin ön ısıtma işleminde kullanıldığı sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sulu tip ek ısıtıcı parçaları (<https://www.eberspacher.com>)



Şekil 2. Ek ısıtıcı tarafından ısıtılan sıvının çevrimi ve eşanjörün konumu

Eşanjörler, ısıl temas halinde bulunan iki veya daha fazla sayıda akışkanın, ısı enerjisinin birbirlerine geçişlerini sürekli olarak sağlayan cihazlardır ve akışkanlar arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı enerjisini birbirlerine aktararak sıcak bir akışkanı soğutma, ısıtma, yoğunlaştırma veya buharlaştırma işlevini yerine getirirler. Eşanjörün içinden geçen sıvı veya gaz halindeki maddeler arasında kütleli bir geçiş yoktur. Kullanım alanları oldukça geniş olup, ısıtma soğutma sistemleri, iklimlendirme santralleri, ısı geri kazanımı prosesleri gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulama alanı olarak günlük yaşamımızda, araç radyatörleri, klimalar, hava ısıtıcıları, kombiler ve su ısıtıcıları vs. gibi cihazlarda karşımıza çıkmaktadır.

Yapısal olarak borulu lehimli ve plakalı tipleri olan eşanjörler, günlük yaşamımızda oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Sıcak su kaynakları olan kombiler, şofbenler, kat kaloriferleri gibi gündelik kullanımların yanı sıra endüstride araç radyatörleri, serpantinler, kondenserler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Çalışma şartları, üretim tekniği, görünüşleri, kullanım yeri, büyüklüğü, akış şekli, vb. gibi özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Kaynaklı plakalı eşanjörlerin avantajları ise; yapıları gereği hafif ve küçüktürler, bakım maliyetleri düşüktür, yüksek korozyon ve basınç dayanımına, yüksek termal verime ve yüksek çalışma sıcaklığına sahiptirler.

3. Deneysel Çalışma

Deneylerde kullanılan deney düzeneği ve şematik gösterimi Şekil 3 (a ve b)'de verilmiştir.

