



---

**Makale / Research Paper**

---

## Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi

Akın Burak ETEMOĞLU<sup>1</sup>, Nagihan ETEMOĞLU<sup>1</sup>, Burak TÜRKAN\*<sup>2</sup>, Ahmet Serhan CANBOLAT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059  
Bursa / TÜRKİYE

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 69000  
Bayburt / TÜRKİYE

aetem@uludag.edu.tr, etemoglu@uludag.edu.tr, burakturkan@bayburt.edu.tr, ascanbolat@uludag.edu.tr

**Received/Geliş:** 25.02.2018

**Revised/Düzeltilme:** 26.03.2018

**Accepted/Kabul:** 19.04.2018

**Öz :** Araçlarda yapılan ani fren sonucunda disk balata sistemlerinde ısınma ortaya çıkmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklara ulaşıldığı zaman balata malzemesinde aşınma meydana gelebilir. Bu durum fren performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, disk balata sistemi Comsol programında üç boyutlu olarak modellenmiş ve zamana bağlı nümerik simülasyonlar yapılmıştır. Ani fren yapıldığı andaki disk balata ısınma süreci farklı araç hızları için (80, 100 ve 120 km/h) incelenmiştir. Aynı zamanda farklı disk malzemelerinin (dökme demir, paslanmaz çelik, karbon-karbon kompoziti) frenleme sürecindeki sıcaklık artışı belirlenmiştir. Bununla birlikte araç ağırlığının fren sistemi üzerindeki etkisi olup olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak disk ve balata arasındaki sürtünme katsayısının ısınma sürecine etkisi nümerik olarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Disk Fren Sistemi, Termal Analiz, Sıcaklık Dağılımı, Comsol

---

## Parametric Investigation on Thermal Performance of Vehicle Brake Systems

**Abstract:** As a result of the sudden brake in vehicles, heating occurs in the disc brake systems. Especially, when high temperatures are reached, corrosion may occur in the brake pad. This situation affects the brake performance negatively. In this study, disc brake system model was built three-dimensionally in Comsol program and time dependent numerical simulations were made. Disc brake heating when sudden braking is applied was investigated for different vehicle velocities (80, 100 and 120 km/h). At the same time, the temperature increase during the braking process was determined for different disk materials (cast iron, stainless steel, carbon-carbon composites). Also, it has been determined whether the vehicle weight has an effect on the brake system. Finally, the effect of friction coefficient between disc and pad on the heating process was investigated numerically.

**Keywords:** Disc Brake System, Thermal Analysis, Temperature Distribution, Comsol

---

### 1. Giriş

Fren sisteminin amacı hareket halindeki vasıtayı kısa sürede ve güvenli bir şekilde durdurmaaktır. Burada mekanik enerji absorbe edilerek sürtünme yolu ile ısı enerjisine dönüşür ve oluşan ısı ortama yayılır. Fren sisteminde en fazla aşınan kısım balata sistemidir (Şekil 1). Balatalar frenleme sırasında disk ile sıkıştırılarak oluşan sürtünme kuvveti sayesinde aracın kontrollü olarak yavaşlatılması işleminde kullanılır. Özellikle otomotiv sektöründe kullanımı yaygındır. Fren sistemi aşırı ısınır balata üzerindeki sürtünme katsayısı düşer ve balata aşınması oluşur bu durum aracın frenleme performansını olumsuz etkiler. Fren sistemi 327 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda işlevini yitirmeye başlar. Bu yüzden üretim aşamasına geçmeden önce hangi sıcaklık aralığında sağlıklı

*Bu makaleye atf yapmak için*

Etemoğlu, A.B., Etemoğlu, N., Turkan, B., Canbolat, A.S. "Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 556-565.

*How to cite this article*

Etemoğlu, A.B., Etemoğlu, N., Turkan, B., Canbolat, A.S. "Parametric Investigation on Thermal Performance of Vehicle Brake Systems" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 556-565

çalışabileceği tespit edilmelidir. Aynı zamanda aşırı ısınma sonrasında ne kadar sürede konvektif soğuma ile normal sıcaklığına geldiği de incelenmelidir [1-2].



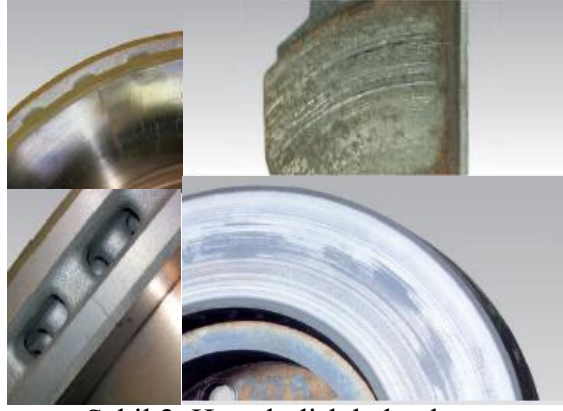
Şekil 1. Disk balata

Balata sisteminde önemli olan, sürtünme katsayısının yüksek olmasının yanında aşırı ısınma durumlarında bu değer sabit kalmasıdır [1]. Fren performansını gösteren en önemli parametre, frenden sonra maksimum yavaşlama ivmesi ile sağlanan durma mesafesidir [3]. Tablo 1’de kuru asfalt yolda bazı hızlar için araçların durma mesafeleri ve fren süreleri verilmiştir.

