

## Parabolik Sıcaklık Dağılımına Maruz Bir Diskin Isıl Gerilme Analizi

Hüseyin Fırat KAYIRAN <sup>1</sup>

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ <sup>2</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, diskin iç yüzeyinden dış yüzeyine kadar olan bölgede parabolik artan sıcaklık dağılımına maruz iki farklı disk için ısıl gerilme analizi yapılmıştır. Disk-I dökme demir, Disk-II seramik malzemeden oluşmaktadır. İki farklı disk için çözüm yapılmıştır. Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği kabul edilerek diskin radyal yönünde meydana gelen ısıl gerilmeler hesaplanmıştır. Farklı sıcaklık değerleri için seçilmiş parabolik sıcaklık dağılımı uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda sıcaklığın parabolik olarak artmasıyla birlikte radyal ve teğetsel gerilme değerlerinde artışların olduğu gözlenmiştir. Radyal yer değiştirmelerin diskin en iç ve en dış kısmında daima sıfır olduğu, diskin iç kısmına yakın bölgelerinde en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Diskler karşılaştırıldığında, seramik diskte meydana gelen gerilme değerlerinin, dökme demir diskte meydana gelen gerilme değerlerine göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Disk, Isıl Gerilme, Parabolik sıcaklık dağılımı.

## Thermal Stress Analysis of a Disc Subject to Parabolic Temperature Distribution

**Abstract:** In this study, thermal stress analysis was performed for two different discs exposed to parabolic increasing temperature distribution in the region from the inner surface of the disc to the outer surface. Disc-I consists of cast iron, Disc-II ceramic material. Solutions were made for two different disks. It was assumed that the modulus of elasticity did not change with temperature and the thermal stresses in the radial direction of the disc were calculated. The selected parabolic temperature distribution was applied for different temperature values. As a result of this study, it was observed that there was an increase in radial and tangential stress values with parabolic increase in temperature. It has been observed that the radial displacements are always zero in the inner and outer part of the disc, and have the highest value in the regions close to the inner part of the disc. When the discs were compared, it was concluded that the stress values on the ceramic disc were higher than the stress values of the cast iron disc.

**Key Words:** Disc, Thermal Stress, Parabolic temperature distribution.

<sup>1</sup> Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Mersin İl Koordinatörlüğü, huseyinfirat.kayiran@tkdk.gov.tr

<sup>2</sup> Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı, ayseondurucu@sdu.edu.tr

## GİRİŞ<sup>3</sup>

Makine elemanları çalışma esnasında ısındıkları için sıcaklığa dayalı gerilme analizi büyük önem arz eder. Sıcaklık malzeme davranışını önemli ölçüde etkileyen durumlardan biridir. Her malzemenin sıcaklık karşısında gösterdiği eğilimler farklıdır. Sıcaklığın artması veya azalması ile makine parçalarında istenmeyen ölçüde gerilmeler oluşabilir. Bu durumda makine parçasında kalıcı hasarların oluşması olası bir durumdur. Düzensiz soğumadan iç gerilmelerin oluşma ihtimali olduğundan bu durum dikkate alınmıştır. Bu çalışma sıcaklık etkisine maruz bir diskte oluşan termal gerilmelerin belirlenmesi ile ilgilidir. Diskler genelde ağır sanayi olmak üzere, mutfak eşyaları, elektrikli ev aletleri, ışıklandırma sistemleri, güneş enerjisi sistemleri, iş makineleri, vinç, forklift şanzıman ve fren kavrama bronz diskleri, kâğıt balataları ve çelik pleytleri olmak üzere birçok alanda kullanılırlar (Gülgeç ve Türkbaş, 2002). Otomobillerde fren disk malzemeleri olarak dökme demirler kullanılmaktadırlar. Günümüzde disk ve kampana olmak üzere iki çeşit fren sistemi bulunmaktadır. Disk fren sistemi daha çok otomobil ve hafif ticari araçlarda kullanılmaktadır. Dökme demir malzemeler, dövme çelik ve temper dökme demir gibi diğer birçok metal alaşımına göre yüksek dayanım ve tokluk gibi üstün özellikleri sebebiyle günümüzde endüstrinin vazgeçilmez malzemelerinden birisidir (Fatahalla, vd., 1996). Yapılan literatür araştırmasında fren diskleri üzerinde oluşan hasarların büyük bir kısmı frenleme esnasında disk üzerinde oluşan ısı sebebiyle meydana geldiği tespit edilmiştir (Yavuz, vd., 2014). Genel olarak literatürde disklerle ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır İki farklı malzemenin birleşiminden oluşan bimateriyal bir disk için ısıl gerilme analizi bilgisayar programı geliştirilerek analitik olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada, diskler için optimum sıcaklıklar belirlenerek, elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği ve değişmediği varsayılarak analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır (Kayıran, 2012). Yapılan başka bir çalışmada, termal çatlaklar incelenmiştir. Hasar sebebi olarak termo mekanik yorgunluk sebebiyle hasar meydana geldiği tespit edilmiştir (Bagnoli, vd., 2009).

