

LİNEER AZALAN SICAKLIK DAĞILIMINA MARUZ BİMATERYAL DİSKLER İÇİN ISIL GERİLME ANALİZİ

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ¹, Hüseyin Fırat KAYIRAN²

ÖZET

Bu çalışmada, iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateriyal diskler için analitik olarak ısıl gerilme analizi yapılmıştır. İki ayrı bimateriyal disk modeli oluşturulmuştur. Disk-1’de diskin iç malzemesi olarak alüminyum, dış malzemesi olarak titanyum kullanılmıştır. Disk-2’de diskin iç malzemesi olarak yine alüminyum, dış kısmında ise dökme demir kullanılmıştır. Her iki bimateriyal disk için farklı sıcaklık değerleri 20°C, 40°C, 60°C, 80°C ve 100°C ve 200°C kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Bimateriyal disklerde oluşan radyal ve teğetsel gerilmelerin sıcaklığın artması ile değişimi incelenmiştir. Ayrıca radyal yer değiştirmeler belirlenmiştir. Yapılan çözüm sonucunda, Disk-1’de meydana gelen teğetsel gerilmelerin, Disk-2’de meydana gelen teğetsel gerilmelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bimateriyal Disk, Isıl Gerilme, Lineer sıcaklık dağılımı

ABSTRACT

In this study, thermal stress analysis is performed analytically for the surface discs which are subjected to linear decreasing temperature distribution from the inner surface to the outer surface. Two separate disc models were created. Disc-1 uses aluminum as its inner material and titanium as its external material. In Disc-2, aluminum is used as the inner material of the disc and cast iron is used in the outer part. The solutions were obtained for different temperatures of 20 ° C, 40 ° C, 60 ° C, 80 ° C and 100 ° C and 200 ° C for both bimaterial discs. The radial and tangential stresses occurring in the bimaterial discs were investigated by increasing the temperature. In addition, radial displacements were determined. As a result of the solution, it was observed that tangential stresses in Disk-1 were more than tangential stresses in Disk-2.

Keywords: Bimateriyal disc, Thermal stress, Linear temperature distribution

1. GİRİŞ

Diskler; endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Özellikle uzay mekiği, uçak ve otomobil aksamlarında kullanılan diskler, yüksek hız dişlileri, motor volanları ve yataklarda tercih sebebidirler. Titanyum genellikle gemicilik sektörü, kimya sektörü başta olmak üzere jet motorlarında, roket ısı eşanjörlerinde, pompa valf sistemlerinde yüksek darbe dayanımı, yüksek korozyon direnci istenen durumlarda özellikle uçak gövdesi ve diğer uzay araçları imalatında kullanılmaktadırlar. Son yıllarda uçak motorlarındaki titanyum alaşımlarının

¹ Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

² Dr., Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Mersin İl Koordinatörlüğü, 33110, Mersin

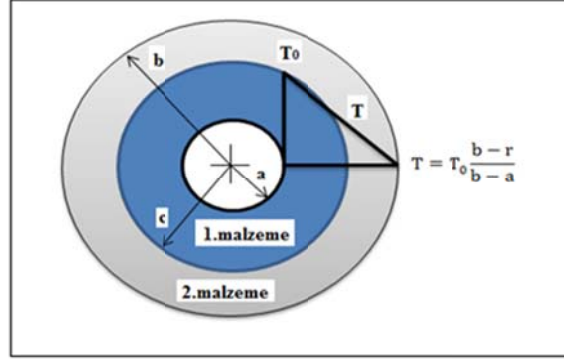
gösterdiği başarının ana sebebinin korozyona karşı gösterdiği dayanımın olduğu belirtilmiştir. Titanyum alaşımlarından oluşan parçaların çevre kirliliği oluşturmaması, deniz altı ve üstü faaliyetlerde kullanımın temini, kükürt bileşimi içeren endüstriyel alanlarda kullanımını artırmıştır [1]. Dökme demir diskler ise ısıl yüke maruz kalan parçalar başta olmak üzere, otomotiv sektöründe otomobil fren sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

