



Hava Süspansiyon Sistemlerinde Kullanılan Polyamid 6.6 Kord Bezi İle Güçlendirilmiş Kauçuk Kompozit Yapıların Isı Transfer Özelliklerinin Araştırılması

Hasan Kasım^{1*}

^{1*} Pega Otomotiv San. Ve Tic. A.Ş., R&D Center, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3024-5207), hasan@pegaaairsprings.com

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 16 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1104039)

ATIF/REFERENCE: Kasım, H. (2022). Hava Süspansiyon Sistemlerinde Kullanılan Polyamid 6.6 Kord Bezi ile Güçlendirilmiş Kauçuk Kompozit Yapıların Isı Transfer Özelliklerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 151-157.

Öz

Bu çalışmada hava süspansiyon körüklerinde kullanılan üç farklı tipteki PA 66 ile imal edilmiş kord ipleri ile güçlendirilmiş kauçuk karışımlarının ısı yayılım, ısı iletkenlik ve özgül ısı ölçümlerine ait deneysel çalışmalara ait sonuçlar sunulmuştur. Çalışmalar 20-160 °C arasında gerçekleştirilmiştir. Kauçuk matrisi içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanılan kord ipinin tipi ve düzeni termal özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kauçuk kompozit karışımlarında kullanılan elastomer miktarının da termal özellikleri etkilediği ve matris malzemesinin özelliklerine yaklaştığı görülmüştür. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerleri sıcaklığa bağlı azalma yönünde eğilim göstermektedir. Kord iplerinin eksenine dik olan ısı akışı, ısı iletim hızı ve matrisin özellikleri ile sınırlı olup kompozitlerin termal özellikleri bu bileşenin özelliklerine yaklaşmaktadır. Kord bezlerinin ısı termal direncinin iplik yönüne dik ilerlemesine bağlı ısı özelliklerinden dolayı, birim uzunluktaki kord ipi için büküm sayısına bağlı olarak ısı yayılım ve ısı iletkenliğinin arttığı görülmüştür. Elyaf yönüne paralel olan termal yayılım, elyaf yönüne dik olan termal yayılım ve matrisin termal yayılım özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, büküm sayısının kompozit numunelerdeki basınçlı hava miktarını etkileyerek ısı temas direncini arttırdığı ve fiber dizim yönüne dik olan etkin ısı iletkenliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal İletkenlik, Isıl Yayılım, Kord Bezi, Kauçuk Kompozit, Hava Yayısı.

Investigation of Heat Transfer Properties of Rubber Composite Structures Reinforced With Polyamide 6.6 Cord Fabric Used In Air Suspension Systems

Abstract

This study presents experimental studies on thermal dissipation, thermal conductivity, and specific heat measurements of rubber mixtures reinforced with cord fabrics manufactured with three different PA 66 used in air suspension bellows. The studies were carried out between 20-160 °C. The cord fiber type and features used as reinforcement material within the rubber matrix significantly influence thermal properties. It has been observed that the amount of elastomer used in rubber composite mixtures also affects the thermal properties and approaches the properties of the matrix material. The thermal dissipation values of cord fabric reinforced rubber composites tend to decrease depending on the temperature. The heat flow perpendicular to the axis of the cord threads, the heat conduction rate is limited by the properties of the matrix, and the thermal properties of the composites approach the properties of this component. Because of the thermal properties of the progress perpendicular to the cord fiber of thermal resistance of cord fabrics, Increasing thermal conductivity and dissipation have been seen depending on the number of twists in a unit length for cord fiber. The thermal dissipation parallel to the fiber direction, the thermal dissipation perpendicular to the fiber direction and the thermal dissipation properties of the matrix were compared. As a result, it has been observed that the number of twists increases the thermal contact resistance by affecting the amount of compressed air in the composite samples and decreases the effective thermal conductivity perpendicular to the fiber array direction.

Keywords: Thermal Conductivity, Thermal Dissipation, Cord Fabric, Rubber Composite, Air Springs.

* Corresponding Author: hskasim@gmail.com

1. Giriş

Kauçuk esaslı kompozit malzemelerin ısı iletiminin matematiksel modellenmesi, optimum koşullarda vulkanizasyon için gerekli proses şartlarını sağlayan teknolojik koşulların daha düşük maliyet ve uygun şartlarda belirlenmesi ile yeni ürün tasarımı gerekliliği olan sürenin kısaltılmasını sağlar. Ancak matematiksel modelleme ile elde edilen analiz ve simülasyon sonuçları, malzemelerin ısı transfer özelliklerinin doğru ve güvenilir yöntemler ile elde edilmesi durumunda uygun olabilir. Sıcaklık; elektriksel özellikler, mekanik mukavemet, sertlik, viskozite, elastikiyet, çözünürlük, çözücü yeteneği gibi malzemelerin çoğu özelliğini önemli ölçüde etkiler.