Diskler, havacılık, uçak sistemleri başta olmak üzere, insansız hava araçları, enerji gibi alanlarda farklı malzemeler olarak kullanılmaktadır. Diskler kullanım alanına göre çalıştıkları sıcaklıklarda farklılık göstermektedir. Bir motosiklete ait fren diskinin hasarı incelenerek, yüksek sıcaklık nedeniyle malzeme iç yapısında bozulmalar ve dolayısıyla hasarların meydana geldiği belirlenmiştir (Boniardi, vd., 2006)..Frenleme esnasında sürtünme katsayısındaki değişimi disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısıdaki periyodik değişiminden kaynaklandığı belirlenmiştir (Anderson, 1992). Üç boyutlu bir model ile havalandırılmış disk freninde termal gerilme analizi yapılarak, maksimum ısıl gerilmenin olduğu bölge tayin edilerek, gerçek bir disk freninde yorulma çatlakları araştırılmıştır (Kim ve Seok, 2008).Yapılan başka bir çalışmada, kompozit köprülerin ısıl yükler altındaki davranışı araştırılmıştır (Adhami, 2017). Seramik fren balatasının sürtünme, yüzey karakteristikleri ve kayma karakteristikleri belirlenmiştir (Hee ve Filip, 2005). Seramik metal şeridin üst bölgesinde oluşan sıcaklık ve termal gerilmelerin belirlenen sınır koşullarındaki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, frenleme sırasında sürtünme elemanlarının ısıl çatlamasının modellenmesi yapılarak çözüme ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır (Yetvtushenko ve Kuciej, 2010). Disklerin performanslarını, sıcaklık dağılımını ve gerilmeler arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için bir adet tam disk ve üç adet havalandırılmış rotor incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, disklerin çok yüksek çalışma koşullarında güvenle kullanılabileceği, kanatlı disklerin rotora göre daha iyi bir çözüm olduğu sonucuna ulaşılmıştır

---

<sup>3</sup> Bu makale, 1-3 Kasım 2018 tarihinde gerçekleştirilen 1. Uluslararası Mersin Sempozyumu'nda sunulan, "Parabolik Sıcaklık Dağılımına Maruz Bir Diskin Isıl Gerilme Analizi." bildirisi temel alınarak hazırlanmıştır.

(Baron, vd., 2015). Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılmış dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçıktaki ısı gerilmeler araştırılmıştır (Yıldırım, 2017). Cam elyaf takviyeli disk fren balatalarının özelliklerini incelemiştir. Üretilen numunelerde sürtünme katsayısını ve aşınma direncini artırmak için seramik katkı olarak SiC kullanılmıştır (Mutlu ve Öner, 2002). Bundan ötürü bu çalışmada, sıcaklık etkisine maruz kalan bir diskte oluşan ısı gerilme analizi çalışması yapma gereği duyulmuştur. İki farklı disk modellenmiştir. Disklerin iç yüzeyinden dış yüzeyine kadar olan bölgede sıcaklığın parabolik olarak arttığı varsayılmıştır. I. Disk dökme demir malzeme olarak, II. disk seramik olarak belirlenmiştir. Her iki disk için çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde belirlenmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

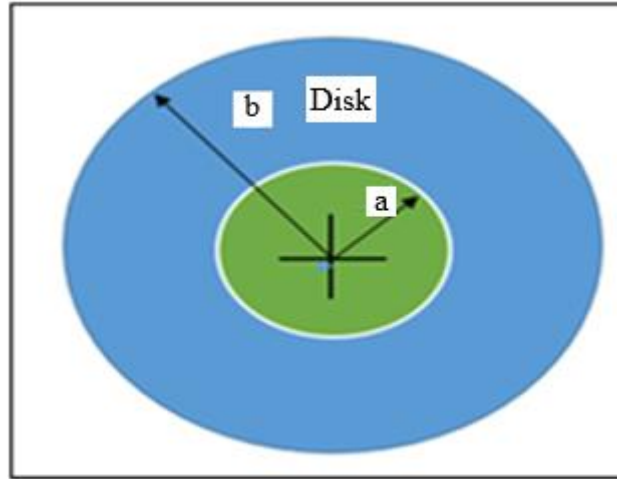
Yapılan bu çalışmada, dökme demir ve seramik malzemeden oluşan iki farklı diske parabolik artan fonksiyona sahip ısı yükü uygulanarak, disklerde oluşan radyal, teğetsel ve radyal yer değiştirme durumlarının sıcaklık etkisiyle değişimleri nümerik olarak incelenmiştir. Isıl gerilme analizi 20 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C, 100 °C, 200 °C sıcaklık değerleri için uygulanmıştır.