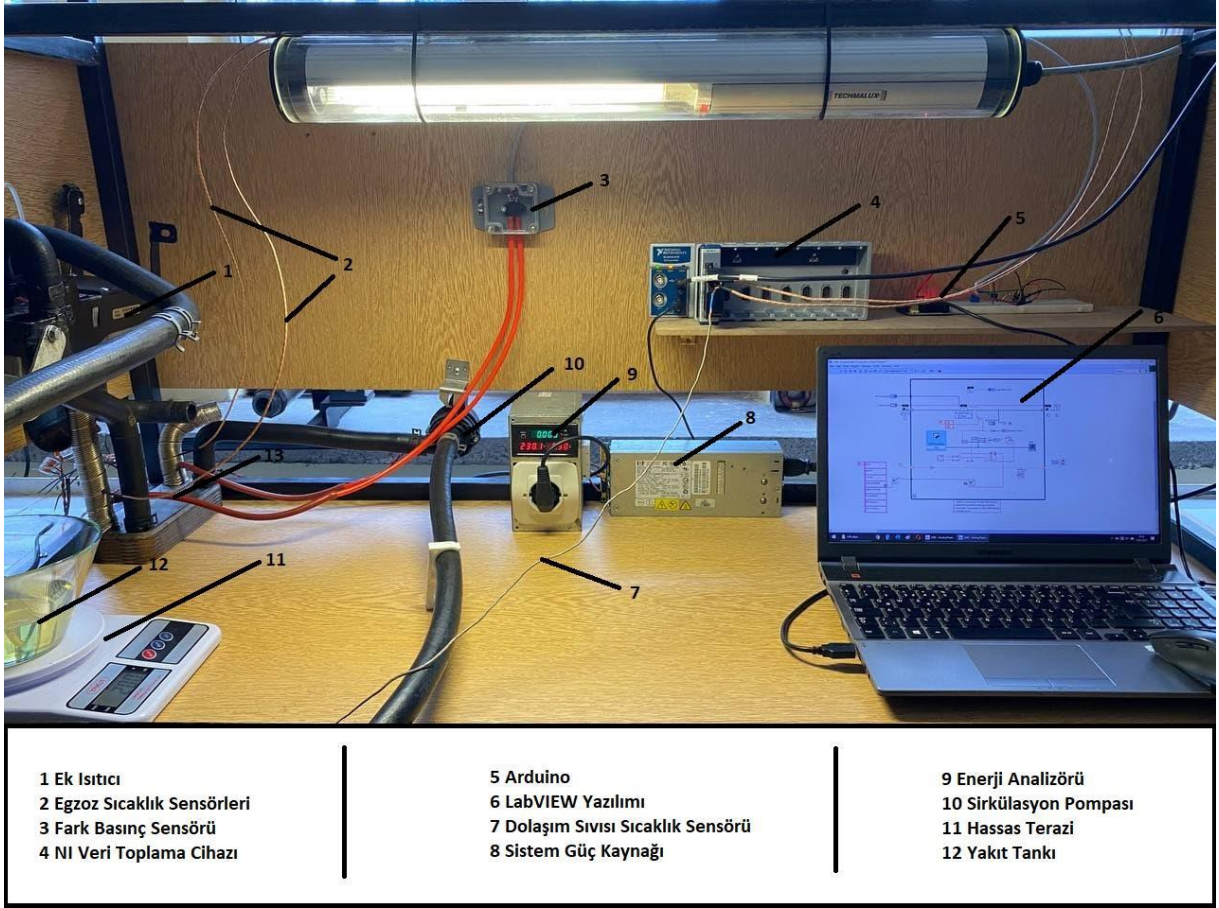
3.1. Kabuller ve koşullar

- Soğutucu akışkan hacmi olarak binek tipte bir aracın soğutma suyu kapasitesi olan 4 litre sıvı alınmıştır. Soğutma sıvısı olarak özgül ısısı yaklaşık olarak 2,5 kJ/kg olan Shell marka antifriz (etilen glikol) kullanılmıştır.
- Soğutucu kapasitesi soğutma sıvısının daha düşük sıcaklıklara çalışması için yeterli olmadığından deneylerde en düşük sıcaklık olarak 0°C ile başlanmıştır.
- Bütün deneylerde aynı özellikte yakıt kullanılmış ve her deney için 4°C ortam sıcaklığı sağlanmıştır. 1°C'den düşük sıcaklık farkları ihmal edilmiştir. Deney sürelerinin kısa olmasından dolayı yakıtın deney sırasında buharlaşmayla kütlelerinin değişmediği kabul edilmiştir.
- Deney sisteminin başlangıçta öncelikle test yapılacak denge sıcaklığına ulaşması sağlanmış ve daha sonra ek ısıtıcı çalıştırılarak deney verileri kaydedilmeye başlanmıştır. Her deney için başlatma ve veri kaydetme aşamasında oluşan zaman farkları göz önüne alınmamıştır.
- Sistemde buharlaşan dolaşım sıvısı her deney için başlangıçta kontrol edilerek, gerekli miktarda sıvı ilavesi yapılmıştır.
- Eşanjör yüzeyinden, bağlantı elemanlarından (hortumlar vb.), sıcaklığın ölçüldüğü giriş-çıkış manifoldlarından olan ısı kayıpları göz önüne alınmamıştır.