Kauçuk kompozitlerin ısı iletiminin matematiksel modellenmesi için, kompozit malzemeyi oluşturan matris ve dolgu malzemelerinin ısı yayılımı, ısı iletkenliği ve özgül ısı gibi termal özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Matris malzemesinin içeriğindeki malzemeler ve proses şartları malzemenin mekanik ve termal özelliklerini etkilemektedir. Naylon, polyester ve suni ipek gibi kumaş kordlar, hava süspansiyon körüklerinin, lastiklerin, taşıma bantlarının, kaplamalı kumaşların, V-kayışlarının, hortumların, membran kumaşların ve büyük torbaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır (Choi et al., 2013; Mani et al., 2009). Bu malzemelerin ısı transfer özellikleri çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörlerin temelinde, kauçuk matris bileşiminde farklı olarak kauçuk kompozit içerisinde kord bezi takviyesinin açısı, boyutu, yapısı ve modeli, kord iplerinin kendi aralarındaki termal temas direnci ve termal özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle kauçuk kompozitlerinin ısı transfer süreçlerinin analizi ve simülasyonu ile elde sonuçlar yukarıda belirtilen faktörlerden etkilenebilir.

Literatürde kauçuk bileşiklerinin termal özellikleri bilim insanları tarafından detaylıca araştırılmaya başlanmıştır. Nasr vd. (Nasr et al., 1995), bütül kauçuğun içerisinde, 100 phr oranında farklı tiplerde karbon siyahı ekleyerek karışımlar elde etmişlerdir. 25-175 °C arasında yapılan testlerde termal özelliklerin karbon siyahı ve dolgu malzemesi tiplerinden etkilendiğini göstermişlerdir. Alzamil vd. (Alzamil et al., 2018), genel amaçlı fırın (GPF) karbon siyahı ile hazırlanmış bütül kauçuğun elektriksel özelliklerini 30-120 °C sıcaklık aralığında incelemişler ve sıcaklık aralığına bağlı olarak düşük sıcaklık aralıklarında atlamalı iletim mekanizması, yüksek sıcaklık aralığında ise taşıyıcı termal aktivasyon mekanizmaları olduğunu göstermişlerdir. Radhakrishnan vd. (Radhakrishnan et al., 2007), Stiren bütadien kauçuk (SBR)/poli (etilen-ko-vinil asetat) (EVA) karışımlarının karışım oranı, çapraz bağlanma sistemleri ve uyumluluğun termal davranış ve faz geçişi üzerindeki etkilerini TermoGravimetri (TG) ve Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi (DSC) ile analiz etmişler, herhangi bir sıcaklıkta karışımların kütle kaybının, bileşenlerinkinden daha düşük olduğunu ve uyumlaştırıcı ilavesinin de termal kararlılığı iyileştirdiği bulmuşlardır. Literatürde nanoboyutlu dolgu tipleri ile hazırlanan polimer esaslı karışımların termal özellikleri ile ilgili dolgu malzemesinin özelliklerine bağlı olarak yapılmış çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak kordon takviyeli kauçuk kompozitlerin ısı transfer özelliklerine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yang vd. (Yang et al., 2019), Silikon Kauçuk (SR)/ dikey hizalanmış Bor Nitrür (BN) kompozitleri hazırlamış ve kompozitlerin ısı iletkenlikleri sistematik olarak incelenmişlerdir. Termal iletken ve elektriksel

yalıtım alanında, yüksek düzlemsel termal iletkenliğe sahip malzemelerin potansiyel olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Karbon nanotüp gibi karbon allotroplarında sahip oldukları iletkenliği ve ısı depolama kapasitesi ile sayesinde kauçuk kompozit karışımlarında kullanılmaktadır (Poikelispää et al., 2021).

Kauçuk kompozitlerinin yanında polimer esaslı nanokompozitlerinde termal iletkenlik özellikleri hedeflenen yoğunluğa ve özgül ısı kapasitelerine ulaşmak için nanokompozit bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır (Ghoreishy et al., 2016).

Katı malzemelerin ısı transfer özelliklerinin belirlenmesi için en sık kullanılan yöntemler, Flaş Yayılma Yöntemi ile termal yayılımın ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile özgül ısı kapasitesinin ölçülmesi ve son olarak bu ölçülen miktarlar kullanılarak termal iletkenliğin hesaplanması olarak görülmektedir (Kerschbaumer et al., 2019).

Çalışmamız kapsamında hazırlanan kord bezi takviyeli kauçuk karışımların termal özelliklerinin tespit edilmesi nanodolgu kauçuk karışımlardaki gibi mümkün olmamaktadır. Kord takviyeli kauçuk karışımlarının sahip olduğu malzeme karakteristikleri sebebiyle özel ölçüm sistemleri hazırlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Numune Hazırlama

Genel olarak, kord bezi ile güçlendirilmiş kauçuk kompozitlerin katlar arasındaki dizilimleri heterojen ve anizotropiktir.