### Analitik Çözüm

İnce bir disk için  $\sigma_z = 0$  genel denge denklemi (Timoshenko ve Goodier, 1970)

$$\frac{r(d\sigma_r)_i}{dr} + (\sigma_r)_i - (\sigma_\theta)_i = 0 \quad (i = 1) \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. (1) nolu denklemde,  $r$  herhangi bir noktadaki diskin yarıçapı,  $\sigma_r$  radyal gerilme,  $\sigma_\theta$  ise teğetsel gerilmeyi ifade etmektedir. Burada disk malzemesi  $i=1$  olarak alınmıştır. Şekil 1'de ısı gerilme analizine maruz bir disk verilmiştir.



Şekil 1. Isıl gerilme analizine maruz bir disk

$$\varepsilon_{ri} = \frac{du}{dr} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{u}{r} \quad (3)$$

Burada  $u$ , radyal yöndeki yer değiştirmedir.  $\varepsilon_r$ , radyal şekil değiştirmeyi,  $\varepsilon_\theta$  teğetsel yöndeki şekil değiştirmeyi ifade eder. Şekil değiştirme-gerilme bağıntısı (Timoshenko ve Goodier, 1970);

$$\varepsilon_{ri} = \frac{1}{E_i} (\sigma_{ri} - \nu_i \sigma_{\theta i}) + \alpha_i T_r \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{1}{E_i} (\sigma_{\theta i} - \nu_i \sigma_{ri}) + \alpha_i T_r \quad (5)$$

$$\sigma_{ri} = \frac{F}{r} \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta i} = \frac{dF}{dr} \quad (7)$$

şeklinde dir. (6) ve (7) nolu denklemler, (4) ve (5) nolu denklemlerinde uygulanırsa;

$$\varepsilon_{ri} = \frac{1}{E_i} \left( \frac{F}{r} - \nu_i \frac{dF}{dr} \right) + \alpha_i T_r \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{1}{E_i} \left( \frac{dF}{dr} - \nu_i \frac{F}{r} \right) + \alpha_i T_r \quad (9)$$

elde edilir. Uzama için uygunluk denklemi;

$$r \frac{d \varepsilon_{\theta i}}{dr} + \varepsilon_{\theta i} - \varepsilon_{ri} = 0 \quad (10)$$

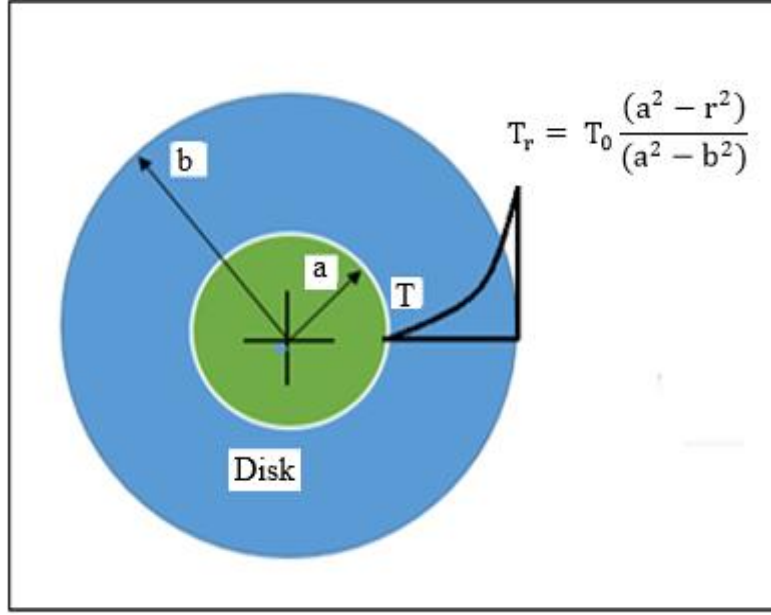
olarak elde edilir. Gerilme fonksiyonunun F olarak tanımlanabildiği denge denklemi ve (1-7) arasındaki denklemler kullanılarak (11) genel denklemi elde edilir.

$$r^2 \frac{d^2 F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 \alpha_i E_i T_r' \quad (11)$$

Diskler birbirinden farklı olduğu için her bir disk için  $i=1$  olarak alınmıştır.  $T_0$  ilk sıcaklık değerini,  $T_r'$  ise radyal yöndeki herhangi bir noktanın sıcaklık değerini göstermektedir.

### **Parabolik artan sıcaklık dağılımına maruz disk**

Diskin iç yüzeyinde  $T_r = 0$  °C dış yüzeyde  $T_r = T_0'$  dir. Sıcaklığın diskten iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru parabolik olarak artması durumunda (12) nolu denklem kullanılmıştır. Parabolik artan sıcaklık dağılımı altında meydana gelen gerilmelerin yayılışını bulmak için denklem (11)'de gösterilen diferansiyel eşitlik kullanılır. Denklem (11)'de  $T_r'$  yerine konularak özel çözüm yapılır. Şekil 2'de parabolik artan sıcaklık dağılımına maruz bir disk görülmektedir.