Disklerle ilgili farklı çalışmalar mevcuttur: Şen vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, parabolik sıcaklık dağılımına maruz termoplastik kompozit bir diskteki ısıl gerilmeler analitik ve nümerik olarak hesaplanarak, analitik ve nümerik çözümün birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür [2]. Bir başka çalışmada, dönen kompozit bir diskte sıcaklığın lineer olarak azalması ve artması halinde üç farklı sıcaklık profili için diskte meydana gelen teğetsel ve radyal gerilmeler hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre düşük sıcaklıklarda tüm disk için teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha fazla olduğu gözlenmiştir [3]. Yıldırım (2017) tarafından yapılan çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılmış ve kararlı duruma ulaşmış dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçıktaki ısıl gerilmeler incelenmiştir [4]. Çallıoğlu ve Karakaya (2008) tarafından, sıcaklık etkisine maruz tabakalı bir diskteki ısıl gerilme analizi analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Sıcaklık değişimiyle birlikte diskte oluşan ısıl gerilmelerin de değiştiği gözlenmiştir. Analitik çalışma ile elde edilen radyal ve teğetsel gerilmeler ile sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çalışma ile karşılaştırılmış ve analitik yöntemle nümerik yöntemin birebir örtüştüğü tespit edilmiştir [5]. Fonksiyonel derecelendirilmiş sonsuz uzunluktaki silindirlere zamana bağlı ısıl gerilme analizleri yapılmıştır. Poisson oranı ve ısıl genleşme katsayısı hariç elastisite modülü, ısıl iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı gibi bütün malzeme özelliklerinin kuvvet kanununa göre radyal koordinatla birlikte değiştiği kabul edilmiştir. Radyal gerilme, radyal yer değiştirme, sıcaklık ve ısı akısının zamanla değişimleri grafik olarak sunulmuştur [6]. Yapılan başka bir çalışmada, fonksiyonel olarak kademelendirilmiş içi boş dairesel plakaların ısıl gerilme analizi yapılmıştır. Yapıştırıcı katmanındaki ve bağlantı ara yüzeyde meydana gelen ısıl gerilmelerin azaltılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır [7]. Farklı ısı akışlarına sahip seramik, metal plaka ve içi boş bir diskte yer değiştirme, şekil değiştirme ve gerilme davranışı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Isıl yüklere maruz, yapıştırıcı ile birleştirilmiş, işlevsel kademelendirilmiş kenarlarından sabitlenmiş plaka ve disklerde ısıl gerilme davranışları incelenmiştir [8]. Dairesel içi boş bir silindirde ısıl ve mekanik gerilmeler araştırılmıştır. Malzeme özelliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayılarak elde edilen gerilme değerleri grafikler halinde sunulmuştur [9]. Başka bir çalışmada, fonksiyonel derecelenmiş metal malzeme üzerine kaplama yapılarak uniform sıcaklık değişimine maruz bariyer kaplamalardaki termal gerilmeler incelenmiştir. [10].

Diskler günümüz teknolojisinde savunma sanayii, havacılık, uçak sanayi, insansız hava araçları, deniz araçları, enerji ve otomotiv sanayii olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Sıcaklık değişimleri makine parçalarında istenmeyen problemler oluşturabilmektedir. Bu durumda kalıcı hasarları önlemek için gerilme analizi büyük önem arz eder. Disk malzemelerinin kullanım alanına göre çalıştıkları sıcaklıklar da farklılık göstermektedir. Bundan ötürü bu çalışmada, sıcaklık etkisine maruz kalan bimateriyal bir diskte oluşan ısıl gerilme analizi yapılmıştır. Bimateriyal disklerin iç yüzeyinden dış yüzeyine kadar olan radyal bölgede sıcaklığın lineer olarak azaldığı varsayılmıştır. Bu çalışma için, Disk-1'in iç kısmında alüminyum, dış kısmında titanyum kullanılırken, Disk 2'nin iç kısmında alüminyum, dış kısmında ise dökme demir kullanılarak iki farklı bimateriyal disk modeli oluşturulmuştur. Bu iki bimateriyal disk için analitik çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateryal disklerin ısı gerilme analizi analitik olarak incelenmiştir. Analizler 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C ve 200°C sıcaklık değerleri için yapılmıştır. Şekil 1'de lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateryal bir disk görülmektedir.



Şekil 1. Lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateryal disk

İnce bir disk için $\sigma_z = 0$ genel denge denklemi [11];

$$\frac{r(d\sigma_r)_i}{dr} + (\sigma_r)_i - (\sigma_\theta)_i = 0 \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. (1) nolu denklemde, r herhangi bir noktadaki diskin yarıçapı, σ_r radyal gerilme, σ_θ ise teğetsel gerilmeyi ifade etmektedir. Burada i ; disk malzemesi sayısını göstermektedir. Bu çalışmada, disk iki malzemedен oluştuğu için $i=1, 2$ olarak alınacaktır.