Hava süspansiyon körüklerinin lastik kısmını oluşturan kauçuk reçetesi; matris olarak doğal ve sentetik kauçuk (SMR20, CBR1203), dolgu maddesi olarak karbon siyahı (FEF N550), kimyasal grubu olarak çinko oksit, stearik asit, ozon vaks, TMO ve IPPD, pişirici grubu olarak S80 ve CBS ile birlikte parafinik yağdan oluşan ve yüz birim kauçuğa (phr) denk gelecek şekilde gerçek çalışma koşullarında kapalı bir karıştırıcıda birleştirilerek hazırlanmıştır.

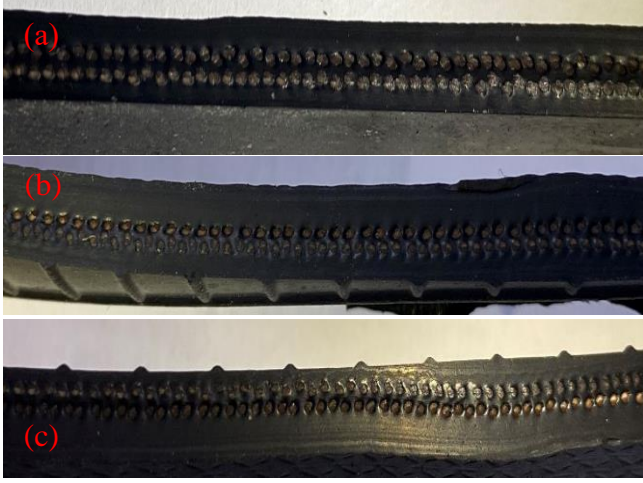
Takviye malzemesi olarak kullanılan kord ipleri üç farklı tipte seçilmiş olup PA 6.6 malzemenin imal edilmiştir ve Kordsa'dan (Kocaeli, Türkiye) temin edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan KT-1 (940x1-140), KT-2 (940x2-150) ve KT-3 (1400x2-120) olarak isimlendirilen üç farklı kord ipeine ait teknik özellikler tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Takviye malzemesi olarak kullanılan kord iplerinin teknik özellikleri (Table 1. Technical properties of cord fabrics used as reinforcement material)

Parametre	Birim	Kord Tipi		
		KT-1	KT-2	KT-3
Büküm sayısı	tpm	190	350	300
Çözgü sayısı	1/dm	140	150	120
Atkı sayısı	1/dm	8	6	6
Metrekare ağırlığı	g/m ²	135	315	400
Kord kalınlığı	mm	0.37	0.58	0.68
Kısalma yüzdesi	%	3.7	3.3	3.5
Atkı malzemesi		PA 20/1	PA 20/1	PA 20/1

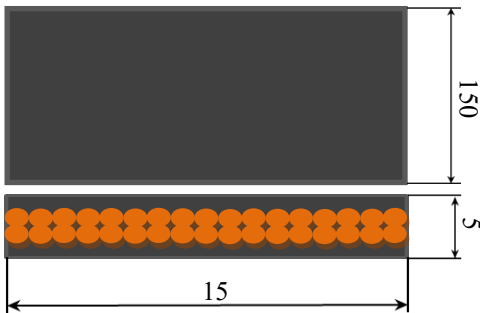
Kord bezleri ve kauçuk karışımı, üç toplu kauçuk kaplama kalenderinde kaplanarak üretime hazır hale getirilmiştir. Kauçuk karışımlarının güçlendirilmesinde kullanılan kord ipleri, klasik olarak üretilen fiber takviyeli kompozit malzemelerin takviyesine kıyasla nispeten daha büyük boyutlara sahip oldukları için deneysel yöntemlerin (kalorimetrik ölçüm, ısı yayılım ölçümü vs.) çoğunun uygulanma olasılığı sınırlıdır (Juma et al., 2000). Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan kord iplerinin kauçuk ile vulkanize edilmiş haline ait görüntüler şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hava süspansiyon körükleri kauçuk kompozit kesit görüntüleri, (a) KT-3, (b) KT-2, (c) KT-1 (Figure 1. Rubber composite section images of air bellows, (a) KT-3, (b) KT-2, (c) KT-1)

KT-3 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN01) toplam ağırlığının %37±2'si kord ipi, %63±2'si kauçuk hamuru, KT-2 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN02) toplam ağırlığının %29±2'si kord ipi, %71±2'si kauçuk hamuru ve KT-1 kord ipi kullanılarak üretilmiş kauçuk kompozit numunenin (KN03) toplam ağırlığının %18±2'si kord ipi, %82±2'si kauçuk hamurundan oluşmaktadır. Ayrıca sadece kauçuk hamurundan bir numune (KN00) hazırlanarak matris malzemenin termal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada uyguladığımız yöntemler ile ısı yayılımı ve ısı iletkenliği belirlerken, numuneden geçen ısı transferi tek boyutlu olup bu durum ancak numunenin yeterli büyüklükte iki boyuta sahip olması durumunda kabul edilebilmektedir. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılımını ve termal iletkenliğini belirlemek için kullanılan numunelere ait boyutsal özellikler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Test numuneleri boyutsal gösterimi (Figure 2. Dimensional representation of test specimens)

Testlerde kullanılan numune plakaları vulkanize edilmiş hava süspansiyon körüklerine ait lastik kısımdan kesit alınarak çıkarılmıştır. Bu durum hem ürün parça imalat planı hem de kord ipi düzeni açısından gerçek ürün özelliklerini yansıtmaktadır.