Tablo 1. Araç hızına bağlı fren mesafesi ve süreleri [4]

Araç hızı (km/h)	Reaksiyon mesafesi (m)	Fren mesafesi (m)	Durma mesafesi (m)	Fren süresi (saniye)
80	16.7	41.9	58.6	3.77
85	17.7	47.4	65.1	4.01
90	18.8	53.1	71.9	4.24
95	19.8	59.1	78.9	4.48
100	20.8	65.5	86.3	4.71
105	21.9	72.2	94.1	4.95
110	22.9	79.3	102.2	5.19
115	24	86.7	110.6	5.42
120	25	94.4	119.4	5.66

Burada hız arttıkça reaksiyon mesafesinin arttığı dolayısı ile durma mesafesinin de buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Fren sürelerinin ise 3.77 ile 5.66 saniye arasında değiştiği söylenebilir. Yapılan bu çalışmada fren süresi 80 km/h ile 100 km/h hızlarda yapılan fren sürelerinin ortalama değeri olan 4 saniye seçilmiştir. Literatürlerde fren balatalarından istenen özellikler yüksek ısı direnci, yüksek ısı iletkenliği, yüksek mukavemet, yüksek sürtünme katsayısı, hava koşullarından olumsuz etkilenmeme, dayanıklı korozyon direnci, sağlığa zararsız malzeme ve düşük ses seviyesi olarak söylenebilir [5]. Yüksek hıza bağlı olarak oluşan aşırı ısınma nedeniyle yüzeyde kazıma lekeleri oluşabilir. Yüksek ısı ve mekanik yüklenmeler sonucunda yoğun ısı çatlakları da gözlenebilir. Bu durum disk balata fren sisteminin ömrünü olumsuz etkilemektedir. Oluşan bu kusurlara ilişkin görseller Şekil 2’de verilmiştir. Bu hasarlar ile karşılaşılması için çalışma şartlarına uyulması önemlidir.



Şekil 2. Hasarlı disk balataları

Aleksandric ve ark. [6], fren diski ile balata arasındaki sürtünme katsayısının, disk sıcaklıklarının 600 °C'yi aşması halinde büyük ölçüde azalacağından dolayı fren verimliliğinin azalacağını ifade etmişlerdir. Floquet ve ark. [7], fren sistemlerinin sıcaklık dağılımını hem nümerik hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Jang ve ark. [8], malzeme içerisindeki liflerin sürtünme performansı üzerine etkisi olup olmadığını incelemişlerdir. Belirli kayma hızı için testlerini gerçekleştirmişlerdir. 3 farklı lif içeren balata malzemesi ve dökme demir disk malzemesi kullanmışlardır. Adamowicz ve Grzes [9], çalışmalarında sürtünmeden kaynaklanan ısınmanın disk ve balata malzemeleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Problemlerini sonlu eleman yazılımını kullanarak çözmüşlerdir. Erdem ve Altıparmak [10], çalışmalarında fren disk sistemindeki sıcaklık artışının fren performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bunun için frenleme performansını incelemek için durma mesafesi testleri yapmışlardır. Hwang ve ark. [11], yaptıkları çalışmada fren balata sisteminde tam fren ve tekrarlı frenleme sırasında ortaya çıkan sıcaklık ve ısıl gerilmeleri incelemişlerdir. Çalışmalarında sonlu eleman metodunu kullanmışlardır. Valvano ve Lee [12], kısa süreli fren sisteminin ısıl davranışını incelemişlerdir. Diskin ulaştığı maksimum sıcaklığın, disk ile balatanın temas ettiği yerde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Mosleh ve ark. [13], frenlenen balatalardaki sürtünme davranışlarını deneysel olarak farklı hızlarda incelemişlerdir.

Bu çalışmada farklı disk malzemelerinin, araç hızlarının ve araç ağırlıklarının 4 saniyelik ani fren süresince disk balata sistemi üzerindeki ısıl performansa etkisi incelenmiştir. Disk balata sistemi 3 boyutlu modellenerek oluşturulan matematik model Cmsol programında nümerik olarak çözülmüştür. Fren süresince farklı hız olarak 80, 100 ve 120 km/h ve farklı disk malzemesi olarak dökme demir, paslanmaz çelik ve karbon-karbon kompoziti malzemeleri kullanılarak sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Balata malzemesi olarak ise seramik metal seçilmiştir. Araç ağırlığının (1000, 1500 ve 2000 kg) fren süresince disk balata sisteminin sıcaklık değişimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Son olarak disk ve balata arasındaki sürtünme katsayısının (0.2, 0.4 ve 0.6) fren sisteminin aşırı ısınması sonucu ortaya çıkan sıcaklık değerleri üzerine etkisi karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Şekil 3'de gösterilen disk ve balata sistemi Cmsol programında modellenerek nümerik analizleri yapılmıştır. Disk yarıçapı 0.14 m ve kalınlığı 0.013 m olarak alınmıştır. Model 5828 adet prizma, 4988 adet üçgen ve 400 adet dörtgen ağ yapısına bölünmüştür. Sonuçların ağ yapısından bağımsız olması için programda kullanılan en uygun ağ yapısı tespit edilmiştir. Bağıl hata değeri 0.01 ve mutlak hata değeri ise 0.0001 alınmıştır. Diferansiyel denklemler lineer olmayan yöntem ile çözülmüştür. Çalışmada kullanılan parametreler ve disk, balata malzemelerinin termofiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Disk malzemesi olarak dökme demir, paslanmaz çelik ve karbon-karbon kompoziti, balata için ise seramik metal malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 2. Modelde kullanılan parametreler ve disk, balata malzemelerinin termofiziksel özellikleri

[14]