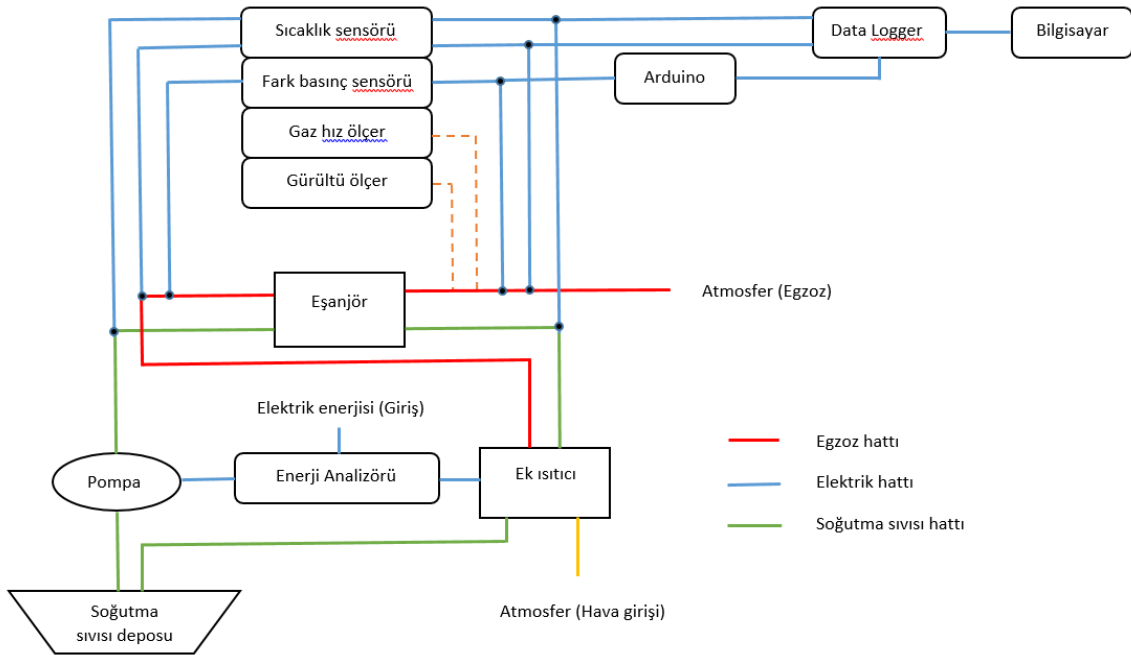
- Ek ısıtıcı çıkış ağzında sıcak egzoz gazlarının içindeki su buharının aniden soğuyarak yoğuşmasını engellemek için eşanjör sisteme zıt akışlı olarak bağlanmıştır. Bu şekilde yoğuşmanın eşanjörün içinde olması sağlanmıştır.
- Fark basınçları ölçülürken sistem hava kaçakları için yalıtılmıştır.
- Orijinal haldeki egzoz susturuculu ve eşanjörlü durumun ses yalıtma durumları ölçülürken aynı koşullar sağlanmıştır.

3.2. Deney aşamaları

- Eşanjörle yapılan deneylerde, ek ısıtıcı, ısı ve basınç sensörleri, enerji analizörü, data logger, yakıt deposu ve susturucu sökülerek yerine takılan ısı eşanjörü ve soğutucu sıvı kazanı test ünitesine bağlanmıştır. Susturucu ile yapılan deneylerde ise, bağlantılarda herhangi bir değişiklik yapılmamış, eşanjör yerine susturucu kullanılmıştır.
 - Dışarıdan sisteme bağlanan bir soğutucunun kazan kısmında soğutulan soğutma sıvısı, ek ısıtıcı çalıştırılmadan önce sistemde devridaim yaptırılarak sistemdeki sıvının deney yapılacak denge sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır.
 - Sistem dengeye ulaştığında ek ısıtıcı çalıştırılmış, soğutma sıvısının kapalı bir devre içerisinde dolaşımı sağlanmıştır. Sistem çalışmaya başladığı andan itibaren hedef sıcaklığa ulaştıktan sonra, sistem kendiliğinden duruncaya kadar veriler bir data logger tarafından kaydedilmiştir.
 - Ek ısıtıcı tam yükte istenilen sıcaklık değerine ulaşıncaya kadar olan maksimum kapasite çalışma aralığında test edilmiştir. Çalışma sırasında hedeflenen sıcaklığa yaklaşılmaya başlandığında, yanma devam ederken ısıtıcı tam yük çalışma durumundan yavaşça uzaklaşmaya başlamış, egzoz gazı sıcaklığı düşmeye başlamış ve hedef sıcaklığa ulaşıldığında kendini kapatmıştır.
 - Deneyler başlangıçta belirlenmiş olan 0°C, 10°C ve 20°C'deki düşük sıcaklıklardan 90°C hedef sıcaklığa ulaşıncaya kadar gerçekleştirilmiştir. Isıtma süreci boyunca tüm veriler kaydedilmiş ve hedef sıcaklığa ulaşıldığında ek ısıtıcı kendiliğinden durmuştur.
 - Deney sırasında veri kaydı, ek ısıtıcı cihazın start sinyali ile başlatılmış, son yakıt ikmali ile sonlandırılmıştır.
 - Eşanjörlü ve susturuculu sistemler için çalışma esnasında maksimum kapasiteye ulaşıldığında gürültü ve egzoz çıkışında gaz hızı ölçümleri yapılmıştır.
 - Her deney için toplam elektrik sarfiyatı enerji analizörü ile kaydedilmiştir.
 - Veriler, iki saniyelik periyodlar halinde kaydedilerek tablolar oluşturulmuş, gerekli dönüşümler yapılarak elde edilen sonuçlar grafik halde sunulmuştur.
- Yukarıda eşanjörlü sistem için açıklanmış olan bütün işlemler, sistemin orijinal hali olan susturuculu sistem için aynı sıcaklıklarda tekrarlanmıştır.