2.2. Termal Yayılım Ölçümleri

Takviye malzemesi olarak nispeten büyük boyutlara sahip kord ipi takviyeli kauçuk kompozitlerinin termal yayılımını belirlemek için özel bir test düzeneği hazırlanmıştır. Numunelerin termal yayılımının belirlenebilmesi için yüzey sıcaklıkları doğrusal bir şekilde artırılmıştır. Numune malzemelerin ısı transfer özellikleri, deneysel düzeneğinin başlangıç ve sınır koşullarını da göz önüne alan bir diferansiyel denklem takımının çözümü ile elde edilmiştir.

Termal yayılım için uygulanan test prosedürü ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Hazırlanan numune plakalarının her biri 40 ton kapasiteli bir laboratuvar presinde özel olarak tasarlanan sıcaklık ölçüm problemlerinin yerleştirildiği tablolar arasında sıkıştırılmıştır. Plakaların sıkıştırma basıncı tüm numuneler için sabit 150 bar olarak ayarlanmıştır. Plakalar arasında bulunan numuneler öncelikle belirli bir başlangıç sıcaklığına ısıtılmıştır. Alt ve üst plakanın sıcaklığı, numunelerin merkezindeki sıcaklık ve numune yüzey sıcaklık ölçümleri tüm test boyunca ölçülebilmekte ve plakaların sıcaklık artış hızı ayarlanabilmektedir. Test başladığı andan itibaren numuneler ve test düzeneğindeki tüm sıcaklıklar data logger vasıtasıyla kayıt altına alınarak farklı sıcaklıklardaki termal yayılım değerleri, zamana göre değişen sınır koşulları için tek boyutlu geçici ısı iletimi denkleminin bilgisayar ortamında Labview ile hazırlanan program çözümü ile hesaplanmıştır.

Doğrusal bir şekilde yüzey sıcaklıklarının artışını ifade eden ısı iletimi denklem 1 ile gösterilmiştir.

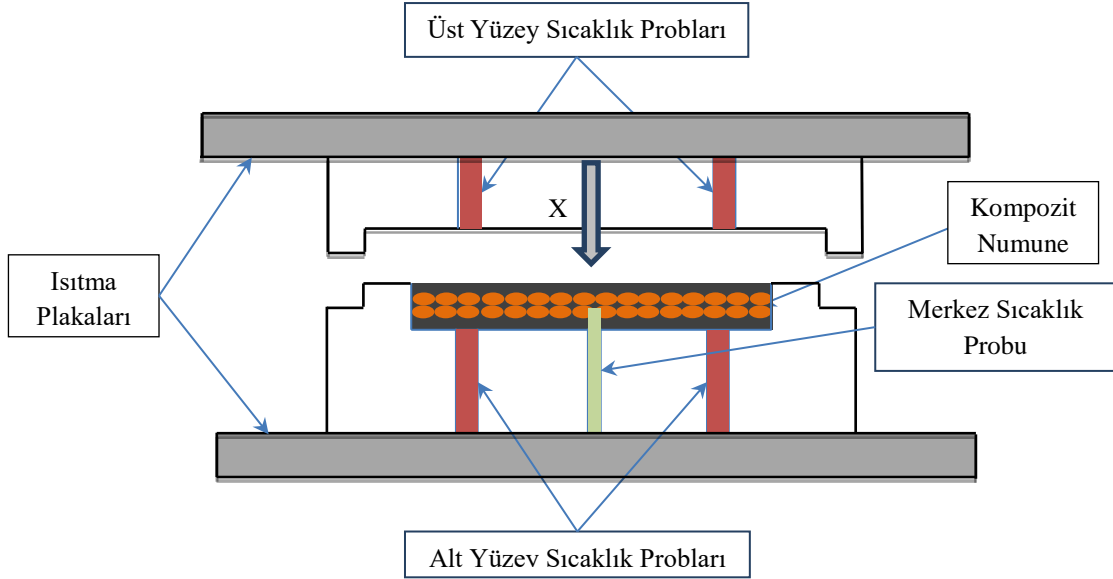
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = a_x \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Denklem 2 de gösterilen a_x ısıtma yüzeyine ve numune yüzeyine dik doğrultudaki termal yayılım olarak tariflenir.

$$a_x = \frac{\lambda_x}{\rho c_p} \quad (2)$$

Burada T sıcaklık, t zaman, ρ yoğunluk, c_p özgül ısı kapasitesi ve λ_x ısıtma yüzeyine ve numune yüzeyine dik doğrultudaki termal iletkenlik olarak tanımlanır (Juma et al., 2000; Zhmakin, 2021; Bafmec et al., 1999).