Parametre	Değer	Materyal	k (W/mK)	c <sub>p</sub> (J/kgK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
Araç hızı (km/h)	80 – 100 - 120	Dökme demir	54.5	586	7100
Fren süresi (saniye)	4	Paslanmaz çelik	26	500	7750
Sürtünme katsayısı	0.2 - 0.4 - 0.6	Karbon-karbon	40	755	1800
Araç ağırlığı (kg)	1000-1500-2000	kompoziti			
Hava sıcaklığı (°C)	20	Seramik metal	34.3	500.1	4700
Yavaşlama ivmesi (m/s <sup>2</sup> )	5.55 - 6.94 - 8.33				
Işınım yayma katsayısı	0.28 - 0.8				

## 2.1. Matematik Model

Disk yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti eşitlik 1'deki gibi ifade edilir;

$$f = -\frac{mR^2\alpha}{8r_m A} \quad (1)$$

Burada m aracın kütlesi (kg), R tekerleğin yarıçapı (m),  $\alpha$  aracın yavaşlama ivmesi (m/s<sup>2</sup>)  $r_m$  diskin merkezinden balatanın merkezine olan uzaklık (m), A balatanın alanı (m<sup>2</sup>)'dir [15].

Frende oluşan sürtünme etkisi ile diskin merkezinden r uzaklıkta t sürede birim alan başına üretilen ısı miktarı eşitlik 2'de verilmiştir [16].

$$q(r, t) = -fvd(r, t) = \frac{mR^2\alpha}{8r_m A} r(w_0 + at) \quad (2)$$

Burada  $V_d$  diskin hızı (m/s),  $w_0$  açısal hız (m/s) olarak alınmıştır

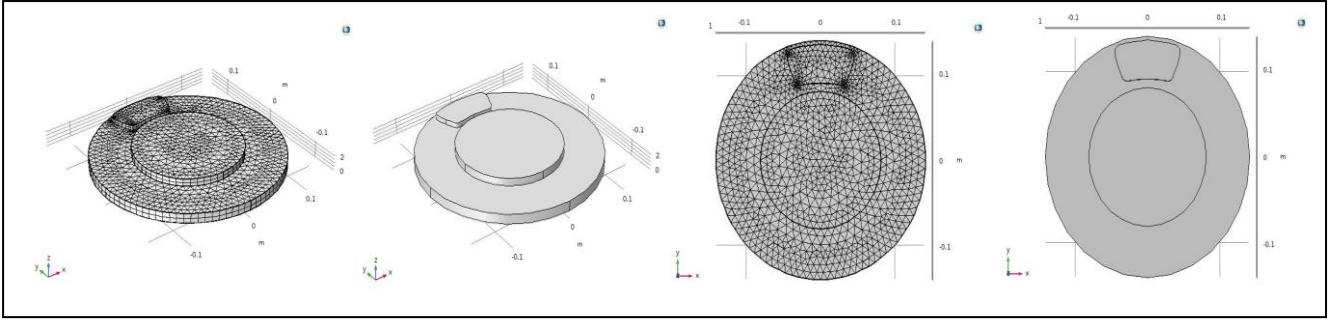
Disk ve balata arasında oluşan sürtünmeden dolayı oluşan ısı miktarı eşitlik 3'de ifade edilmiştir. Üretilen bu ısı disk ve balatanın hava ile temasta olduğu yüzey alanlarından taşınım ve ışınlama ile ortama aktarılır. Ortama geçen ısı miktarı;

$$q_{yay} = -h(T - T_\infty) - \varepsilon\sigma(T^4 - T_\infty^4) \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Burada h ısı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K), T yüzey sıcaklığı (°C),  $T_\infty$  çevre sıcaklığı (°C),  $\varepsilon$  ışınlama katsayısı,  $\sigma$  Stefan Boltzman sabiti  $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup> 'dir. Yapılan model, disk ve balatada oluşan ısı iletimi ile geçici rejimde ısı transfer denklemini içerir [15].

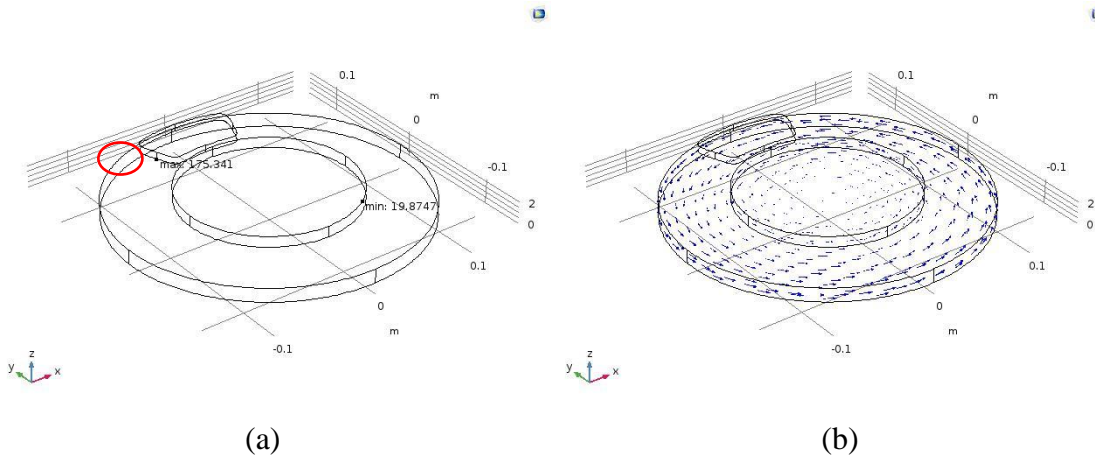
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{q} + \nabla(k\nabla T) \quad (4)$$

Burada k ısı iletim katsayısı (W/mK),  $C_p$  özgül ısı (J/kgK) ve  $\dot{q}$  birim hacim başına üretilen ısı (W/m<sup>3</sup>) miktarıdır, eşitliğin sol tarafında verilen sıcaklık gradyanı zamana göre değişimi, eşitliğin sağ tarafında verilen sıcaklık gradyanı ise konuma göre değişimi göstermektedir. [16].