Şekil 3a. Deney düzeneği



Şekil 3b. Deney düzeneği şematik gösterimi

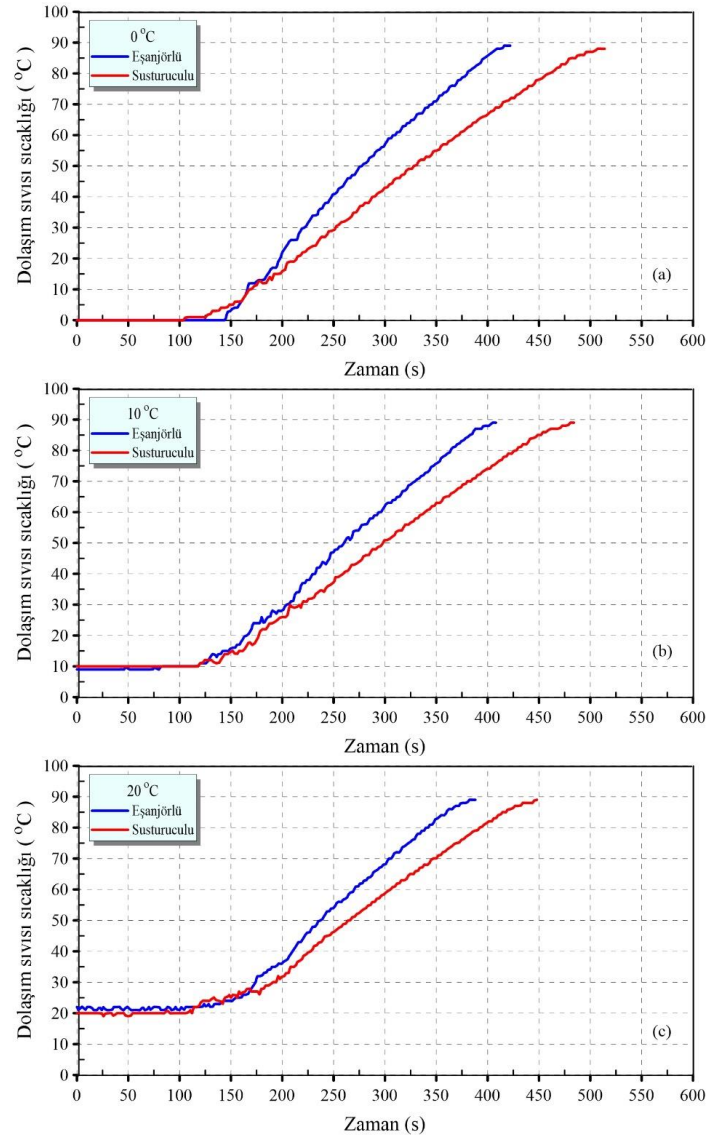
4. Bulgular ve Tartışma

Susturuculu ve eşanjörlü sistemde dolaşım sıvısı sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. 0°C deki değişim grafiği incelendiğinde 100. saniyeye kadar her iki durum için sıcaklıkta gözle görülür bir değişimin meydana gelmediği, susturuculu sistemde sıcaklık artışının 124., eşanjörlü sistemde ise 146. saniyeden itibaren önemli bir değişimin başladığı görülmektedir. Susturuculu sistemde artış daha düşük eğimle meydana gelirken, eşanjörlü sistem daha büyük eğimle hızlı bir artış göstermektedir. Bu hızlı artış sonucunda eşanjörlü sistem hedef sıcaklığa 424. saniyede ulaşırken, susturuculu sistem 516. saniyede ulaşabilmiştir. Bütün sıcaklıklar için hedef sıcaklığa ulaşılırken her iki durum eğrisi altında kalan alan farkı eşanjör tarafından suya olan ısı miktarının bir göstergesidir. Dolaşım sıvısı sıcaklığının başlangıçta 10°C'de olduğu durumda her iki sistem için 124. saniyeye kadar sıcaklıkların yaklaşık aynı kaldığı, bu noktadan sonra iki sistemin sıcaklığının artmaya başladığı görülmektedir. Eşanjörlü sistem daha hızlı bir artışla 410. saniyede, susturuculu sistem ise 486. saniyede hedef sıcaklık değerine ulaşmıştır. 20°C dolaşım sıvısı sıcaklıklarında kayda değer artışın 10°C sıcaklığa benzer şekilde 124. saniyeden itibaren başladığı 174. saniyeye kadar her iki sistem sıcaklığının hemen hemen aynı olduğu, bu noktadan sonra eşanjörlü sistem sıcaklığının daha hızlı bir artışla 390. saniyede, susturuculu sistemin ise 450. saniyede hedef sıcaklığa ulaştığı görülmüştür.