Termal yayılımın hesaplanan değeri, numune merkezinde ve numunenin yüzeyinde ölçülen sıcaklık arasındaki farkın değerine bağlıdır. Bu sıcaklıklar, ± 0.001 hata ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri için Keithley 2000 dijital multimetrenin ilgili fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sürekli kayıt alınmıştır. Aynı şekilde, ısıtma plakalarının sıcaklıkları da aynı hassasiyetle kontrol edilmiştir. Numune merkezindeki ve numunenin yüzeyindeki sıcaklık sensörleri arasındaki mesafe değişmeyecek şekilde rijit bir konstrüksiyon sağlanmış ve mesafeler arasındaki tolerans değeri ± 0.01 mm'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Test plakalarının yüzeyleri taşlanmış Ra=0.4 µm, Rz=2 µm ve Rmax=5 µm değerlerinde ve 0.3 mm değerinde düzlemsel olacak şekilde imal edilmiştir.



Şekil 3. Test ekipmanı şematik gösterimi (Figure 3. Schematic illustration of test equipment)

Ayrıca 150x150x5 mm ölçülerindeki kauçuk kompozit numunelerinin tam olarak yüzeyel oturacağı ve etrafından izole edilerek bir kanal açılmıştır. Kauçuk kompozit plakaların yanlara doğru ısı geçişini engellemek için izolasyon plakası yerleştirilmiş olup ısı dikey yönde (x) ilerlemektedir. Şekil 3 de kauçuk kompozit numunelerin oturduğu ve sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı test düzeneği şematik olarak gösterilmiştir.

Deneyin başlangıç ve sınır şartları, denklem 3, 4 ve 5 de gösterildiği şekildedir:

$$T(x, 0) = f(x), 0 < x < k, t = 0 \quad (3)$$

$$T(0, t) = f(t) = s_0 + s_1 t, x = 0, t > 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, x = k, t > 0 \quad (5)$$

Burada k kauçuk kompozit plakaların kalınlığının yarısı, s_0 ve s_1 ekipman kaynaklı hata düzeltme sabitleridir. Denklem 1 ile ifade edilen ısı iletimi sayısal yöntemler ile çözülmüş olup termal yayılım değerleri Labview ile hazırlanan program vasıtasıyla çözülmüştür.

2.3. Termal İletkenlik Ölçümleri

Termal iletkenlik, Fourier ısı iletimi yasasına dayalı olarak kararlı durum yöntemiyle ölçülmüştür (Zhmakin, 2021; Bafmec et al., 1999).

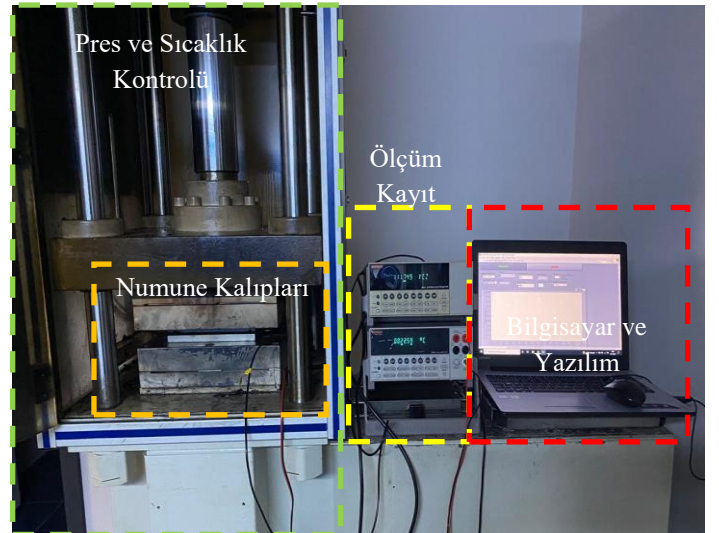
$$q_x = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$

Denklem 6 ile gösterilen, q_x ısı akısı yani x eksenini yönüne dik olan yüzey boyunca birim alan başına ısı iletim hızıdır ve λ_x aynı yöndeki termal iletkenliktir. Kalınlığı k_c olan düz bir levha için birim alan başına kararlı hal ısı akısı oranı denklem 7 ile hesaplanabilir:

$$q_x = \lambda_x \frac{T_{p1} - T_{p0}}{k_c} \quad (7)$$

Burada T_{p0} ve T_{p1} , alt ve üst plakaların sıcaklıklarıdır.

