

# Turbo Döngüsel Motor Türbin Palet Mekanizmasında Çeşitli Kompozit ve Seramik Malzemelerin Kullanılması

Yakup İÇİNGÜR, M. Erhan ERAY

## ÖZET

Bu çalışmada, turbo döngüsel motorun palet yatağı ve palet arasındaki boşluğu azaltarak çıkış tork ve gücünü artırmak amacıyla çeşitli kompozit ve seramik malzemeler kullanılmış ve bu malzemelerin termal ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Palet mekanizmasında, referans olarak kullanılan GGG 70 malzemeden imal edilen palet kanalında, AISI M2 malzemeden imal edilen palet ile düşük çalışma boşluğunda (<10µm) çalıştırılmayan türbin, ancak 50 µm çalışma boşluğunda çalıştırılabilmektedir. Bu durum ise, türbin palet mekanizmasından yanma sonucu meydana gelen basınç kaçaklarına yol açmıştır. Turbo döngüsel motor türbin palet mekanizması için, referans motor malzemelerine göre oluşan basınç kayıplarını en aza indirebilecek ve elde edilen tork ve güç değerlerini artırabilecek çeşitli kompozit malzemeler belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, turbo döngüsel motor palet mekanizması için malzeme seçme modeli (MSM) oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler :** Turbo döngüsel motor, Tungsten karbür-kobalt, Alümina, Bor karbür, AISI M2, Malzeme seçme modeli (MSM)

# The Using of Various Ceramic and Composite Materials in the Turbo Rotary Engine Turbine Vane Mechanism

## ABSTRACT

In this study, to decrease the clearance between the vane guide and the vane of the turbo rotary engine, composite and ceramic materials had thermally and tribologically been investigated. Vane mechanism used as reference engine could not be worked at the lower clearance (<10µm) with the vane channel made of the GGG 70 material and the vane made of AISI M2. Vane mechanism could have worked with 50 µm clearance. This situation caused the pressure leakage from the turbine vane mechanism. Composite and ceramic materials were determined to minimize the pressure leakage and to increase the torque and power values obtained to the reference turbo rotary engine turbine vane mechanism. As a result of the observations, the material selection model (MSM) was developed for the turbo rotary engine turbine vane mechanism.

**Key Words :** Turbo rotary engine, Tungsten carbide-cobalt, Alumina, Boron carbide, AISI M2, Material selection model (MSM)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanım alanı bulunan kompozit ve seramik malzemelerin üretimi son birkaç yüzyıla mal edilmiş gibi görülse de ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile makine elemanlarından beklenen performans yükselmektedir. Konvansiyonel malzemeler bir yere kadar beklentileri karşılarken belli bir noktadan sonra yetersiz kalmaktadırlar. Kompozit malzemeler bu anlamda önemli bir alternatiftir. Kompozit malzemeler yeni bir malzeme türü değildir. Çok basitleştirilmiş bir ifade ile iki farklı malzemenin birbirleri ile tepkimeye girmeden, moleküler

*Makale 28.01.2010 tarihinde gelmiş 17.05.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*Y. İÇİNGÜR, M. Erhan ERAY, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü  
e-posta : erhaneray@hotmail.com, icingur@gazi.edu.tr  
Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.1.21-27.*

anlamda alaşım oluşturmadan aynı hacimde görev yapabildikleri malzemelerdir. Hibrit yapıları itibarı ile mekanik, tribolojik ve ısıl davranışları normal malzemelerden daha karmaşıktır. Başka bir ifadeyle; kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin, yeni bir malzeme oluşturmak üzere makro ya da mikro seviyede birleşmesidir [1].

Gelişen teknoloji ile özel karakterlere sahip malzeme gereksinimi çok büyük bir hızla artmaktadır ve bu hızla orantılı olarak metal alaşımlar gereksinimi karşılayamaz hale gelmiştir. Yüksek mukavemet ve ısıl direnç özelliğini sağlayan homojen bir malzemenin bulunması araştırmacıları yeni arayışlara yönlendirmiştir. Bu arayışlar sonucunda birçok özelliği bir arada bulunduran ideal malzeme kombinasyonları, metal ve seramikler önem kazanmıştır. Bu malzeme çiftinden metal, tokluğa, elektrik geçirgenliğine, işlenebilirliğe, seramik ise; düşük yoğunluğa, yüksek mukavemete, katılığa ve ısıl dirence sahiptir [2].