Şekil 3. Modellenen fren balata sistemi ve ağ yapısı

Analizlerde okunan sıcaklık değeri, aşınmanın en fazla olduğu nokta (Şekil 4.a) referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.b’de ise diskin analizde kullanılan dönme yönü verilmiştir.



Şekil 4. Maksimum sıcaklık değerlerinin okunduğu nokta (a) ve disk dönüş yönü (b)

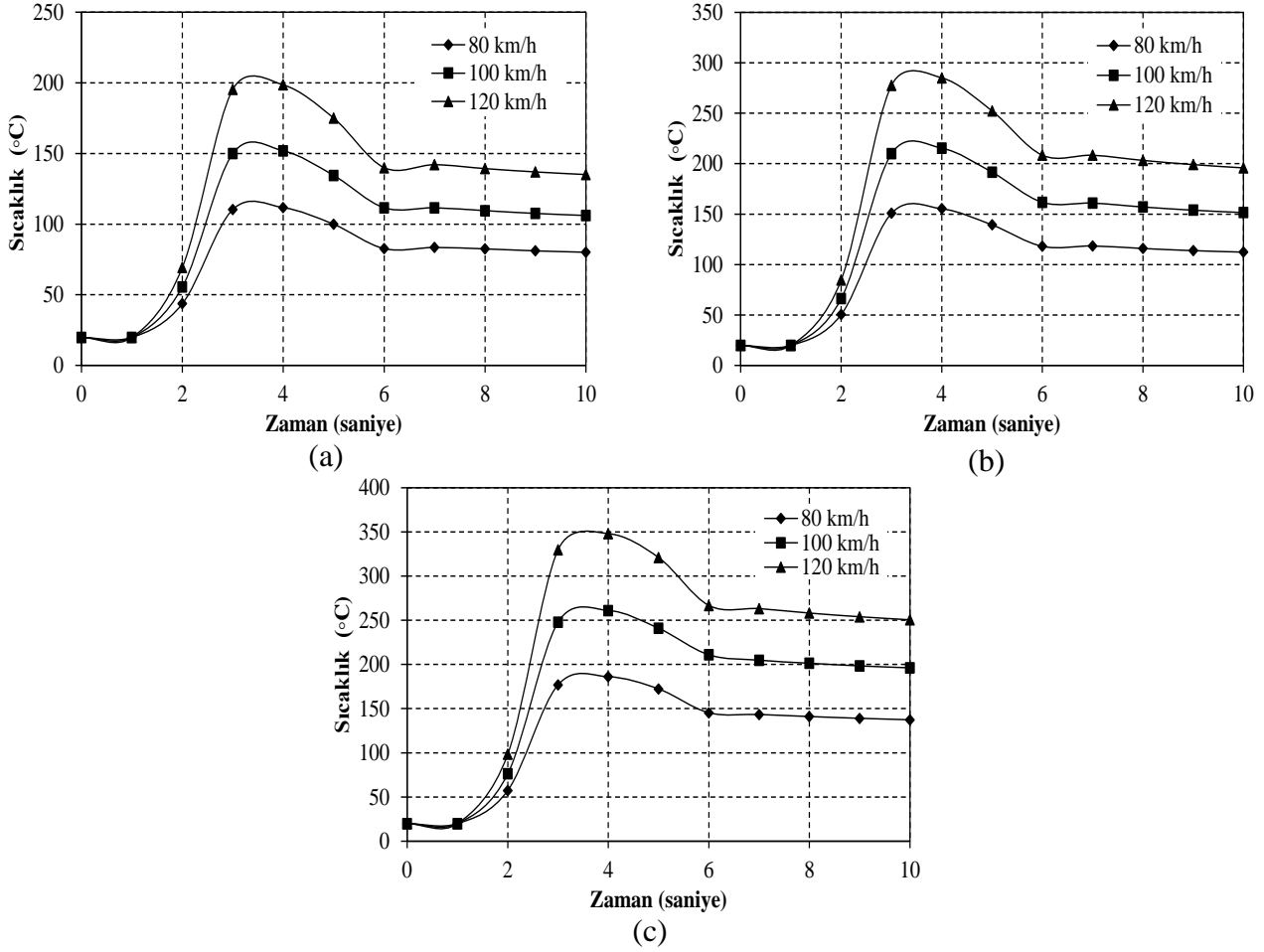
Analiz için yapılan kabuller ise şu şekildedir.

- Disk ve balata malzemesinin termofiziksel özellikleri sabit kabul edildi.
- Sürtünme katsayısının frenleme süresince aynı olduğu varsayıldı.
- Hava sıcaklığının fren süresince sabit olduğu kabul edildi.
- Disk ve balata malzemesinin ısı yama katsayısı sabit kabul edildi.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Öncelikle farklı disk malzemesine sahip fren sistemi modellenmiştir. Daha sonra 3 farklı araç hızı için yapılan 4 saniyelik fren durumu incelenmiştir. Ani fren, araç 2 saniye hareket ettikten sonra yapılmıştır. 4 saniyelik fren süresince ve sonrasındaki 4 saniyelik sürede disk balata sisteminde meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Şekil 5.a’da dökme demir disk malzemesine ait sıcaklık değişim grafiği ve sıcaklık dağılımları verilmiştir. Disk sisteminin farklı hızlarda toplam 4 saniye süren fren süresinin 2. saniyesinde maksimum sıcaklığa ulaştığı görülmektedir. 80, 100 ve 120 km/h hızlarda disk balata sisteminin ulaştığı maksimum sıcaklık değerleri sırası ile 111.71, 151.88 ve 198.54 °C olarak elde edilmiştir. 20 km/h hız artışı ile yaklaşık 40 °C’lik sıcaklık yükselmesi gerçekleşmiştir. Paslanmaz çelik disk malzemesine ait sıcaklık değişim grafikleri ve analiz sonuçları şekil 5.b’de verilmiştir. Dökme demir malzemesinde olduğu gibi yüksek hızlarda yapılan fren ile diskin sıcaklık değerlerinde artış görülmüştür. Frenleme süresinin 2. saniyesinde ulaşılan maksimum sıcaklık değerleri 80, 100 ve 120 km/h hızlar için sırası ile 155.28, 215.32 ve 285.03 °C olarak tespit edilmiştir. Karbon-karbon kompozitli disk malzemesine sahip fren sisteminde ise elde edilen sıcaklık değişimi şekil 5.c’de görülmektedir. Frenleme süresinin 2.