Susturuculu ve eşanjörlü sistem, bütün giriş sıcaklıkları için kendi arasında ayrı ayrı incelenirse belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra aynı eğimle artış gösterdikleri görülmektedir. Bilindiği gibi bütün maddelerin özgül ısıları sıcaklıkla değişkenlik gösterir. Ancak genellikle pratik uygulamalarda sabit bir ortalama bir özgül ısı ile hesaplamalar yapılmaktadır. Tablolarda genellikle sıvılar için genellikle sabit basınçta belli bir sabit sıcaklık için tek bir değer alınmaktadır. Etilen glikol esaslı bir sıvı olan antifriz için bu değer 20°C de özgül ısı 2,84 kJ/kgK olarak verilmektedir. Çok düşük sıcaklıklar için hassas hesaplamalar yapılacağı zaman özgül ısı değerindeki değişim göz önüne alınabilir. Faz değişimi olmayan düşük ya da yüksek sıcaklık değerlerindeki soğutucu akışkanla yapılacak deneylerde özgül ısının sabit kaldığı kabul edilirse sıvı için eğim yaklaşık aynı kalacağından benzer sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Soğutucu akışkanın farklı sıcaklık değerleri için sonuçlar incelendiğinde eşanjörlü sistemin, susturuculu sisteme göre daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaştığı görülmektedir.

Şekil 5a'da soğutma sıvısı sıcaklığı ve hedef sıcaklık arasındaki farka bağlı olarak yakıt tüketimi gösterilmiştir. Dolaşım sıvısının başlangıçtaki sıcaklığı ne kadar düşük ise, hedef sıcaklığa varabilmek için yakıt tüketimi de o kadar fazla olacaktır. Grafiklerde sıcaklık farkının artmasına bağlı olarak yakıt tüketiminin de arttığı gözlemlenmektedir. Susturucu ve eşanjörlü sistemin eğrilerinin birbirine paralel değişimler gösterdiği, susturuculu sistemin yakıt tüketim değerlerinin eşanjörlü sistemin yakıt tüketiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Susturuculu sistemin yakıt tüketim değerlerinin bütün sıcaklık değerleri için eşanjörlü sistemden 7 g daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Eşanjör kullanıldığında soğutucu akışkan giriş sıcaklığına göre, her sıcaklık değeri için ayrı ayrı yakıt tüketim

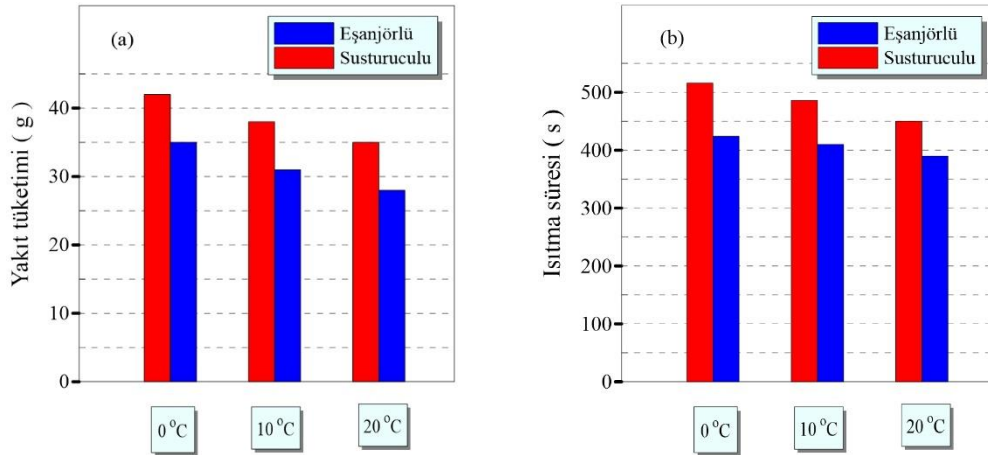
değerleri göz önüne alınarak hesaplandığında yakıt tüketiminde yaklaşık %16,6-20 tasarruf sağlanmıştır.