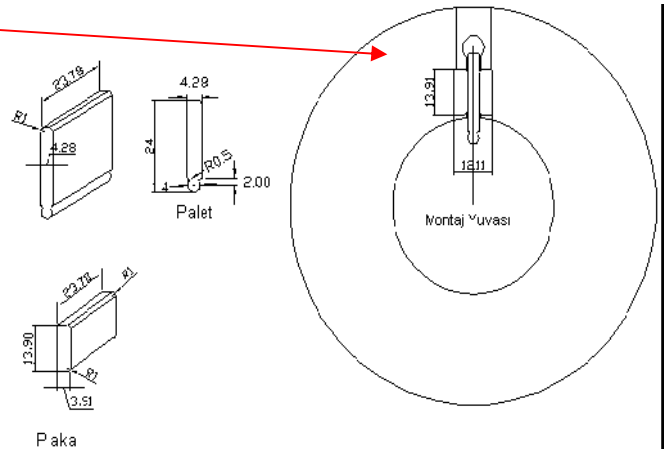
## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Karaaslan ve arkadaşlarının yapmış olduğu,  $Al_2O_3$  ve SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mekanik Davranışları isimli çalışmada, alüminyum oksit ve silisyum karbür takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Yapılan çalışmada, alüminyum oksit ve silisyum karbür takviyeli kompozit malzemeler toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş, elde edilen sonuçlar, üretilen kompozit malzemenin elastiklik modülü ve mikro yapısına göre yorumlanmıştır. Deneylere farklı hacimlerde takviye elemanı kullanılarak devam edilmiş ve araştırmada elde edilen sonuçlara göre %5 ve %10 takviye elemanı içeren alüminyum matrisli kompozit malzemenin mekanik özellikleri, %15 ve %20 takviye elemanı içerenlere göre daha üstün olarak belirlenmiştir [3].

Shorowordi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda,  $B_4C$ , SiC ve  $Al_2O_3$  (Hacimce %0-20) katkı fazı içeren Alüminyum metal matrisli kompozitler incelenmiştir. Tozlar, karıştırılarak dökülmüş ve ardından da sıcak ekstrüzyona tabi tutulmuştur. Al- $B_4C$  ve Al- $Al_2O_3$  iç yüzeylerinde reaksiyon ürünü gözlenmemiştir. Diğer yanda, Al- $B_4C$  kompozitlerdeki iç yüzeyden uzakta, ikincil faz (Al ve diğer Al içeren fazlar, boron ve karbür) Al matriste bulunmakta olup, kırılma yüzey analizlerinden,  $B_4C$  katkı fazlı Al kompozitinin diğer iki kompozite nazaran daha iyi iç yüzey bağına sahip olduğu saptanmıştır. [4].



Resim 1. Türbin palet kanalına açılan montaj yuvası



Şekil 1. Montaj yuvası ölçüleri ile birlikte imâl edilen palet ve plaka ölçüleri

esaslı alaşım/ $ZrO_2$ ,  $TiB_2/Cu$  ve  $TiC/Ni$  FDM'leri üretilmiştir. Çalışmalar sonucunda FDM'lerin termal şok, yorulma direnci ve termomekanik özellikleri geliştirilmiş, uzay araçları üzerinde yapılan malzeme testleri ise FDM'lerin süper ısı direnç malzemesi olarak kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır [5].