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

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

Burada u , radyal yöndeki yer değiştirmedir. ε_r , radyal şekil değiştirmeyi, ε_θ teğetsel yöndeki şekil değiştirmeyi ifade eder. Şekil değiştirme-gerilme bağıntısı [11];

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

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

şeklinde verilmektedir. Burada; α termal genleşme katsayısını, ν ise poisson oranını göstermektedir. Radyal ve teğetsel gerilmeler;

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

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

şeklindedir. (6) ve (7) nolu denklemler, (4) ve (5) nolu denklemlerde uygulanırsa;

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

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

$$r^2 \frac{d^2 F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 \alpha_i E_i T_r' \quad (10)$$

Genel denklem elde edilir. Özel çözümlerde her iki diskin iç kısımları için $i=1$ Alüminyum, disklerin dış kısmı için $i=2$ Titanyum ve dökme demiri ifade etmektedir. T_0 ilk sıcaklık değerini, T_r' ise radyal yöndeki herhangi bir noktanın sıcaklık değerini göstermektedir [12]. Şekil 1'de lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz diskte görüldüğü üzere iç yüzeyde $T_r = T_0$ ve dış yüzeyde $T_r=0$ °C'dir. Sıcaklığın diskin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru lineer olarak azalması durumunda [10] nolu denklemde verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$T_r = T_0 \frac{b-r}{b-a} \quad (11)$$

$$T_r' = \frac{dT}{dr} = -\frac{T_0}{b-a} \quad (12)$$

Isıl gerilme analizi için denklem (11)'de T_r' yerine koyulursa diferansiyel denklem;

$$r^2 \frac{d^2 F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 \alpha_i E_i \frac{-T_0}{(b-a)} \quad (13)$$

olarak elde edilir. Gerilme fonksiyonu ise,

$$F = C_1 r^1 + C_2 r^{-1} + A_i r^2 \quad (14)$$

şeklinde elde edilir.

$$\sigma_r = C_1 + C_2 r^{-2} + A_i r = \frac{F}{r} \quad (15)$$

$$\sigma_{\theta} = C_1 - C_2 r^{-2} + 2A_i r = \frac{dF}{dr} \quad (16)$$

Diskler için sınır şartları $r=a$ olması durumunda $\sigma_r = 0$, $r=b$ olması durumunda $\sigma_r = 0$ olarak verilmiştir. Bu sınır koşulları kullanılarak son terim A_i ile C_1 ve C_2 integrasyon sabitleri aşağıdaki şekilde bulunur:

$$A_i = \frac{E_i \alpha_i T_0}{3(b-a)} \quad (17)$$

$$C_1 = -\frac{A_i(a^2 + ab + b^2)}{(a+b)} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{A_i a^2 b^2}{(a+b)} \quad (19)$$

U_r radyal yer değiştirme [8] nolu denklemden elde edilmiştir:

$$(U_r)_i = \frac{(C_1)r(1-\nu_i)}{E_i} - \frac{(C_2)r(1-\nu_i)}{r} + A_i r^3(3-\nu_i) + \alpha_i r T \quad (20)$$

3. BULGULAR

3.1. Isıl Gerilme Analiz Sonuçları

Bu çalışmada; iki farklı bimateriyal disk modeli oluşturularak, radyal yönde lineer azalan sıcaklık dağılımı uygulanması sonucu oluşan ısıl gerilmeler incelenmiştir. Bimateriyal diskler iki farklı malzemeden oluşmaktadır. Disk-1'de iç kısım alüminyum, dış kısım titanyum malzeme olarak seçilmiştir. Disk-2'de ise iç kısım yine alüminyum, dış kısım dökme demirden oluşmaktadır. Bimateriyal disklerin malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [13-14].