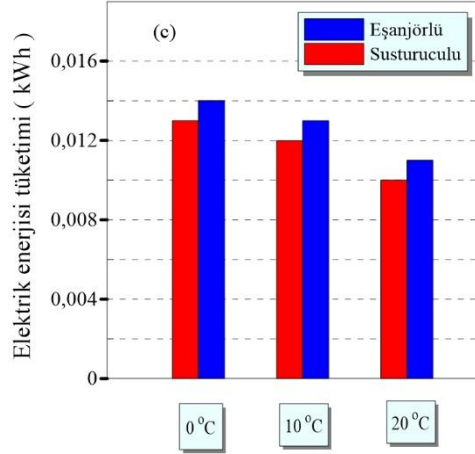


Şekil 4. Dolaşım sıvısı sıcaklığının zamana bağlı değişimi (a) 0°C, (b) 10°C, (c) 20°C

Ek ısıtıcıda farklı sıcaklıklardaki soğutma suyunun hedeflenen 90°C'ye ulaşması için geçen süreler Şekil 5b'de gösterilmiştir. Soğutma sıvısı sıcaklığının, motorun daha verimli çalışabilmesi, motor parçalarının daha az aşınması ve motor yakıt tüketiminin azalması için hızlı bir şekilde artırılması gerekir. Binek tipi araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların soğutma sıvısı yaklaşık olarak 4 litredir. Bu nedenle binek tipi bir araç için çalışmanın yapıldığı kabul edilerek sistemde dolaştırılan soğutucu akışkan hacmi 4 litre olarak alınmıştır. Grafikler incelendiğinde düşük sıcaklıktaki sıvının ısıtma süresi doğal olarak daha fazla zaman almaktadır. Bununla beraber susturuculu sistem ile yapılan ısıtma işlemlerinde bütün sıcaklıklar için 53°C hedef sıcaklığa ulaşmanın daha fazla zaman aldığı görülmektedir.