Şekil 2. Parabolik artan sıcaklık dağılımına maruz disk

$$T_r = T_0 \frac{(a^2 - r^2)}{(a^2 - b^2)} \quad (12)$$

$$T'_r = \frac{dT}{dr} = -\frac{2rT_0}{(a^2 - b^2)} \quad (13)$$

Gerilme analizi için denklem (11)'de  $T'_r$  yerine koyulursa

$$r^2 \frac{d^2F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 E_i \alpha_i \frac{-2rT_0}{(a^2 - b^2)} \quad (14)$$

$$F = C_1 r^1 + C_2 r^{-1} + A_i r^3 \quad (15)$$

olarak elde edilir. Radyal ve teğetsel gerilmeler,

$$\sigma_r = C_1 + C_2 r^{-2} + A_i r^2 = \frac{F}{r} \quad (16)$$

$$\sigma_\theta = C_1 - C_2 r^{-2} + 3A_i r^2 = \frac{dF}{dr} \quad (17)$$

Radyal ve teğetsel gerilmeler yukarıdaki gibi yazılır.  $r = a$  durumunda  $\sigma_r = 0$ ,  $r=b$  durumunda  $\sigma_r = 0$  sınır koşulları kullanılarak,  $C_1$ ,  $C_2$  integrasyon sabitleri ve son terim  $A_i$  aşağıdaki gibi tayin edilir:

$$A_i = \frac{E_i \alpha_i T_0}{4(a^2 - b^2)} \quad (18)$$

$$C_1 = -A_i(a^2 + b^2) \quad (19)$$

$$C_2 = A_i(a^2 b^2) \quad (20)$$

olarak bulunur, u, radyal yer değiştirme ařaęıda (21)'deki gibi elde edilir;

$$(U_r)_i = \left[ \frac{1}{E_i} \left( C_1 r (1 - \nu_i) - \frac{C_2}{r} (1 - \nu_i) + A_i r^3 (3 - \nu_i) \right) + \alpha_i r T \right]_i \quad (21)$$

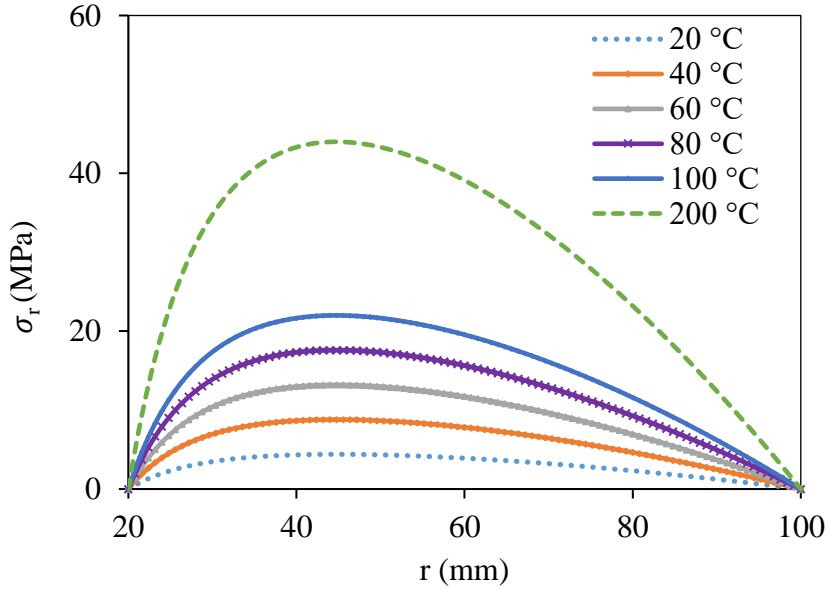
### BULGULAR ve TARTIřMA

Dökme demir ve seramik malzemeli diskler için, parabolik artan sıcaklık dağılımları altında disklerin iç yüzeyden dış yüzeye doğru oluşan ısı gerilmeler incelenmiştir. Disk sabittir ve boyutları a=20 mm, b=100 mm olarak alınmıştır (Şekil 1). Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği (sabit kaldığı) varsayılmıştır. Disk malzemelerinin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo.1** Disklerin mekanik özellikleri (Shanmugam ve Wang, 2007; Ashby, 2016)