saniyesinde ulaşılan maksimum sıcaklık değerleri 80, 100 ve 120 km/h hızlar için sırası ile 186.15, 261.15 ve 348.13 °C olarak elde edilmiştir. 20 km/h hız artışı ile yaklaşık olarak 80 °C'lik sıcaklık artışı elde edilmiştir.

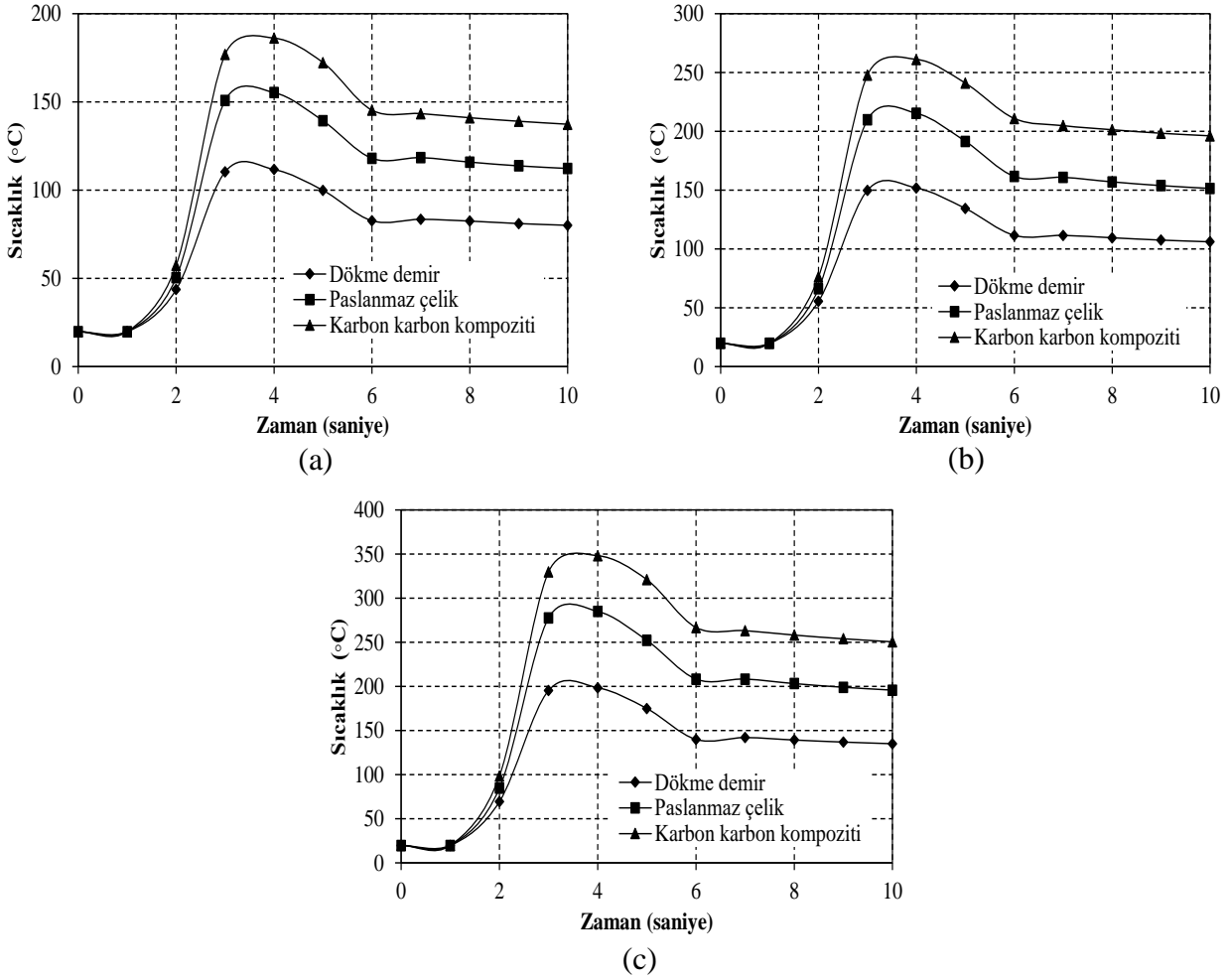


Şekil 5. Her bir disk malzemesinin araç hızına bağlı sıcaklık değişim grafikleri (a- dökme demir b- paslanmaz çelik c- karbon-karbon kompoziti, araç ağırlığı 1500 kg ve sürtünme katsayısı 0.6)

Şekil 6'da farklı disk malzemelerinin her bir araç hızı için elde edilen sıcaklık değişim grafikleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre her bir hız değeri için yapılan fren boyunca karbon-karbon kompozit yapısına sahip disk malzemesinde aşırı ısınma görülmüştür. En yüksek sıcaklık değerine 120 km/h hızda yaklaşık 350 °C ile ulaşılmıştır.