Şekil 4'de, kauçuk kompozit numunelerinin termal iletkenliğini ölçmek için hazırlanan deney düzeneği gösterilmiştir. Pres tüm numuneleri aynı basınçta tutacak şekilde ayarlanmıştır. Hidrolik sistemden dolayı meydana gelecek basınç kayıpları 5 barın altına düştüğü anda hidrolik sistem üzerindeki tazeleme valfi ile tekrar basınç istenen değere getirilmektedir. Böylece pres sıkıştırma basıncı her zaman sabit kalmaktadır. Isıtıcı plakaların sıcaklığı, özel olarak hazırlanan otomasyon yazılımı ve oransal-integral-türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemiyle kontrol edilmiştir. Kompozit numunelerin yüzey ve merkez sıcaklıkları, kalıp set takımı üzerindeki sıcaklık sensörleri ile ölçülerek, Testo 175 T2 (Almanya) marka bir data logger ve bilgisayar yazılımı ile kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. Termal iletkenlik ölçümü deney düzeneği (Figure 4. Thermal conductivity measurement experimental setup)

Isı iletiminin tek boyutlu olacağı kabulü ile x yönündeki ısı iletkenliği (λ_x) aşağıda verilen denklem 8 ile hesaplanabilir:

$$\lambda_x = \lambda_{ti} \left(\frac{k_c}{k_{cs}} \right) \cdot \left(\frac{T_{1s} - T_m}{T_m - T_{2s}} \right) \quad (8)$$

Burada, λ_{ti} standart malzemenin ısı iletkenliği, k_c kompozit numunenin kalınlığı, k_{cs} plaka kalınlığı, T_{1s} plaka yüzey sıcaklığı, T_{2s} numune yüzey sıcaklığı, T_m numune ile plaka malzemesi arasındaki sıcaklıktır.

Kauçuk kompozit numunelerin yoğunlukları AND GR-200 (Japonya) hassas terazisinde Arşimed Prensibine göre belirlenmiştir. Her numuneden beş farklı ölçüm alınarak ortalamaları kayıt edilmiştir. Özgül ısı değerleri denklem 2 ile hesaplanmıştır.

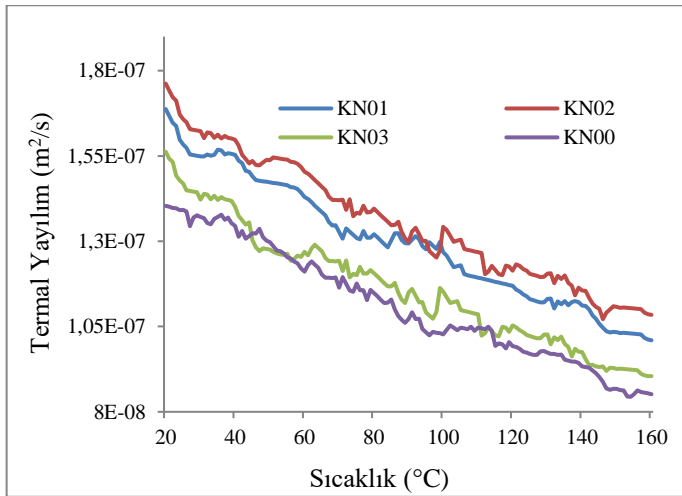
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Hava süspansiyon köruklerinde kullanılan üç farklı tip kord bezi ile hazırlanmış kauçuk kompozitler için fiber yönüne dik termal yayılım, fiber yönüne dik termal iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı değerleri laboratuvar ortam şartlarında ölçülmüştür. Numunelere ait lif yönüne dik ölçülen termal özellikler tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin lif yönüne dik ölçülen termal özellikleri (Table 2. Thermal properties of cord fabric reinforced rubber composites measured perpendicular to the fiber direction)

Numune Tanımı	Termal Yayılım a_x m^2/s	Termal İletkenlik λ_x $W/m.K$	Özgül Isı Kapasitesi c_p $kJ/kg.K$	Yoğunluk ρ kg/m^3
KN00	1.40E-07	0.224	1.53	1192.6
KN01	1.69E-07	0.326	2.23	1101.6
KN02	1.70E-07	0.324	2.19	1117.8
KN03	1.56E-07	0.269	1.95	1183.7

Termal yayılım özellikleri 20-160 °C sıcaklıkları arasında 150x150x5 mm boyutlarındaki kauçuk plakalar üzerinden belirlenmiştir. Kauçuk kompozitlerinin termal yayılımının sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. Üç farklı kord ipi tipiyle hazırlanan kauçuk kompozitlere ait sıcaklığa bağlı termal yayılım davranışı şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kord takviyeli kauçuk kompozitlerin (lif yönüne dik) sıcaklık-termal yayılım değişimi (Figure 5. Temperature-thermal dissipation variation of cord-reinforced rubber composites (perpendicular to fiber d,rect,on))

Yapılan çalışmada kauçuk kompozitlerin matris malzemesine ait bileşim reçetesi değiştirilmeden, takviye malzemesi olarak kord ipi çeşitleri değiştirilmiştir. Kord iplerinin kalınlığına bağlı olarak her bir numune içeriğindeki matris malzeme ağırlığı değişmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan fiber yönüne dik olarak değişen termal özellikler kord bezinin özelliklerinden etkilenmiştir. Kord ipi kalınlığı 0.68 mm olan KN01 numunesinin, kord ipi kalınlığı 0.58 mm ve 0.37 mm olan KN02 ve KN03 numunelerine göre daha yüksek termal yayılım ve termal iletkenlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel sebeplerinden biri karışım reçetesi içerisindeki polimer ve karbon siyahı dolgusunun miktarıdır. Kauçuk kompozit karışımlarının termal yayılım ve termal iletkenliği, karışımda kullanılan polimer miktarı arttıkça azalmakta, dolgu malzemesi olarak kullanılan karbon siyahı (FEF N 550) arttıkça da artmaktadır (Bafmec et al., 1999; Danilova-Tret'yak, 2016; Kutcherov et al., 1992).