Tablo 1. Bimateriyal diskleri oluşturan malzemeler [13-14]

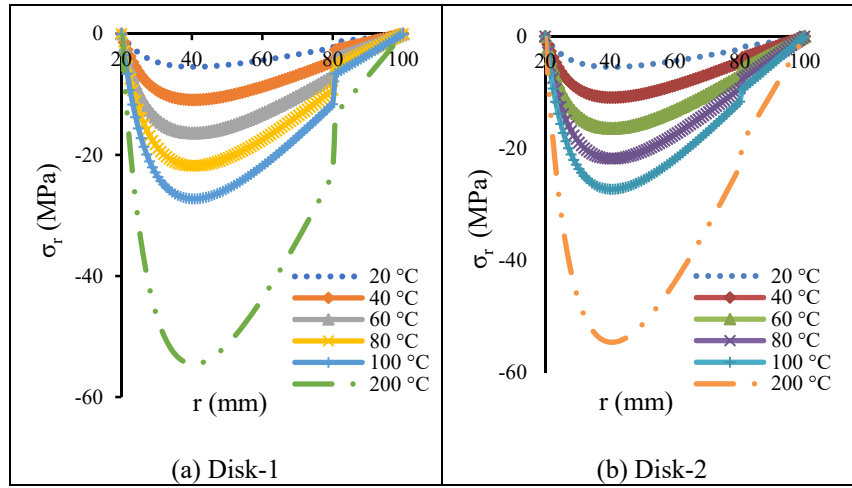
	Bimateriyal Disk Malzemeleri		
	Malzeme 1 (20mm-80 mm)	Malzeme 2 (80mm-100 mm)	
	Alüminyum	Titanyum	Dökme demir
E (GPa)	70	110	120
α (1/°C)	22×10^{-6}	$8,6 \times 10^{-6}$	$10,8 \times 10^{-6}$
ν	0,33	0,34	0,26

Elastisite modülünün sıcaklık ile değişmediği durum için Disk-1 ve Disk-2'de elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

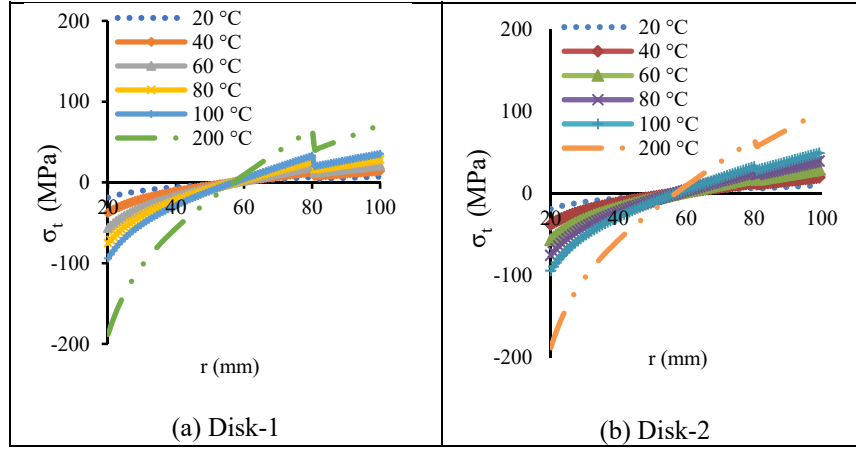
Tablo 2 Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen gerilmeler

Sıcaklık (°C)	Diskin radyal yüzeyi	Disk-1 (Alüminyum-Titanyum)	Disk-2 (Alüminyum-Dökme Demir)	Her iki disk için
		σ_t (MPa)	σ_t (MPa)	σ_r (MPa)
20	İç	-18,822	-18,822	0
	Dış	10,080	7,0890	0
40	İç	-37,644	-37,644	0
	Dış	20,160	14,177	0
60	İç	-56,467	-56,467	0
	Dış	30,240	21,266	0
80	İç	-75,289	-75,289	0
	Dış	40,320	28,355	0
100	İç	-94,111	-94,111	0
	Dış	50,400	35,443	0
200	İç	-188,220	-188,222	0
	Dış	100,80	70,8870	0

Tablo 2'den sıcaklık arttıkça bimateriyal disklerde meydana gelen radyal ve teğetsel gerilme değerlerinin de arttığı görülmektedir. Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için bimateriyal disklerde oluşan radyal gerilmeler Şekil 2a'da, teğetsel gerilmeler ise Şekil 2b'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere, bütün sıcaklık değerleri için her iki bimateriyal diskte de, diskin iç bölgesinde ($r=40$ mm) radyal gerilmenin maksimum değere ulaştığı, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği, 2. malzemeye geçiş bölgesinde ise ani bir sıçrama yaptığı gözlenmektedir. Diskin iç yüzeyinde oluşan radyal gerilmelerin, dış yüzeyinde oluşan gerilmelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Diskin en iç ve en dış kısmında radyal gerilmelerin sıfır olduğu belirlenmiştir.