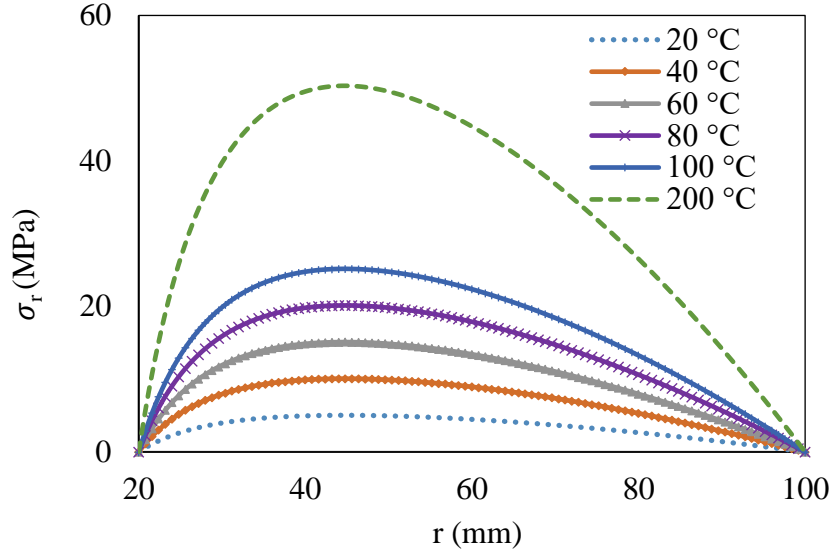
Disk No	Disk malzemeleri	Elastisite Modülü (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	Poisson Oranı
I	Dökme demir (Lamel grafitli)	120	11x10 <sup>-6</sup>	0,3
II	Seramik	151	10x10 <sup>-6</sup>	0,17

Şekil 3.'te dökme demir diskte oluşan radyal gerilmeler yer almaktadır.



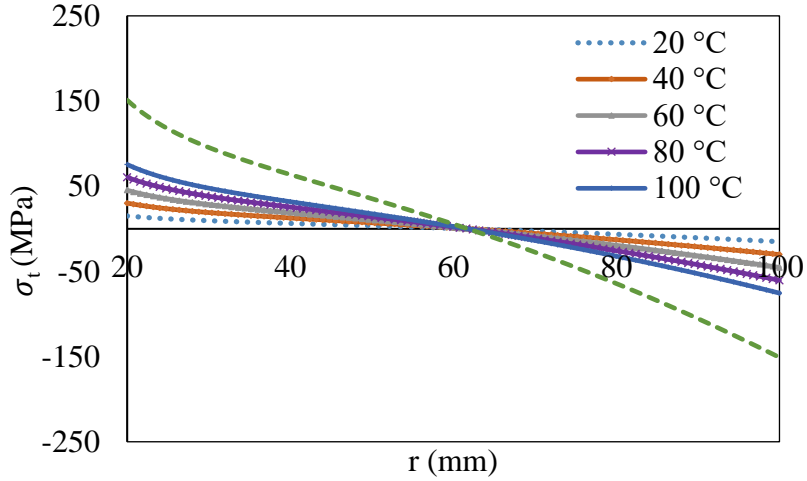
**Şekil 3.** Dökme demir diskte oluşan radyal gerilmeler

Şekil 4.'te seramik diskte oluşan radyal gerilme yer almaktadır.



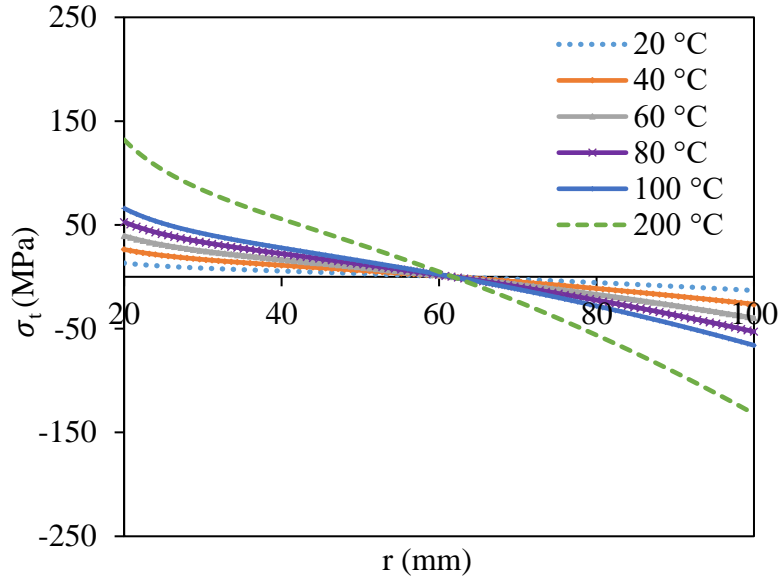
Şekil 4. Seramik diskte oluşan radyal gerilmeler

Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü üzere, 20 °C sıcaklıkta dökme demir diskte oluşan radyal gerilme diskin en iç bölgesinde ( $r=20,8$  mm), 0,496 MPa oluşurken, seramik diskte aynı bölgede 0,568 MPa olarak radyal gerilme belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise örneğin 200 °C sıcaklık için dökme demir diskin en iç bölgesinde ( $r=20,8$  mm) radyal gerilme 4,962 MPa iken, seramik diskte yine aynı bölgede 5,670 MPa olarak belirlenmiştir. Diskin  $r=45$  mm bölgesinde radyal gerilmenin en yüksek değerde olduğu görülmüştür. 200 °C sıcaklık için dökme demir diskte 43,97 MPa radyal gerilme oluştuğu, seramik diskte yine aynı bölgede 50,30 MPa radyal gerilme oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 5.'te seramik diskte oluşan teğetsel gerilme, yer almaktadır.