## 3. MATERYAL VE METOT

### 3.1. Turbo Döngüsel Motor (TDM) Palet ve Palet Kanalına Kompozit ve Seramik Malzeme Uygulamaları

Turbo döngüsel motor türbin palet mekanizması için kompozit malzeme uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla türbin haznesindeki palet kanalına tel erozyon yöntemi ile açılan yuvalar Resim 1'de gösterilmiştir. Resim 1'de gösterilen yuvalar ve palet için aşağıda belirtilen kompozit malzemeler, Şekil 1'de verilen ölçülerde üretilip turbo döngüsel motor türbinine palet ve plakalar arasındaki çalışma boşluğu 10  $\mu m$  olacak şekilde monte edilmiştir. Ayrıca palet ölçüsünün hazne genişliğinden 10  $\mu m$  daha küçük olmasına böylece paletin çalışırken türbin kapaklarına temas etmemesine özellikle dikkat edilmiştir. Palet ve plakaların imalatı esnasında yüzeylerin birbirleriyle olan paralellik ve dikliklerine dikkat edilmiştir.

Referans motorda kullanılan AISI M2 (Çelik) palet ve GGG 70 (küresel grafitli dökme demir) gövde malzemeleri yerine, turbo döngüsel motor türbin palet mekanizmasına uygulanan kompozit ve seramik malzemeler;

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerde termal gerilmelerle ilgili bilgileri geliştirmek amacıyla "Research on the Basic Technology for the Development of Functionally Gradient Materials for Relaxation of Thermal-Stress" adı altında STA tarafından desteklenen bir proje başlatılmıştır. Bu projenin hedefi; gelecekteki uzay programları için ısı-kalkanlı yapısal malzeme geliştirmektir. Çeşitli kuruluşlardan, üniversitelerden, enstitülerden ve firmalardan katılan 17 bilim adamı bu konu üzerinde çalışmaya başlamıştır. Projenin henüz başlarında SiC/C, PSZ/SUS 304, Ni-

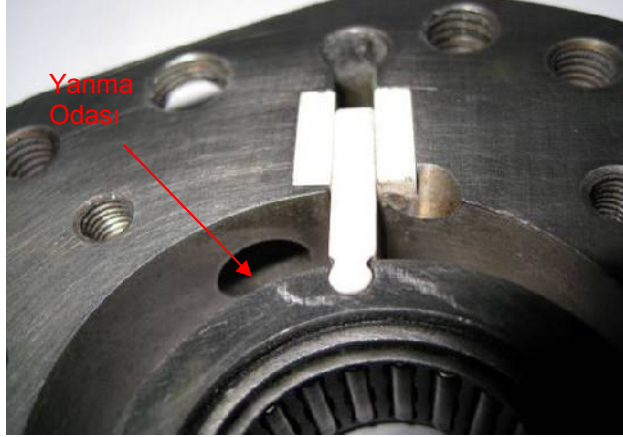
1. Bor Karbür ( $B_4C$ )
2. Tungsten Karbür-Kobalt (WC %94-Co%6) Alaşımı
3. Alümina ( $Al_2O_3$ ) olarak sıralanmaktadır.

### 3.2. TDM palet ve hazne kanalına alümina ( $Al_2O_3$ ) uygulaması

Turbo döngüsel motor türbinini için alümina palet ve plakaları imâl edebilmek amacıyla Resim 2 'de gösterilen kalıplar imal edilmiş ve bu kalıplar yardımı

ile alümina parçalar alümina tozundan pres yöntemi ile imâl edilebilmiştir.

Pres yöntemiyle şekillendirilen alümina parçalar 1550 °C’de sinterlenerek üretilmiştir. Üretilen alümina



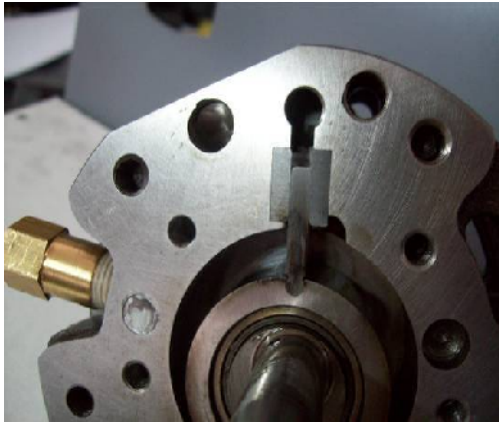
Resim 2. Montajı yapılmış alumina ( $Al_2O_3$ ) palet ve plakalar

parçalar c-BN diskler yardımı ile taşlanarak Şekil 1’de gösterilen ölçülerde işlenmiştir.