**Şekil 2.** Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için radyal gerilmeler

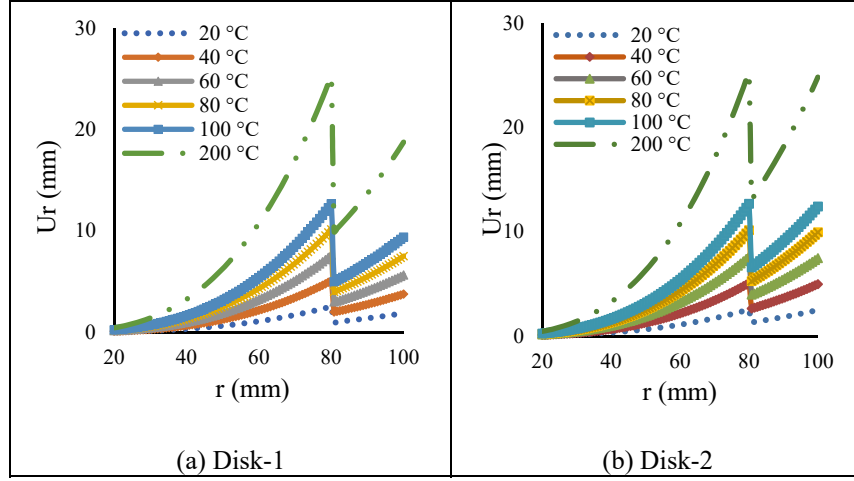
Şekil 2’den görüldüğü üzere, farklı sıcaklıklarda ve dış kısımları farklı malzemelerden oluşan bimateriyal Disk-1 ve Disk-2’nin en iç (alüminyum) kısmında ve en dış (titanyum ve dökme demir) bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin sıfır olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın lineer olarak azalması durumunda Disk-2’de (alüminyum-dökme demir), 200 °C sıcaklıkta, diskin iç bölgesinde ($r=40$ mm) radyal gerilmenin en yüksek olarak -54,542 MPa olduğu, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği ve geçiş bölgesinde ise ani bir değişim yaptığı gözlenmiştir. Şekil 3’de elastisite modülü sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen teğetsel gerilmeler verilmiştir.



Şekil 3. Elastisite modülü sıcaklıkla değişmediği durumda için oluşan teğetsel gerilmeler (a) Disk-1 (b) Disk-2

Şekil 3’den görüldüğü üzere, 20°C sıcaklıkta Disk-1’in iç bölgesinde -18.822 MPa teğetsel gerilme meydana gelirken, en dış bölgesinde meydana gelen teğetsel gerilmenin 10.08 MPa olduğu, alüminyum- dökme demir diskte iç (Alüminyum) kısımda meydana gelen gerilme değerinin -18.822 N olduğu, yine diskin dış bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin 7.089 N olduğu belirlenmiştir. 200 °C sıcaklıkta ise teğetsel gerilmelerde artışların olduğu görülmektedir. Sıcaklığın diskin iç bölgesinden dış yüzeyine doğru lineer olarak azalması durumunda, Disk-2’de (alüminyum-dökme demir) meydana gelen teğetsel gerilmeler diskin en iç bölgesinde bası, dış bölgesinde ise çeki gerilmesi olarak oluşmuştur. 100 °C sıcaklıkta ise Disk-1 için, (alüminyum-titanyum) ($r=100$ mm) diskin en dış bölgesinde (titanyum) 35,443 MPa teğetsel gerilme belirlenirken, yine aynı bölgede (dökme demir) gerilme 58,722 MPa teğetsel gerilme ortaya çıktığı, 200 °C sıcaklıkta, diskin en dış bölgesinde titanyum alaşım bölgesinde ($r=100$ mm) 117,444 MPa teğetsel gerilme olduğu belirlenmiştir. Disk-2’de dökme demir malzemeli bölgede ($r=100$ mm) 70,887 MPa teğetsel gerilme hesaplanmıştır. Disk-2’nin dökme demir kısmında oluşan çekme şeklindeki radyal gerilme, Disk-1’in titanyum alaşım bölgesindeki radyal gerilmeden yaklaşık % 70 kadar fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 4’de elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen radyal yer değiştirmeler verilmiştir.