Şekil 5. Seramik diskte oluşan teğetsel gerilmeler

Şekil 6.'da dökme demir diskte oluşan teğetsel gerilme verilmiştir.

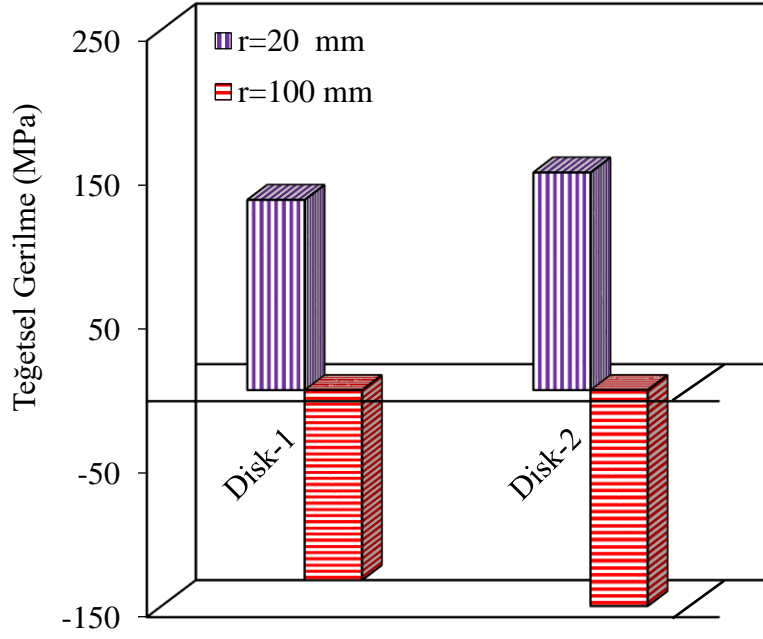


Şekil 6. Dökme demir diskte oluşan teğetsel gerilmeler

Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü üzere, sıcaklık arttıkça, seramik ve dökme demir disklerde oluşan teğetsel gerilmelerinde arttığı görülmüştür. Teğetsel gerilme disklerin iç bölgesinden dış yüzeye doğru,  $r=61,6$  mm bölgesine kadar çekme gerilmesi şeklinde olup,  $r=62,4$  mm bölgeden, disk dış yüzeyine kadar basma gerilmesi şeklindedir. Örneğin  $20$  °C sıcaklıkta, diskin  $r=20,8$  mm bölgesinde, seramik diskte oluşan gerilme  $14,43$  MPa iken, dökme demir diskin aynı bölgesinde oluşan gerilme değerinin  $12,61$  MPa olduğu belirlenmiştir.  $200$  °C sıcaklıkta,  $r=20,8$  mm seramik bölgesinde oluşan teğetsel gerilme  $144,297$  MPa olurken, dökme demir diskte aynı bölgede teğetsel gerilme değeri  $126,14$  MPa olarak belirlenmiştir.

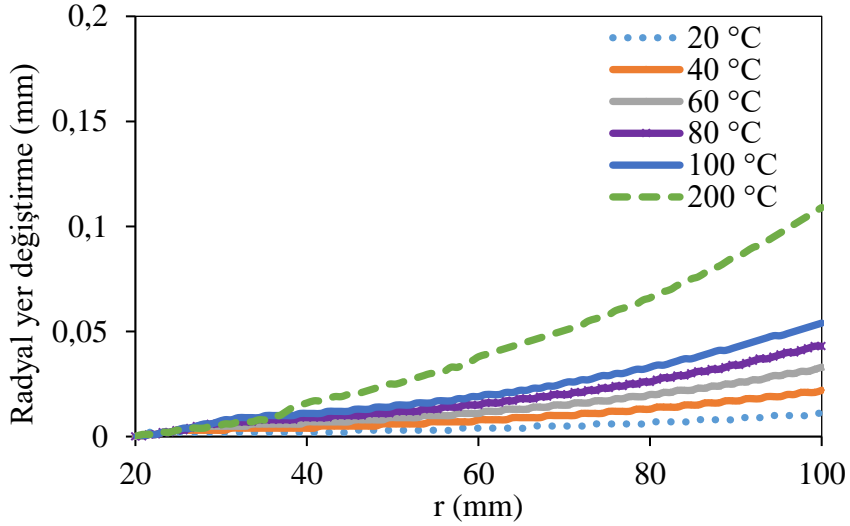
Disk'in iç bölgesinden, dış bölgelerine doğru  $r=61,6$  mm bölgesine kadar teğetsel gerilme çekme gerilmesi şeklindedir. Disk'in  $r=62,4$  mm bölgesinden dış kısmına kadar basma gerilmesi şeklinde artış gösterdiği görülmüştür.  $200$  °C sıcaklıkta dökme demir diskin dış bölgesinde  $-132$  MPa teğetsel gerilme oluştuğu, seramik diskin aynı bölgesinde teğetsel gerilmenin  $-151$  MPa olduğu görülmüştür. Şekil 7'de  $100$  °C sıcaklıkta disklerde meydana gelen teğetsel gerilmeler verilmiştir.