Turbo döngüsel motor çalıştırıldıktan sonra montajı yapılan alümina parçaların çalışma esnasında oluşan basınç dalgalarına karşı dayanıklı olduğu anlaşılmıştır. Resim 3’de görüldüğü gibi çalışma esnasında oluşan yanmanın etkisiyle türbin testleri sonrasında özellikle yanma odası tarafında alümina palet ve plakalarda kararma olduğu, ancak herhangi bir aşınma olmadığı gözlenmiştir.

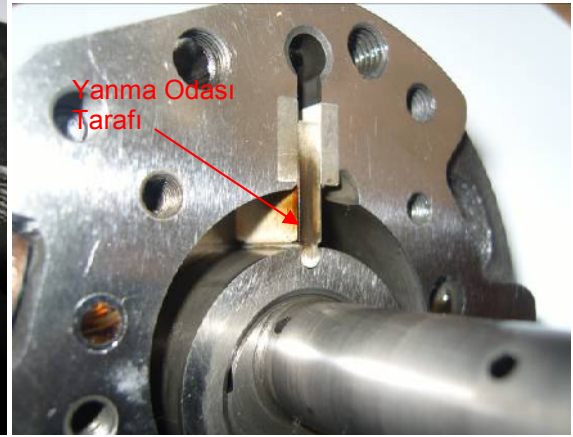
### 3.3. TDM palet ve hazne kanalına tungsten karbür/kobalt (WC %94-Co%6) Uygulaması

Turbo döngüsel motor türbini için tungsten karbür-kobalt (WC-Co) alaşımından imâl edilen palet ve plakalar tel erozyon yöntemi ile Şekil 1’de gösterilen ölçülerde işlenmiş ve Resim 4’de gösterildiği gibi palet ve plakalar arasında 10 µm boşluk olmasına dikkat edilerek montajı yapılmıştır.



Resim 4. WC-Co alaşımından imâl edilen palet ve plakalar

Tungsten karbür-kobalt (WC-Co) alaşımından imâl edilen palet ve plakaların turbo döngüsel motor türbinine montajı yapıldıktan sonra motor çeşitli hızlarda ve hava debilerinde çalıştırılarak gücü



Resim 3. Türbin testlerinden sonra alümina palet ve plakaların durumu

ölçülmüş, çalışma sonucunda palet ve plakalarda herhangi bir deformasyon tespit edilmemiştir.

### 3.4. TDM palet ve hazne kanalına bor karbür ( $B_4C$ ) uygulaması

$B_4C$  plakalar hazne kanalına tel erozyon yöntemi ile yuvalar açılarak yerleştirilmiştir.  $B_4C$  palet ve plakalar aralarında 10 µm boşluk olacak şekilde montajı yapılmış ve çalıştırılmıştır. Ancak çalışma esnasında oluşan patlama etkisi ile oluşan basınç dalgasına  $B_4C$  palet dayanamayıp kırılmıştır.  $B_4C$  Palet ve plakaların deformasyonu ile ilgili tespitler sonucu kırılma tokluğu daha yüksek fakat ısıl genleşme ısıl iletkenliği ve sertlik değerleri bor karbür değerlerine metallere daha yakın Tungsten karbür-kobalt, alumina, gibi malzemeler ele alınmıştır.