Şekil 7'de farklı araç ağırlıklarına sahip farklı disk malzemelerinin ısınma durumları incelenmiştir. Aracın ağırlığı 500 kg hafifletildiğinde dökme demir, paslanmaz çelik ve karbon-karbon disk malzemesine sahip fren sisteminde elde edilen maksimum sıcaklık değerlerinin sırası ile %17, %17 ve %19 azaldığı tespit edilmiştir.

Araç ağırlığı 1000 kg hafifletildiğinde ise maksimum sıcaklık değerleri %34, %35 ve %39 azalmıştır. 1000 kg araç ağırlığında en düşük sıcaklık değerine (119.81 °C) dökme demir disk malzemesinde ulaşılırken, en yüksek sıcaklık değeri (323.52 °C) 2000 kg araç ağırlığına sahip karbon-karbon disk malzemesinde elde edilmiştir.



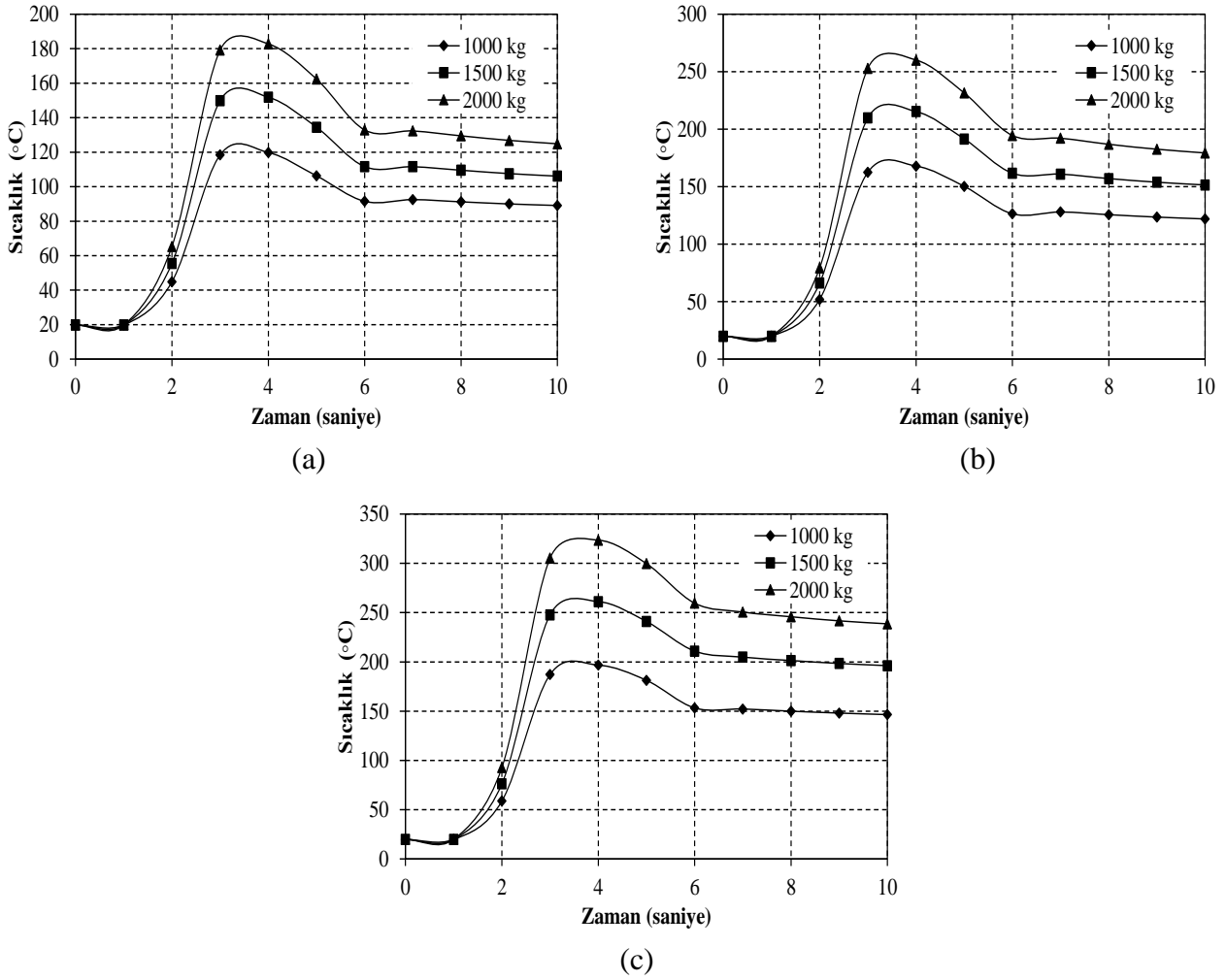
Şekil 6. Farklı araç hızlarının disk malzemeleri ile olan sıcaklık değişim grafikleri (a-80km/h, b-100km/h, c-120km/h, araç ağırlığı 1500 kg ve sürtünme katsayısı 0.6)

Ağırlık artışı her 3 malzemede de sıcaklık artışı ile sonuçlanmıştır. İki yüzey arasında frenleme sırasında meydana gelen sürtünme enerjisi ısı enerjisi şeklinde ortaya çıkmıştır.

Şekil 8’de disk ve balata arasında farklı sürtünme katsayılarının farklı disk malzemeleri üzerindeki etkisine ait sonuç grafikleri verilmiştir. 0.2, 0.4 ve 0.6 sürtünme katsayılarına sahip dökme demir disk fren sisteminde elde edilen maksimum sıcaklık değerleri 124.47, 138.76 ve 151.88 °C, paslanmaz çelik malzemesine sahip disk fren sisteminde elde edilen maksimum sıcaklık değerleri 171.4, 194.7 ve 215.32 °C ve karbon-karbon kompozit malzemeli fren sonuçları ise 223.28, 243.12 ve 261.15 °C olarak elde edilmiştir.