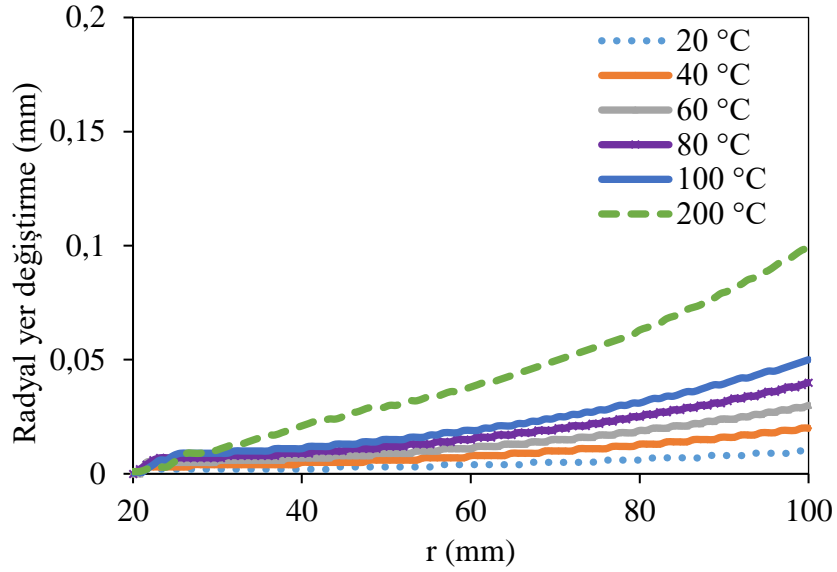
Şekil 7. 100 °C sıcaklıkta disklerde meydana gelen teğetsel gerilmeler

Şekil 7’de Disk-I (dökme demir), Disk-II’nin (seramik) iç bölgesinde oluşan teğetsel gerilmenin, disklerin dış bölgesinde oluşan teğetsel gerilmelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 8’de dökme demir diskin radyal yönünde meydana gelen yer değiştirme grafik halinde verilmiştir.



Şekil 8. Dökme demir diskte oluşan radyal yöndeki yer değiştirmeler

Şekil 9’da seramik diskin radyal yönünde meydana gelen radyal yer değiştirme grafik halinde verilmiştir.



Şekil 9. Seramik diskte oluşan radyal yöndeki yer değiştirmeler

Disk I'in dökme demirin dış bölgesinde, 20 °C sıcaklıkta 0,011 mm radyal yer değiştirme oluşurken, Disk II'nin (seramik diskte) 20°C sıcaklıkta dış kısmında oluşan radyal yer değiştirmenin 0,010 mm olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklar için örneğin, 200 °C sıcaklıkta Disk-I'in 80 mm bölgesinde oluşan radyal yer değiştirme 0,068 mm iken, Disk-II'nin iç kısmında 0,064 mm yer değiştirme olduğu görülmüştür. Disk-I'in diskin dış kısmında oluşan radyal yer değiştirme 0,109 mm olduğu, Disk-II'nin dış kısmında oluşan radyal yer değiştirmenin ise 0,099 mm olduğu görülmüştür. Uygulanan farklı değerlerdeki sıcaklıklar nedeniyle elde edilen gerilme sonuçlarının birbirinden tamamen farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Literatür de bu sonucu desteklemektedir.

Yapılan bu çalışmada elde edilen bulguların literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Örneğin; Çallıoğlu ve Karakaya, (2008) tarafından yapılan çalışmada; sıcaklık etkisine maruz bir diskte oluşan termal gerilmeler incelenmiştir. Sıcaklık değişimiyle birlikte diskte oluşan ısıl gerilmelerin değiştiği gözlenmiştir. Diskin iç ve dış yüzeylerindeki radyal gerilmeler sıfır olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada da benzer olarak, disklerin iç ve dış yüzeylerindeki radyal gerilmeler sıfır olduğu belirlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada kompozit disk üzerindeki en düşük ısıl gerilmelerin 60 °C sıcaklık için oluştuğu, en yüksek gerilmelerin ise 270 °C sıcaklık etkisinde iken elde edildiği belirlenmiştir (Şen ve Akyüz, 2013).

## SONUÇ

Yapılan bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Dökme demir ve seramik diski oluşturan malzemelerin elastisite modülleri ve termal genişleme katsayıları farklı olduğu için oluşan gerilmeler birbirinden farklı çıkmıştır.
- Sıcaklığın artmasıyla gerilme değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Her iki disk için oluşan teğetsel gerilmelerin radyal gerilmelere göre daha fazla büyüklükte olduğu belirlenmiştir.
- Tüm sıcaklık dağılımları için; radyal gerilme diskin en iç ve en dış kısmında sıfırdır.
- Radyal gerilmeler çekme gerilmesi şeklinde oluşmuştur.
- Radyal gerilmeler diskin iç kısmına yakın bölgelerinde en yüksek değerini alır.