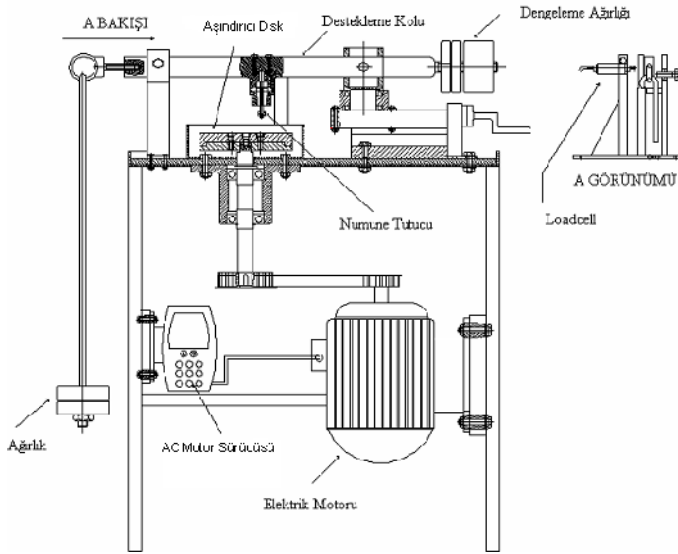
### 3.5. Aşınma Deneyleleri

Yüzey pürüzlülüğü “Mitutoyo” marka “Surftest 211” model profilometre cihazıyla yapılmıştır (Resim 5). Her bir numune 3 defa ölçülerek değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Aşınma deneyleleri, abrazyon aşınma yöntemi olan “pin on disc” yöntemi kullanılarak 3000 saniye süreyle devam ettirilmiştir. Deneylelerde aşındırıcı disk olarak SAE 52100 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Aşındırıcı disk sabit olarak 1m/s hızda hareket ettirilip, deney numunesine 20 N’luk kuvvet etki ettirilerek disk üzerine iletilen kuvvet ölçülmüş ve sürtünme katsayısı hesaplaması  $\mu = F/N$  eşitliğine göre yapılmıştır [6]. Deneylelerde kullanılan Pin on disc” Yöntemi ile aşınma ve sürtünme katsayısı deney düzeneği Şekil 2’de görülmektedir.

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

F : Ölçülen kuvvet (N)

N : Uygulanan kuvvet ( 20 N )

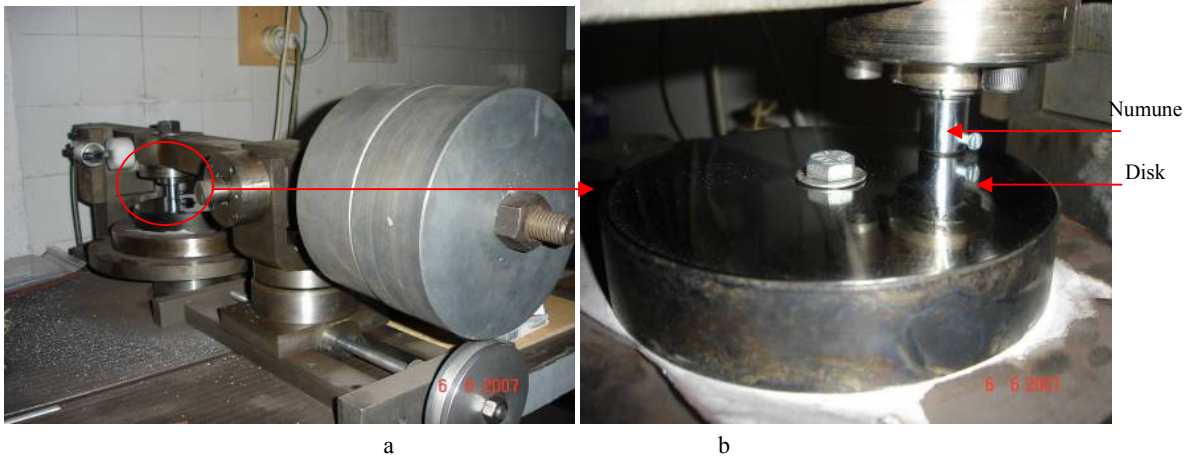


Şekil 2. "Pin on disc" Yöntemi ile aşınma ve sürtünme katsayısı deney düzeneği

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

##### 4.1. Malzeme Seçim Modeli

Belirtilen amaç doğrultusunda öncelikle malzeme seçimi Malzeme Seçme Modeline (MSM) göre yapılmıştır. Modelde belirlenen özellikler, turbo döngüsel motor türbini palet mekanizması için öncelikli dokuz kriter olup referans olarak belirlenen palet malzemesi AISI M2 ve palet kanalı malzemesi GGG 70 ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Sonuç olarak Çizelge 2'de belirtilen MSM seçim kriterleri ve puanlama tablosuna göre puanlanıp, toplanan puanlar Çizelge 3'de verilmiştir. Seçim kriterlerinde verilen puanlar malzeme değerlendirme tablosunda gösterildiği gibi birbirleriyle çarpılarak, her bir malzeme ve tüm kriterlerden maksimum puan alan ideal malzeme için puanlar belirlenmiştir. Böylece malzemelerin puanlarına bakılarak, hem kendi aralarında hem de referans olarak belirlenen AISI M2 ve GGG 70 malzemelerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca denenen malzemelerin ideal malzeme ile karşılaştırılabilme imkânı da ortaya çıkmıştır.