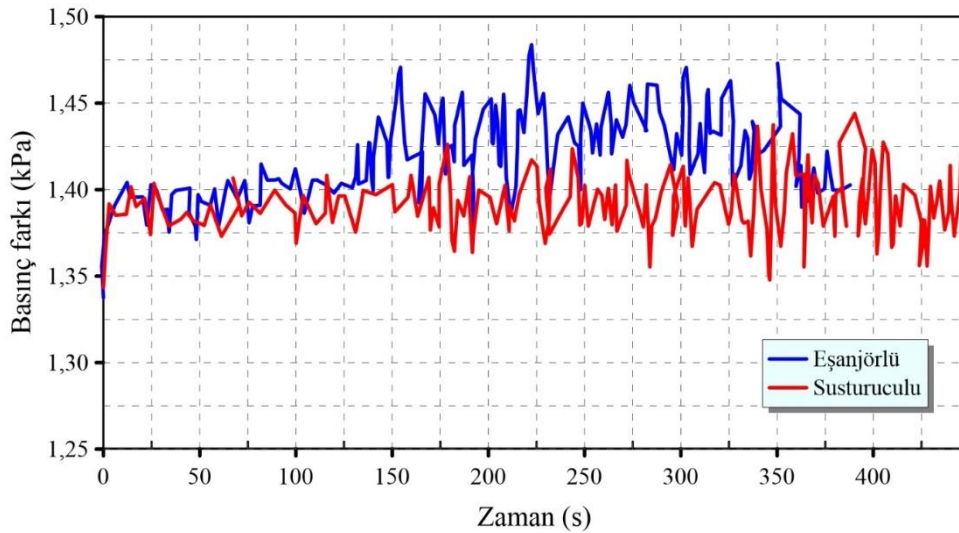
Bütün çalışma sıcaklıklarında susturuculu ve eşanjörlü sisteme ait elektrik enerjisi tüketim değerleri Şekil 5c'de verilmiştir. Her iki sistem için elde edilen veriler incelendiğinde bütün sıcaklık değerleri için, çalışma zamanı daha kısa olmasına rağmen, eşanjörlü sistemin susturuculu sisteme göre daha fazla elektrik tüketiminin olduğu görülmektedir. Eşanjörün sisteme ilavesiyle cihaz fanının ürettiği hava akımına karşı gösterilen dirençle ortaya çıkan egzoz gazındaki basınç farkının fan elektrik tüketimini ve eşanjörden geçirilen soğutma sıvısının basınç kaybının dolaşım pompasının elektrik tüketimini arttırdığı düşünülmektedir. Diğer elektrikli aksamın çalışması üzerinde eşanjörün herhangi bir etkisinin bulunmaması bu düşüncüyü doğrulamaktadır. Grafikler incelendiğinde enerji tüketimlerinin birbirine paralel bir yol izlediği ve artan sıcaklık farkıyla birlikte çalışma zamanının artması nedeniyle tüketimlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bütün sıcaklık değerlerinde, eşanjörlü sistemin, toplam elektrik enerjisi tüketiminin, susturuculu sisteme göre 3,6 kJ daha fazla olduğunu görülmektedir. Bu fazla elektrik enerjisi tüketimine rağmen, daha az yakıt tüketimi göz önüne alındığında, eşanjörlü sistemin daha verimli çalıştığı görülmektedir. Bütün sıcaklıklarda çalışma zamanı boyunca, ortalama 42500 kJ/kg alt ısı değerine sahip olan hafif dizel yakıttan 7 g tasarruf sağlanmıştır. Sıcaklık değerleri içerisinde en uzun çalışma 0°C'deki soğutucu akışkan sıcaklığı için 424 saniye olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıkta tasarruf edilen yakıttan kazanılan 297,5 kJ iken, fazladan harcanan elektrik enerjisinin değeri yaklaşık 3,6 kJ olmaktadır. Fazladan harcanan elektrik enerjisi tüketiminin, kazanılan enerji yanında oldukça küçük olduğu görülmektedir.





Şekil 5. Eşanjörlü ve susturuculu sistemlerde farklı sıcaklıklar için; (a) yakıt tüketiminin, b) ısınma süresinin, (c) elektrik enerjisi tüketiminin karşılaştırılması

Şekil 6’da susturuculu ve eşanjörlü sistem için basınç farkının zamana bağlı değişimi incelendiğinde, eşanjörlü sistemin, ek ısıtıcının orijinal parçası olan susturucuya göre daha fazla basınç düşümüne neden olduğu, ancak ek ısıtıcı sistemin çalışması açısından herhangi bir sakınca oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Basınç farkı değişimleri karşılaştırıldığında meydana gelen basınç düşümü farkının maksimum 0,05 kPa değerinde olduğu, çalışma esnasında hava akışı ve yanma üzerinde olumsuz bir durum görülmemiştir. Grafik incelendiğinde susturuculu sistemde de zaman zaman aynı mertebelerde basınç değişimlerinin olduğu, bu nedenle meydana gelen basınç farkının ek ısıtıcının çalışması üzerinde bir etki yaratmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 6. Susturucu ve eşanjörlü sistem için giriş-çıkış basınç farkı

5. Sonuç

Bu çalışmada soğuk hava koşullarında taşıt motorlarında motor soğutma suyuna ön ısıtma yaparak motorların daha verimli çalışmasını ve parçalarda aşınmayı azaltan, aynı zamanda kabin iç havasını ısıtan, ek ısıtıcıların egzozundan atmosfere atılan ısı enerjisini kullanarak ısıtma süresinin azaltılması

ve dolayısıyla ek ısıtıcı yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmiştir. Ek ısıtıcının standart donanımında bulunan susturucu sökülerek yerine soğutma sıvısının içinden geçirildiği eşanjör bağlanmıştır. Eşanjörlü ve susturuculu sistem için yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, elektrik tüketimleri ve gürültü seviyeleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde sonuç olarak;