Kord ipi tipi haricinde bu çalışmada polimer miktarı, tipi ve dolgu miktarı sabit tutulduğu için birim hacim başına düşen kauçuk karışımı değişmektedir. KN01 numunesi içerisinde kullanılan matris malzeme miktarına göre KN02 ve KN03 de sırasıyla %12.7 ve %30.16 oranında artış göstermiştir. Birim hacimdeki polimer miktarı KN03 de daha fazla olduğu için termal yayılım ve termal iletkenlik değerleri diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Ayrıca KN03 numunesinde kullanılan KT-1 tipi kord ipinin büküm sayısının diğerlerinden daha az olması da termal yayılım ve termal iletkenlik değerini etkilemektedir. Büküm sayısı 190 olan bu kord ipinin dm'deki çözgü sayısına bağlı olarak birbirleriyle düzensiz bir şekilde etkileşime girmesi ve lifler arasında bir miktar havanın tutulmasını sağlamaktadır. Büküm sayısı kauçuk kompozit numuneleri içerisindeki sıkışan hava miktarını etkileyebilmektedir (Siddiqui et al., 2013). Böylece lifler arasında sıkışan hava ısı temas direncini artırarak lif dizilim yönüne dik etkin ısı iletkenliği azalmaktadır.

Bu çalışmada ayrıca kompozit numunelerde lif yönüne paralel termal özellikler de belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin lif yönüne paralel ölçülen termal özellikleri (Table 3. Thermal properties of cord fabric reinforced rubber composites measured parallel to the fiber direction)

Numune Tanımı	Termal Yayılım a_x m^2/s	Termal İletkenlik λ_x $W/m.K$	Özgül Isı Kapasitesi c_p $kJ/kg.K$	Yoğunluk ρ kg/m^3
KN01	3.06E-07	0.590	2.23	1101.6
KN02	3.18E-07	0.600	2.19	1117.8
KN03	2.19E-07	0.379	1.95	1183.7

Fiber yönüne paralel kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerlerinin fibere dik yöne göre çok daha yüksek ve matris malzemeye karşılık gelen değerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Fiber yönüne paralel olarak termal yayılım değerinin hazırlanan kauçuk kompozitlerini oluşturan bileşenlerin kendi bağımsız değerlerinden farklı olarak maksimum değere ulaştığı, fiber yönüne dik ısı iletiminde ise kord bezi katmanının bir termal bariyer olarak direnç oluşturduğu görülmüştür.

Isı iletimi, matris malzemesinin özellikleri ile sınırlı olup ısıl iletkenlik değeri, matrisin iletkenliğine yaklaşmaktadır (Juma et al., 2006; Abu-Zeid et al., 1986; Kim et al., 1988).

4. Sonuç

Takviye malzemesi olarak kullanılan kord ipinin tipi ve özellikleri, kord takviyeli kauçuk kompozitlerin termal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin termal yayılım değerleri sıcaklıkla azalmaktadır.
- Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan ve bu üç tip kord bezi ile hazırlanan kauçuk kompozit numunelerinin çalışma durumunda oluşan fiber yönüne dik meydana gelen ısının iletim hızı, kauçuk matris özellikleri ile sınırlıdır.
- Hazırlanan kauçuk kompozitin termal özellikleri matris malzemesinin özelliklerine yaklaşmıştır.
- Kauçuk kompozit karışımlarının termal yayılım ve termal iletkenliği, karışımda kullanılan polimer miktarının artması ile azalmakta, dolgu malzemesi olarak kullanılan karbon siyahı (FEF N 550) artmasına bağlı olarak da artmaktadır.
- Kord ipi tipi haricinde kauçuk kompozit karışımlarında kullanılan elastomer miktarı ve tipinin değiştirilmesiyle termal özellikler de değişmektedir.
- Kord iplerinin kalınlığına bağlı olarak her bir numune içeriğindeki matris malzeme ağırlığı değişmiş buna bağlı olarak da termal özellikler değişmiştir. KN01 numunesinin termal yayılım ve iletkenlik değeri KN02 ve KN03 numunelerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Takviye malzemesi olarak kullanılan kord iplerinin büküm sayısı da termal özellikleri etkilemektedir.
- Büküm sayısı kauçuk kompozit numuneleri içerisindeki sıkışan hava miktarını etkileyerek, lifler arasında sıkışan hava ile ısıl temas direncini arttırmakta ve lif dizilim yönüne dik etkin ısı iletkenliğini azalmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma için gerekli olan kompozit numunelerinin temini ve test ekipmanlarının kullanımını sağlayan Pega Otomotiv ve Ar-ge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.