Resim 5. "Pin on disc" Yöntemi ile aşınma deney düzeneği, Genel görünüm, b) Ölçüm yapılan numune ve aşındırıcı disk

Çizelge 1. Turbo döngüsel motor türbini palet mekanizmasında kullanılan öncelikli malzeme Özellikleri (7, 8, 9, 10, 11)

ÖZELLİKLER	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Alümina	B <sub>4</sub> C Bor Karbür	WC-Co Tungsten Karbür-kobalt	GGG 70 Çelik	AISI M2 küresel grafitli dökme demir
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	3,42	2,3	14.95	7,25	8,1
Kırılma Dayanımı, MPa.m <sup>1/2</sup>	4	2,5	10	54	[102]12-17
Sertlik, MPa	18000	38100	15200	3200	6835-7846
opma Mukavemeti, MPa	520	261	1440	1000	1000
Maks. Çalışma Sic., K	1400	2000	1300	723	833
Isıl Genleşme, 10 <sup>-6</sup> /K	4,5	3,2	5	12,5	11,5
Isıl İletkenlik, W/m.K	16	17	80	44	19
İşlenebilme Maliyeti, TL	1500	1000	400	400	400
Malzeme Fiyatı, \$	50	500	600	10	60

Çizelge 2. MSM seçim kriterleri ve puanlama tablosu

ÖZELLİKLER	KRİTERLER	PUANLAMA	AÇIKLAMA
#1 Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk ≤7 7<Yoğunluk≤ 10 Yoğunluk>10	5 4 3	
#2 Kırılma Dayanımı, MPa.m <sup>1/2</sup>	Kırılma Dayanımı>12 12≥Kırılma Dayanımı>8 8≥ Kırılma Dayanımı>6 6≥ Kırılma Dayanımı>3 3≥ Kırılma Dayanımı	5 4 3 2 0	Uygun değil
#3 Sertlik, MPa	Sertlik ≥15000 15000≥ Sertlik>10000 1000≥ Sertlik >5000 5000≥ Sertlik >2500 2500≥ Sertlik	5 4 3 2 1	Uygun değil
#4 Kopma Mukavemeti, MPa	Kopma Mukavemeti≥1500 1500>Kopma Mukavemeti≥900 900>Kopma Mukavemeti≥600 750>Kopma Mukavemeti≥400 400> Kopma Mukavemeti	5 4 3 2 1	
#5 Maks.Çalışma Sıc., K	Maks.Çalışma. Sıc. ≥1300 1300>Maks.Çalışma. Sıc.≥1100 1100>Maks.Çalışma. Sıc.≥900 900>Maks.Çalışma. Sıc.≥723 723> Maks.Çalışma. Sıc.	5 3 2 1 0	Uygun değil
#6 Isıl Genleşme, 10 <sup>-6</sup> /K	3> Isıl Genleşme≥1 6> Isıl Genleşme≥3 8>Isıl Genleşme ≥ 6 12>Isıl Genleşme ≥ 8 Isıl Genleşme ≥12	5 4 3 1 0	Uygun değil
#7 Isıl İletkenlik, W/m.K	10> Isıl İletkenlik 10> Isıl İletkenlik≥20 20>Isıl İletkenlik≥40 40>Isıl İletkenlik≥80 Isıl İletkenlik≥80	5 4 3 2 1	
<b>Parça Maliyeti</b> 1. Malzeme Maliyeti 2. Parça İşleme Maliyeti 3. Malzeme Tedarik İmkânı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parça Maliyeti Kriterlerinin hepsi olumlu</li> <li>• İki olumlu, biri olumsuz</li> <li>• Biri olumlu, ikisi olumsuz</li> <li>• Hepsi olumsuz</li> </ul>	5 3 2 0	Uygun değil