Sürtünme katsayısı arttıkça disk balata arası ısınma miktarı arttığı görülmektedir. En yüksek artış 241.15 °C ile 0.6 sürtünme katsayısına sahip karbon-karbon kompozit disk malzemesinde görülürken, en düşük artışı 104.47 °C ile 0.2 sürtünme katsayısına sahip dökme demir disk malzemesinde tespit edilmiştir.





Şekil 7. Her bir disk malzemesinin farklı araç ağırlıklarındaki sıcaklık değişim grafikleri (a- dökme demir b- paslanmaz çelik c- karbon-karbon kompoziti, sürtünme katsayısı 0.6 ve araç hızı 100 km/h)

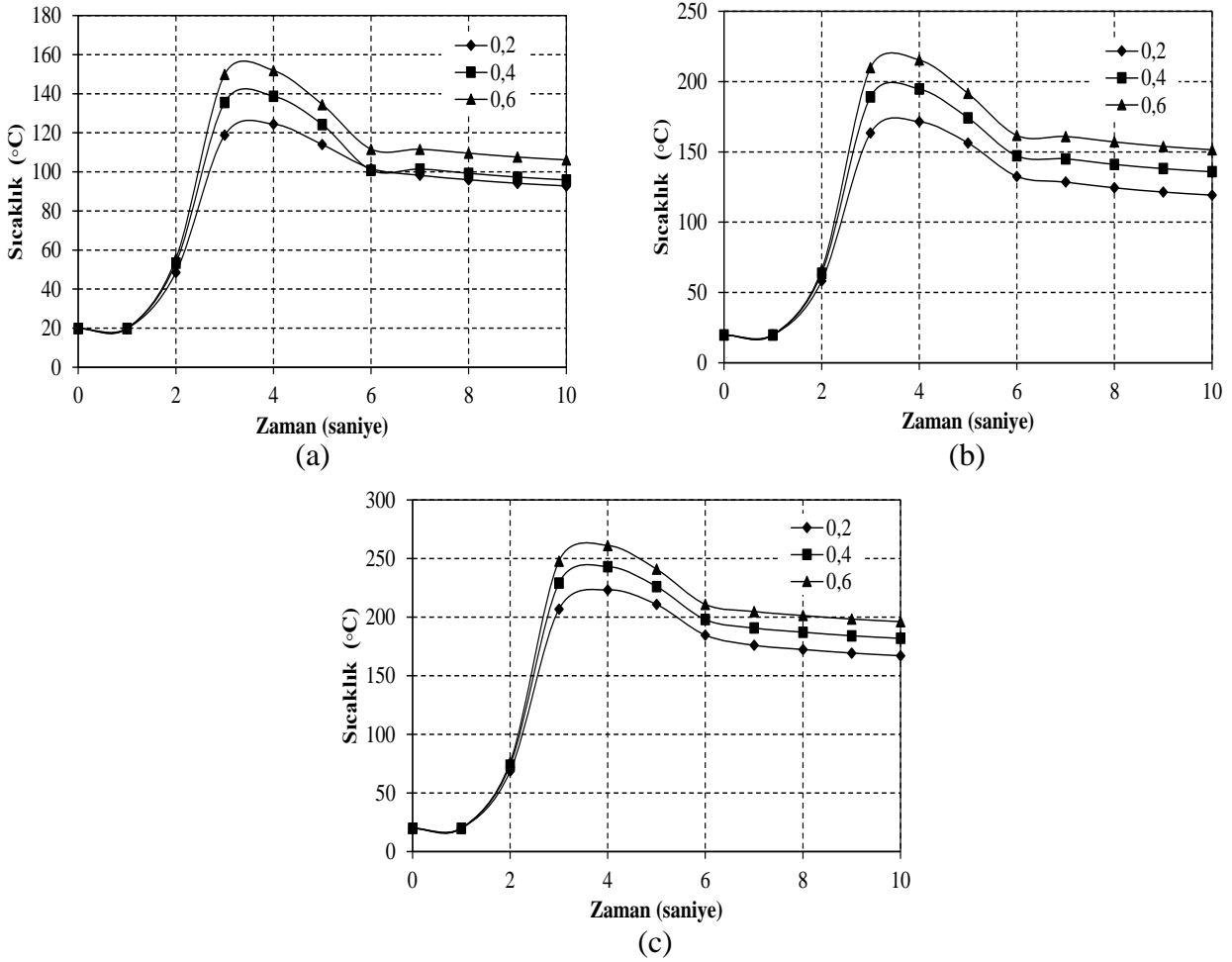
#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada disk balata sistemi üzerinde araç hızının, disk malzemesinin, araç ağırlığının ve sürtünme katsayısının etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Araç seçilen hızda ilerlerken 2 saniye sonra ani fren yapıldığı ve fren süresinin 4 saniye sürdüğü varsayılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde en yüksek sıcaklık değerinin oluştuğu disk balata ara yüzeyindeki referans noktası esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Araç hızındaki artış fren sisteminde aşırı ısınmaya neden olmuştur.
- Araç hafifletilmesinin fren sırasında oluşan ısınma üzerinde ciddi bir etkisi olduğu görülmüştür.
- Analizlerde seçilen sürtünme katsayısı azaldıkça disk balata yüzeyinde daha düşük sıcaklık değerleri oluşmuştur. Disk ve balata arasında sürtünme katsayısı arttıkça aşırı ısınma meydana gelmiştir.
- Frenlen sonraki 4 saniyelik sürede disk balata sisteminde sabit ve yavaş bir soğuma periyodu gerçekleşmiştir.
- Yapılan analizlerde en yüksek sıcaklık değerine (348.13 °C) 120 km/h hızda, 0.6 sürtünme katsayısında karbon-karbon kompozit disk fren malzemesine sahip 1500 kg ağırlığındaki araçta yapılan ani frenlemede ulaşılmıştır. En düşük sıcaklık değeri (111.71°C) 80 km/h