References

Abu-Zeid, M. E., Youssef, Y. A., & Abdul-Rasoul, F. A. (1986). Thermal degradation of butadiene-styrene-based rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 31(6), 1575–1583. doi: 10.1002/app.1986.070310604

Alzamil, M. A., Alfaramawi, K., Abboudy, S., & Abulnasr, L. (2018). Temperature Coefficients of Electrical Conductivity and Conduction Mechanisms in Butyl Rubber-Carbon Black Composites. *Journal of Electronic Materials*, 47, 1665–1672. doi: 10.1007/s11664-017-5990-y

Bafnec, M., Juma, M., Toman, J., Jurčiová, J., & Kučma, A. (1999). Thermal diffusivity of rubber compounds. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 28(10), 482–486. doi: 10.1179/146580199101540051

Choi, S. S., & Kim, O. B. (2013). Influence of rubber and fabric cord on deformation of a fabric cord-inserted rubber composite by thermal aging. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(2), 650-654. doi: 10.1016/j.jiec.2012.09.016

Danilova-Tret'yak, S. M. (2016). On Thermophysical Properties of Rubbers and Their Components. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 89(6), 1388–1393. doi: 10.1007/s10891-016-1506-5

Ghoreishy, M. H. R., Naderi, G., & Pahlavan, M. (2016). An investigation into the thermal transport properties of PP/EPDM/clay nanocomposites using a new combined experimental/numerical method. *Plastics, Rubber and Composites*, 45(5), 229-237. doi: 10.1080/14658011.2016.1172146

Juma, M., & Bafnec, M. (2000). Method of measuring thermal diffusivity of composites with thick fillers and reinforced rubbers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 19(13), 1024–1030. doi: 10.1106/3UG4-918L-WKMY-TRAA

Juma, M., & Bafnec, M. (2006). Heat transfer properties of cord-reinforced rubber composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(18), 1967–1975. doi: 10.1177/0731684406069924

Kerschbaumer, R. C., Stieger, S., Gschwandl, M., Hutterer, T., Fasching, M., Lechner, B., Meinhart, L., Hildenbrandt, J., Schrittmesser, B., Fuchs, P. F., Berger, G. R., & Friesenbichler, W. (2019). Comparison of steady-state and transient thermal conductivity testing methods using different industrial rubber compounds. *Polymer Testing*, 80, 106-121. doi: 10.1016/j.polymertesting.2019.106121

Kim, W. N., & Burn, C. M. (1988). Thermal behavior, morphology, and some melt properties of blends of polycarbonate with poly(styrene-co-acrylonitrile) and poly(acrylonitrile-butadiene-styrene). *Polymer Engineering & Science*, 28(17), 1115–1125. doi: 10.1002/pen.760281706

Kutcherov, V., Håkansson, B., Ross, R. G., & Bäckström, G. (1992). Experimental test of theories for the effective thermal conductivity of a dispersed composite. *Journal of Applied Physics*, 71(4), 1732–1736. doi: 10.1063/1.351205

Mani, N. K., Berzins, M. A., & Turner, J. L. (2009). Laboratory Measurement of Tire Flatspot. *Tire Science and Technology*, 37(4), 279–301. doi: 10.2346/1.3251344

Nasr, G. M., Badawy, M. M., Gwaily, S. E., Shash, N. M., & Hassan, H. H. (1995). Thermophysical properties of butyl rubber loaded with different types of carbon black. *Polymer Degradation and Stability*, 48(2), 237-241. doi: 10.1016/0141-3910(95)00056-R

Poikelispää, M., Honkanen, M., Vippola, M., & Sarlin, E. (2021). Effect of carbon nanotubes and nanodiamonds on the heat storage ability of natural rubber composites. *Journal of Elastomers & Plastics*, 53(4), 311-322. doi: 10.1177/0095244320933977

Radhakrishnan, C. K., Sujith, A., & Unnikrishnan, G. (2007). Thermal behaviour of styrene butadiene rubber/poly(ethylene-co-vinyl acetate) blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 90, 191–199. doi: 10.1007/s10973-006-7559-5

Siddiqui, M. O. R., & Sun, D. (2013). Finite element analysis of thermal conductivity and thermal resistance behaviour of woven fabric. *Computational Materials Science*, 75, 45–51. doi: 10.1016/j.commatsci.2013.04.003

- Yang, X., Xiaofei, L., Haosheng, W., Feng, Z., Donghai, Z., & Yunfa, C. (2019). Improvement in thermal conductivity of through-plane aligned boron nitride/silicone rubber composites. *Materials & Design*, *165*, 107580. doi: 10.1016/j.matdes.2018
- Zhmakin, A. I. (2021). Heat Conduction Beyond the Fourier Law. *Technical Physics*, *66*, 1-22. doi: 10.1134/S1063784221010242