- Teğetsel gerilmeler, diskin en iç kısmından orta bölgeye kadar çekme gerilmesi şeklinde, orta kısımdan dış bölgeye doğru ise basma gerilmesi şeklinde meydana gelmiştir.
- Seramik diskte iç bölgesinde oluşan radyal gerilme, dökme demir diske göre % 14,51 oranında fazladır.
- Seramik diskin dış bölgesinde oluşan radyal gerilme, dökme demir diske göre % 12 oranında fazladır.
- Seramik diskin dış bölgesinde oluşan teğetsel gerilme, dökme demir diske göre % 14,1 oranında fazladır.
- Dökme demir diskin en dış kısmında meydana gelen radyal yer değiştirmelerin seramik diske göre yaklaşık olarak %10 olduğu görülmüştür.
- Sıcaklık arttıkça ortaya çıkan radyal yer değiştirmenin de artış gösterdiği belirlenmiştir.
- Disklerde oluşan radyal yer değiştirmelerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışma ile seramik diskin, dökme demir diske göre ısıl gerilmeye daha dayanıklı olduğu kanaatine varılmıştır. Günümüz teknolojisinde sıcaklıkları sönmlemeye karşı fren disklerinde ve diğer yüksek sıcaklık gerektiren alanlarda tercih sebebi olabilecekleri sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Al Adhami, H. A. N., (2017). *Kompozit köprülerin ısıl yükler altında davranışı*. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 369, Gaziantep.
- Anderson, A.E. (1992). *ASM Handbook, Friction, Lubrication, and Wear Technology*. ASM International, Materials Park, OH, 15, 569-577.
- Ashby, M. F. (2016). *Materials Selection in Mechanical Design*. Published by Elsevier Limited Company. Fifth Edition, 660.
- Bagnoli, F., Dolce, F., Bernabei, M. (2008). *Thermal fatigue cracks of fire fighting vehicles grey iron brake discs*. Engineering Failure Analysis, 16 -1, 152-163.
- Boniardi, F., D'Errico, C., Tagliabue, Gotti, G., Perricone G. (2006). *Failure analysis of a motorcycle brake disk*. Engineering Failure Analysis, 13-6, 933-945.
- Çallıoğlu, H., Ş., Karakaya (2008). *Tabakalı bir diskin termal gerilme analizi*. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 61-68.
- Fatahalla, N., Huseyin, O., Bahi, S., (1996). *Metallurgical parametres, mechanical properties and machinability of ductile cast iron*. Journal of Materials Science, 31, 5772-5772.
- Gülgeç, M. Türkbaş, S., (2002). *Radyal sıcaklık dağılımı etkisinde iki ucu sabit bir silindirde ısıl gerilme analizi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17-1, 1-9.
- Hee, K.W., Filip, P (2005). *Performance of ceramic enhanced phenolix matrix brake lining materials for automotive brake linings*, 259, 1088-1096.
- Kayıran, H.F., (2012). *Bimateryal bir diskte ısıl gerilme analizi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 77, Isparta.
- Kim, D.J., Seok, C.S. (2008). *Thermal stress analyisis for a disk brake of railway vehicles with consideration of the pressure distribution on a frictional surface*. Materials Science and Engineering, 483-1, 456-459.
- Mutlu, İ., Öner, C., (2002). *Cam elyaf takviyeli disk fren balatalarının özelliklerinin incelenmesi*. Teknoloji Dergisi, Sayı 3-4, 89-96.
- Saiz, C.B., Ingrassia, T., Nigrelli, V., Ricotta, V. (2015). *Thermal stress analysis of different full and ventilated disc brakes*. Fracture and Structural Integrity, 9-34, 608-621.

- Shanmugam, N. E. Wang, C.M. (2007). *Analysis and design of plated structures*. Woodhead publishing in material, Elsevier, 2, 508.
- Şen, F., Akyüz, B.H., (2013). *Sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit dönen diskteki ısı gerilmelerin analizi*. Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 4-1, 51-60.
- Timoshenko, S., Goodier, J.N., (1970). *Theory of elasticity*. Mc Graw-Hill Company, New York, 291-297.
- Yavuz, İ., Erdoğan, M. Erçetin A., (2014). *Otomobillerde kullanılan fren diski hasar analizi*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 1-4.
- Yetvtushenko, A., Kuciej, M., (2010). *Temperature and thermal stresses in a pad/disc during braking*. Thermal Engineering, 30(4), 354-359.
- Yıldırım, A., (2017). *Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeden yapılmış dairesel kanatçıklarda termal gerilme analizi*. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87, Osmaniye