Şekil 4. Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için (a) Disk-1’de meydana gelen radyal yer değiştirmeler (b) Disk-2’de meydana gelen radyal yer değiştirmeler

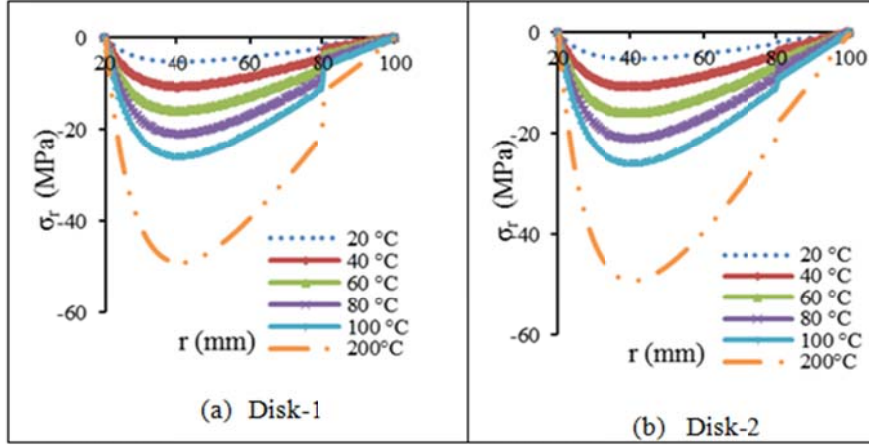
Şekil 4’de görüldüğü üzere, Disk-1’de meydana gelen radyal yer değiştirmelerin diskin iç bölgesinden $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. Disk-2’de ise, 200 °C için diskin $r=80$ mm alüminyum bölgesinde $25,308$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm dökme demir bölgesinde $9,918$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Disk-1’in alüminyum kısımdaki radyal yer değiştirmenin, titanyum malzemeli kısma göre $2,55$ kat daha fazla olduğu görülmüştür. Radyal yer değiştirme diskin iç bölgesinden Alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, 2. malzemenin başlangıç noktası $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. 200 °C için Disk-2 için, $r=80$ mm Alüminyum bölgesinde $25,308$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm Dökme demir bölgesinde $13,125$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Malzeme değişikliğinden dolayı radyal yer değiştirmeler arasında keskin bir düşüş olduğu Alüminyum malzemede meydana gelen radyal yer değiştirmenin, dökme demire göre %51,86 daha fazla olduğu görülmüştür. Elastisite modülünün sıcaklık ile değiştiği durum için Disk-1 (alüminyum-titanyum) ve Disk-2’de (alüminyum-dökme demir) oluşan radyal ve teğetsel gerilmeler tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen gerilmeler

Sıcaklık (°C)	Diskin radyal yüzeyi	Disk-1 (Alüminyum-Titanyum)	Disk-2 (Alüminyum-Dökme demir)	Her iki disk için
		σ_r (MPa)	σ_t (MPa)	σ_r (MPa)
20	İç	-17,880	-17,880	0
	Dış	9,1380	6,9940	0
40	İç	-37,226	-37,226	0
	Dış	20,013	13,967	0
60	İç	-55,211	-55,211	0
	Dış	29,799	20,634	0

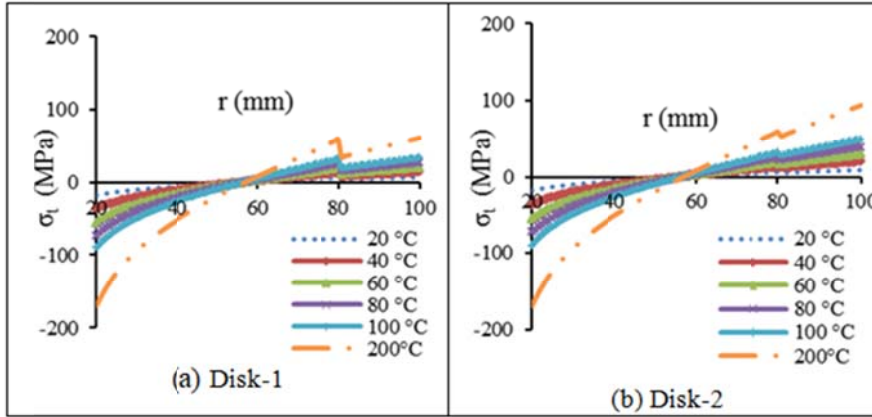
80	İç	-72,778	-72,778	0
	Dış	39,439	27,092	0
100	İç	-89,926	-89,926	0
	Dış	48,931	33,338	0
200	İç	-169,39	-169,39	0
	Dış	94,190	61,413	0

Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer gerilmeler Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda oluşan radyal gerilmeler

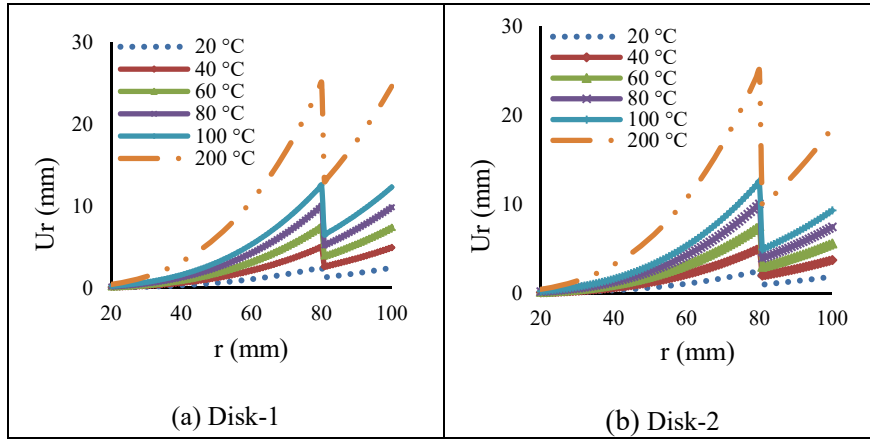
Şekil 5'den görüldüğü üzere, Disk-1 ve Disk-2 için disklerin en iç (Alüminyum) kısmında ve en dış (titanium ve dökme demir malzemeden oluşan) bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin sıfır olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın lineer olarak azalması durumunda Disk-2'de; 200 °C sıcaklıkta, diskin iç bölgesinde ($r=40$ mm) radyal gerilmenin en yüksek olduğu, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği ve geçiş bölgesinde ise ani bir değişim yaptığı gözlenmektedir.



Şekil 6. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen teğetel gerilmeler

Şekil 6'da elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen teğetsel gerilmeler verilmiştir. Teğetsel gerilmelerin bimateriyal Disk-1 ve Disk-2 için iç bölgeden alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, malzeme değişiminin olduğu $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüşlerin olduğu bu noktadan sonra disklerin son noktasına kadar artışların olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere, elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda; 20°C sıcaklıkta Disk-1'in iç (alüminyum) bölgesinde $-17,780$ MPa gerilme meydana geldiği, en dış noktası (titanyum) bölgesinde meydana gelen teğetsel gerilmenin $9,138$ MPa olduğu, Disk-2'de iç (alüminyum) bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin $-17,780$ MPa olduğu, yine diskin dış (dökme demir) bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin $6,994$ N olduğu belirlenmiştir. 200°C sıcaklıkta ise teğetsel gerilmelerde artışların olduğu görülmektedir. Şekil 7'de elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer değiştirmeler verilmiştir.



Şekil 7. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer değiştirme

Şekil 7'de 200°C sıcaklık için Disk-1'de diskin $r=80$ mm alüminyum bölgesinde $25,044$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm titanyum bölgesinde $9,814$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Radyal yer değiştirme diskin iç bölgesinden alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, titanyumun başlangıç noktası $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. Disk-1 ve Disk-2, için 200°C sıcaklıkta alüminyum malzemeden oluşan bölgelerinde ($r=80$ mm) $25,044$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm 2. malzemenin olduğu disk-2'de (dökme demir) dış bölgesinde $12,992$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. 80°C sıcaklıkta Disk-1 ve Disk-2 için alüminyum bölgesinde, titanyum ve dökme demir kısımlarında meydana gelen gerilmeler kendi aralarında karşılaştırıldığında; elastisite modülünün sıcaklık ile değişmediği durumda elde edilen radyal gerilmelerin, elastisite modülünün sıcaklık ile değiştiği durumda hesaplanan radyal gerilmelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Elastisite modülünün sıcaklıkla sabit kaldığı durumda, diskin en iç bölgesinde meydana gelen gerilmelerin, elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda elde edilen gerilmelerden yaklaşık olarak % 8 oranında fazla olduğu belirlenmiştir. Diskin dış bölgesinde ise, elastisite modülünün sıcaklıkla değişmesi durumundaki gerilme değerinin, sabit elastisite modülü olması durumundaki gerilme değerinden yaklaşık olarak % 30 oranında fazla olduğu