Çizelge 3. Malzeme değerlendirme tablosu

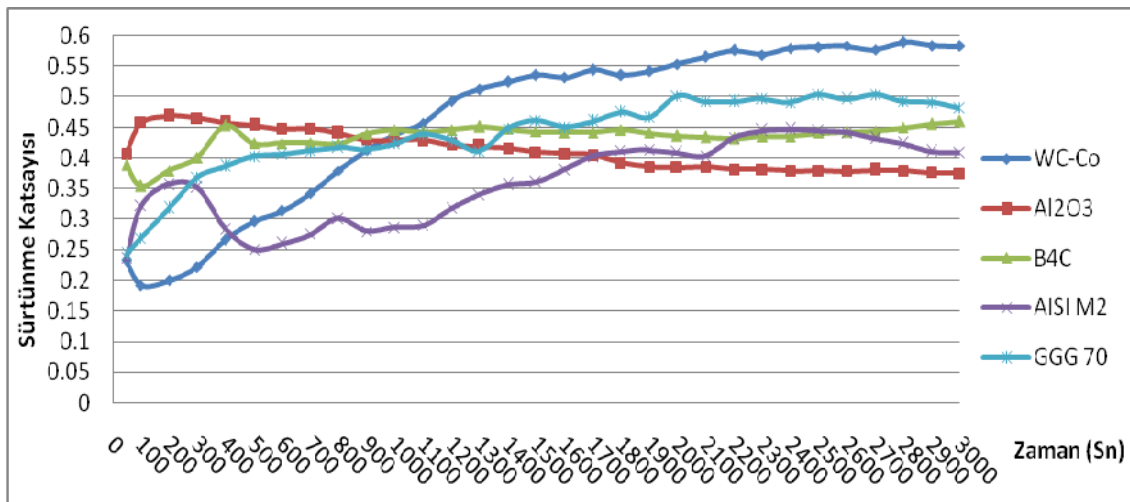
Malzeme	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	Çarpım	Açıklama
İdeal Malzeme	5	5	5	5	5	5	5	5	390625	
GGG 70 (Referans)	4	5	2	4	1	0	2	5	0	Uygun Değil
AISI M2 (Referans)	4	5	3	4	1	1	4	5	4800	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	2	5	2	5	4	4	2	16000	
B <sub>4</sub> C	5	0	5	1	5	4	4	2	0	Uygun Değil
WC-Co	3	3	5	4	5	4	2	2	14400	

Turbo döngüsel motor türbin palet mekanizmasının çalıştırılabilmesi için kullanılması düşünülen malzemelerin tribolojik testleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar referans motor malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. MSM modeline göre, turbo döngüsel motor türbini palet mekanizması için belirlenen öncelikli malzeme özellikleri doğrultusunda puanlanan malzemeler, palet mekanizmasında kullanılabilirliği yönünden değerlendirilmiş ve en uygun malzemenin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu, diğer en uygun malzemenin de WC-Co belirlenmiştir.

#### 4.2 Aşınma Deney Sonuçları

Malzemelerin türbin palet mekanizmasında yüksek devirlerde çalıştırılabilmesi için referans olarak alınan AISI M2 ve GGG70 malzeme çiftinden daha az aşınma ve daha düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olması gerektiği düşünülerek öncelikle aşınma miktarlarını ve sürtünme katsayılarını belirlemek amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin sürtünme katsayılarını bulabilmek amacıyla yapılan ölçümlere göre sürtünme katsayısı en düşük olandan en yüksek olana sıralaması Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AISI M2, B<sub>4</sub>C, GGG 70,