hızda, 0.6 sürtünme katsayısında dökme demir disk malzemesine sahip 1500 kg ağırlığındaki araçta yapılan frenleme sonucunda elde edilmiştir. Fakat parametrik analiz sonuçlarına göre diskteki maksimum sıcaklık değerinin araç hızı, araç ağırlığı ve sürtünme katsayısı arttıkça artacağı görülmektedir.



Şekil 8. Her bir disk malzemesinin farklı sürtünme katsayılarındaki sıcaklık değişim grafikleri (a- dökme demir b-paslanmaz çelik c- karbon-karbon kompoziti, araç ağırlığı 1500 kg ve araç hızı 100 km/h)

- Fren sisteminde ulaşılan yüksek sıcaklıklar üründe gerilmelere ve kusurlara neden olabilir. Bu yüzden disk balata fren sistemi tasarımı yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeler seçilmelidir.
- Yapılan nümerik çalışmalar ile disk fren sistemi üretime geçmeden önce ne kadar sıcaklığa çıkabileceği tespit edilebilir.

Sonuç olarak fren sistemlerinin tasarlanmasında ve sürecin iyileştirilmesinde akademik ve endüstriyel kullanıcılar sonlu eleman yazılım programlarını kullanabilirler. Bu yazılımlar sayesinde deney yapmadan kısa sürede optimum şartlarda ürün elde edilebileceği gibi sürtünme ve gerilme analizleri de yapılarak fren balata sisteminin iyileştirilmesi ve optimizasyonu yapılabilir. Aynı zamanda disk balata malzemelerinin yapısal özellikleri incelenerek yüksek ısıya, sürtünmeye dayanıklı, hafif, ucuz ve farklı bileşimlerde malzemeler elde edilerek disk balata sistemi daha verimli hale getirilebilir.

## Kaynaklar

- [1] Reinsch, E.W., “Sintered Metal Brake Linings For Automotive Applications, Delco-Moraine Division”, cilt 2, General motors corp dayton, Ohio, sayfa 9-21, (1970).
- [2] Sands, R.L., “Sintered Friction Materials”, Powder metallurgy practice and application, cilt 9, George Newnes Ltd, London, sayfa 198-203, 1966.
- [3] Paustenbach, D., Finley, B.L., Lu, E.T., Brorby, G.P., Sheehan, P.J., “Environmental and Occupational Health Hazards Associated with The Presence of Asbestos in Brake Linings And Pads (1900 To Present): A State-Of-The-Art Review”. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 2004, 7:33–110.
- [4] Ulaştırma denizcilik ve haberleşme bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Durma ve intikal süreleri, <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/durmaintikal.aspx>, (2018).
- [5] Chand, N., Hashmi, S.A.R., Lomash, S. and Naik, A., “Development of Asbestos Free Brake Pad”, Vol 85, IE (I) Journal MC, (2004).
- [6] Aleksendric, D., Duboka, C., “Fade Performance Prediction of Automotive Friction Materials by Means of Artificial Neural Networks”, Wear, 2007, 262:778-790.
- [7] Floquet, A., Dubourg, M.C., “Non axis symmetric effects for three dimensional Analyses of a Brake”, ASME J. Tribology, 1994, 116:401-407.
- [8] Jang, H., Ko, K., Kim, S.J., Basch, R.H., Fash, J.W. “The Effect of Metal Fibers on The Friction Performance of Automotive Brake Friction Materials”, Wear, 2004, 256(3-4):406-414.
- [9] Adamowicz, A, Grzes, P., “Three-Dimensional FE Model For Calculation of Temperature of A Thermosensitive Disk”, Applied Thermal Engineering, 2013, 50:572-581.
- [10] Erdem, M., Altıparmak, D., “Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi”, Cilt 29, No 2, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 425-432, (2014).
- [11] Hwang, J.H., Kim, H.S., Choi, Y., Kim, B.S., Kang, K.W., “The Thermal Analysis of Brake Disk with 3-D Coupled Analysis” Vols 297-300, Key Engineering Materials, pp 305-310, (2005).
- [12] Valvano, T., Lee, K., “An Analytical Method to Predict Thermal Distortion of a Brake Rotor”, SAE 2000-01-0445 World Congress Detroit, Michigan March, 6-9, vol. 109, pp. 566-571, (2000).
- [13] Mosleh, M, Blau, P.J., Dumitrescu, D., “Characteristics and Morphology of Wear Particles from Laboratory Testing of Disk Brake Materials”, Wear, 2003,352:114-120.
- [14] Parab, V., Naik, Kunal., and Dhale, A.D. “Structural and Thermal Analysis of Brake Disk”, Volume 2, Issue 2, International Journal of Engineering Development and Research, (2014).
- [15] Comsol Multiphysics 5.3. Heat Transfer Model Library, Heat Transfer Module User’s Guide, (2000).
- [16] Turkan, B., Canbolat, A.S., Can, M., Etemoğlu, A.B. “Numerical Investigation Into The Temperature Distribution On The Disk Brake System”, Volume 3, Issue 1, The Journal of MacroTrends in Technology and Innovation, p.8-20, (2016).