tepit edilmiştir. Uygulanan farklı değerlerdeki sıcaklıklar nedeniyle elde edilen gerilme sonuçlarının birbirinden tamamen farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diskin iç ve dış yüzeylerindeki radyal gerilmeler sıfır olarak belirlenmiştir. Literatürde bu sonucu desteklemektedir [5-14]. Ayrıca düşük sıcaklıklarda gerilmelerin düşük olduğu, sıcaklık arttıkça gerilmelerin arttığı, diskten en iç ve en dış bölgesinde radyal gerilmelerin sıfır olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçta literatür ile uyum içindedir [14].

4. SONUÇLAR

Lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz iki farklı Disk-1 (alüminyum-titanyum) ve Disk-2 (alüminyum-dökme demir) bimateriyal diskleri için yapılan ısıl gerilme analizi sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sıcaklığın artmasıyla hem radyal hem de teğetsel gerilme değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Lineer azalan sıcaklık dağılımlarında diskte oluşan radyal gerilmeler bası gerilmesi şeklinde oluşmuştur. Teğetsel gerilmeler diskten iç kısmından orta bölgeye kadar basma gerilmesi şeklinde, orta kısımdan dış bölgeye doğru ise çekme gerilmesi şeklinde meydana gelmiştir. Tüm sıcaklık değerleri için radyal gerilme diskten en iç ve en dış kısmında sıfırdır.
- Radyal gerilmeler diskten iç kısmına yakın bölgelerinde en yüksek değerini almıştır. Bu bölgeden dış bölgeye doğru gidildikçe radyal gerilme değerlerinde azalmalar görülmüştür.
- I. malzemeden II. malzemeye geçiş bölgesinde her iki gerilme değerinde de sıçramalar olduğu görülmektedir.
- Radyal yer değiştirmeler diskten tüm bölgesinde çeki gerilmesi şeklinde yer almaktadır.
- Malzeme değişim bölgesinde radyal yer değiştirmelerde belirgin düşüşler olduğu görülmektedir.
- Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda radyal yer değiştirmelerin, elastisite modülünün sıcaklıkla sabit kaldığı durumdaki radyal yer değiştirmelere göre çok düşük azalma gösterdiği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Erdem, M.S., Aydın, K., (2006). Gaz türbinli uçak motorlarında titanyum alaşımlarının kullanımı. Mühendis ve Makine Dergisi, 47 (558), 53s.
- [2] Şen, F., Pekbey, Y., Sayman, O., (2007). Elastic-plastic stress analysis of a thermoplastic composite disc under parabolic temperature distribution. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 14, 282-288.

- [3] Çallıoğlu H., (2007). Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20, 357- 369.
- [4] 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*, 87s.
- [5] Çallıoğlu, H., Karakaya, Ş., (2008), Tabakalı bir diskin termal gerilme analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 61-68.
- [6] Pekel, H., (2014). FGM silindirlerin dinamik ısı gerilme analizi. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 88s.
- [7] Demirbaş, M.D., Apalak, M.K., (2017). Fonksiyonel olarak kademelendirilmiş modüllü Yapıştırıcı Bağlantıların Isıl Gerilme Analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 445-456.
- [8] Bağcı, M.D., (2009). Düzlem içi ısı yüküne maruz tek yönlü işlevsel kademelendirilmiş plaka ve disk bağlantıların ısı gerilme analizi. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*, 146s.
- [9] Shao, Z.S., (2005). Mechanical and thermal stresses of a functionally graded circular hollow cylinder with finite length. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 82, 155-163
- [10] Dimitoka, K., Yıldırım, B., (2003). Katmanlı ve fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerden yapılmış termal bariyer kaplamalarındaki termal gerilmelerin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 505, 34-42.
- [11] Timoshenko, S., Goodier, J.N., (1970). *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill, Newyork.
- [12] Kayıran, H.F., (2012). Disklerde Isıl Gerilme Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 65s, Isparta.
- [13] Engineering Toolbox, (2017). Date of Access: 01.08.2017. http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_773.html.
- [14] Azo Materials, (2017). Titanium - Comparison of Properties with Other Metals Date of Access:01.08.2017.<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1298>.
- [15] Şen, F., Akyüz, B.H., (2013). Sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit dönen diskteki ısı gerilmelerin analizi. *Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, 4(1), 51-60.