WC-Co olmuştur (Şekil 3). Pin-on disc yöntemiyle yapılan aşınma deneylerinde, zamana bağlı olarak malzemelerin en fazla aşınandan en az aşınana doğru sıralaması GGG 70, AISI M2, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WC-Co, B<sub>4</sub>C, olmuştur (Çizelge 4). Malzemelerin ortalama pürüzlülük (Ra) ve on nokta yükseklik ortalaması (Rz) değerleri ölçülmüş ve sonuç olarak pürüzlülük değerleri düşük olandan yüksek olana numunelerin sıralaması; WC-Co, AISI M2, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GGG 70 olmuştur (Çizelge 5). Ayrıca tribolojik deneyler sonucunda aşınma miktarı düşük olandan yüksek olana numunelerin sıralaması; WC-Co, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AISI M2, GGG 70 olmuştur. Yapılan tribolojik deneylerden anlaşılmaktadır ki malzemelerin başlangıçtaki pürüzlülük değerleri dinamik sürtünme katsayısını etkilememektedir (12). Ayrıca aşınma miktarını etkileyen en önemli malzeme özelliğinin ise malzemenin sertliği olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Numunelerin zamana bağlı sürtünme katsayıları grafiği

Çizelge 4. Deney numunelerinin aşınma miktarları

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WC-Co	B <sub>4</sub> C	GGG 70	AISI M2
<b>Aşınma Miktarı (mg)</b>	6,4	5,1	4,5	21,4	11,2

Çizelge 5. Numunelerin ölçülen pürüzlülük değerleri

<b>Ölçülen Değer</b>	B <sub>4</sub> C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WC-Co	AISI M2	GGG70
Ra (µm) Ortalama Pürüzlülük	0,157	0,52	0,083	0,103	0,71
Rz (µm) On nokta yükseklik ort.	1,367	2,867	0,533	0,86	4,63

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Turbo döngüsel motor türbin palet mekanizmasında kullanılan farklı malzemelerden imâl edilen palet ve plakalarla yapılan tribolojik deneylerden yola çıkarak MSM (Malzeme Seçme Modeli) oluşturulmuştur. MSM’de malzemelerin birbirleriyle ve mekanizma için ideal olan malzeme ile kıyaslanabilme imkânı ortaya çıkmıştır. MSM’ye göre, turbo döngüsel motor türbini palet mekanizması için belirlenen öncelikli malzeme özellikleri doğrultusunda puanlanan malzemeler, palet mekanizmasında kullanılabilirliği yönünden değerlendirilmiş ve en uygun malzemenin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu belirlenmiştir.

Ancak turbo döngüsel motorun geliştirme sürecinde hâlihazırda ulaşılan motor hızlarından daha yüksek hızlarda çalıştırılması hedeflenmektedir. Yüksek hızlarda meydana gelecek yüksek basıncın oluşturacağı basınç dalgalarının palet mekanizması üzerine etkisinin paleti daha fazla kırılmaya zorlayacak olması. Kırılma dayanımı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e göre çok daha yüksek olan WC-Co

malzeme ile turbo döngüsel motorun geliştirme çalışmalarına devam edilmesinin de uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- İnternet: Tübitak “Geleceğin Malzemeleri”, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yeniufuk/icerik/gelcekmalzeme.pdf> (2004).
- [http://www.scientific.net/Functionally\\_Graded\\_Materials\\_FGMs.htm](http://www.scientific.net/Functionally_Graded_Materials_FGMs.htm) (2007).
- Karaaslan, A., Topuz, A., Yıldırım, S., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mekanik Davranışları”, *6. Uluslararası Kırılma Konferansı*, 169-176 (2003).
- Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., “Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3): 738-743 (2003).
- Koizumi, M., "FDM Activities in Japan", *Composites*, Part B, PII: S1359-8368(96)00016-9 (1996).
- ASTM G99 - 05, “Standard Test Method For Wear Testing With APinOnDisc Aparatus” ASTM standard, (2008).
- İnternet: “Journal of Materials Online”, <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1721> (2009).
- İnternet: “Journal of Materials Online”, <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=3543> (2009).
- İnternet: “Journal of Materials Online”, <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1203> (2009).
- İnternet: “Journal of Materials Online”, <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=2278> (2009).
- İnternet: “Journal of Materials Online”, <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=797> (2009).
- Gomes, M.A., Wronski, A.S., Wright, C.S., “Fracture Behaviour of a Highly Alloyed High Speed Steel”, *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 18(1): 1-18 (2007).