- i) Eşanjörlü sistemin susturuculu sistemden 7 g daha az yakıt tükettiği tespit edilmiştir. Eşanjör kullanılarak bütün sıcaklıklarda yakıt tüketiminde yaklaşık %16,6-20 tasarruf sağlanmıştır.
- ii) Eşanjörlü sistem susturuculu sistemden daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaşmış, zamandan yaklaşık %14-18 tasarruf sağlanmıştır.
- iii) Eşanjörlü sistemin 3,6 kJ daha fazla elektrik enerjisi tükettiği, ancak tasarruf edilen yakıtla karşılaştırılmayacak düzeyde düşük bir kayıp olduğu belirlenmiştir.
- iv) Deney süresince eşanjör giriş ve çıkışı arasında cihaz fanının ürettiği hava akımına karşı gösterilen direncin meydana getirdiği bir basınç düşümü olduğu, ancak bu farkın (çalışma boyunca maksimum 0,05 kPa) çalışmayı etkileyecek önemli bir basınç farkı olmadığı tespit edilmiştir.
- v) Ek ısıtıcının maksimum kapasiteyle çalıştığı anlarda, susturuculu ile yapılan deneylerde gürültü seviyesi, bütün sıcaklık değerleri için yaklaşık 90 dB civarında iken, eşanjörlü sistemde bu değer 87 dB civarında kaydedilmiştir. Sonuç olarak, eşanjörün susturucudan %3,5 daha iyi ses yalıtımı sağladığı görülmüştür.
- vi) Ek ısıtıcıdan egzoz gazlarından ısı enerjisinin geri kazanılması hem ısınma süresini kısaltmış hem de daha az yakıt tüketilmesini sağlamıştır. Bu durumda çevreyi kirleten daha az egzoz gazı ve gürültü üretilmiş olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Her bir yazar makaleye %50 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abu-Khader MM. Plate heat exchangers: recent advances. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16(4): 1883–1891.

Arsenyeva O., Klemes JJ., Kapustenko P., Fedorenko O., Kusakov S., Kobylnik D. Plate heat exchanger design for the utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process. Energy 2021; 233: 121186-121195.

<https://www.eberspacher.com> (Erişim Tarihi: 25.01.2021).

- Hatami M., Ganji D., Gorji-Bandpy M. A review of different heat exchangers designs for increasing the diesel exhaust waste heat recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 37: 168-181.
- Incropera FP. Isı ve kütle geçişinin temelleri. 7. Baskı. Palme Yayıncılık 2015.
- Jouhara H., Khordehghah N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A., Tassou SA. Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress* 2018; 6: 268-289.
- Kauranen P., Elonen T., Wikström L., Heikkinen J., Laurikko J. Temperature optimisation of a diesel engine using exhaust gas heat recovery and thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering* 2010; 30: 631-638.
- Nia MF., Nassab SAG., Ansai AB. Numerical simulation of air heating by the recovered waste heat from the radiating exhaust gas flows in a plate heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences* 2021; 161: 106728-106740.
- Özülkü M. Aşırı doldurulmalı dizel bir motorda ara soğutmanın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi 2002.
- Pulkrabek WW. Engineering fundamentals of the internal combustion engine: International Edition, 2nd Edition. University of Wisconsin– Platteville 2004
- Shepard L. Engine independent heaters in heavy duty applications. The European Experience, Truck and Bus Meeting and Exposition; Charlotte, North Carolina, USA, November 1989; 6-9.
- Song G., Joohyun LJ., Lee D. A method to reduce the flow depth of a plate heat exchanger without a loss of heat transfer performance. *Int. J. Heat Mass Tran.* 2012; 55: 2992–2998.
- Soruşbay C. İçten yanmalı motorlarda egzoz gazları emisyonu. İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Ders Notları, İstanbul 1999.
- Topgül T., Çınar C. İçten yanmalı motorlarda soğutma suyu sıcaklığının motor performansına etkileri üzerine deneysel bir araştırma. *Selçuk-Teknik Online Dergisi* 2001; 2(1): 1-9.
- Yoshimoto Y., Thsukahara M., Kuramoto T. Improvement of BSFC by reducing diesel engine cooling losses with emulsified fuel. *SAE Technical Paper Series* 1996; 962022: 163-171.