

KOMPOZİT MALZEMELERİN SÜRÜNME DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Hasan YILDIZ , Gürkan ERAL

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova/İzmir

Geliş Tarihi : 11.07.2003

ÖZET

Bu çalışmada farklı sıcaklık ve gerilme değerlerinde, SiC elyaf destekli Al-6061 alaşımı metal matris kompozitin sürünme davranışı incelenmiştir. Al-6061 malzemesinin deneysel sürünme eğrisi grafikleri literatürden elde edilip, bu eğrilerden alınan noktalar, en küçük kareler yöntemi kullanılarak, Norton-Bailey sürünme denkleminde göre sürünme davranışını karakterize eden sabitleri bulmak için kullanılmıştır. Elde edilen sürünme parametrelerini kullanarak SiC/Al metal matris kompozitin sürünme analizi ANSYS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen sürünme uzaması eğrileri literatürden elde edilen kompozitin sürünme uzaması eğrileri ile karşılaştırıldı. Analiz sonunda elde edilen sonuçlarla literatürdeki sonuçlar arasında çok iyi bir benzerlik olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, SiC/Al metal matris kompozitin Al-6061 malzemesine göre çok daha az oranda sürünme uzaması davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Metal matris kompozitler, Sürünme, Norton-Bailey sürünme denkleminin, Sonlu elemanlar yöntemi

INVESTIGATION OF CREEP BEHAVIOUR OF COMPOSITE MATERIALS WITH THE FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

In this study, the creep behavior of a unidirectional silicon carbide/aluminum (SiC/Al) composite investigated over a temperature range at various stress levels. Norton Bailey creep model is used for the creep behavior of aluminum matrix. The creep coefficients of the model are obtained from the experimental creep curves given in the literature. The least squares method is used to determine the appropriate constants. The finite element analysis package ANSYS is used to obtain the creep behavior of the composite. The results obtained in this study is compared the results given in the literature. A good agreement between these results is found. The effect of the fibers on the creep behavior of the composite is also studied.

Key Words : Metal matrix composites, Creep, Norton-Bailey creep equation, The finite element method

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkan en önemli teknolojik buluşlardan biridir. Kompozitlerin başlıca bileşenleri destek elemanları ve matrislerdir. Destek tiplerine göre kompozit malzemeler farklılıklar gösterir. Bu destek tiplerinden biri olan elyaf katkılı kompozit

malzemeler, matris malzemesinin içine elyafların yerleştirilmesiyle oluşturulur. Kompozitin yük taşıyıcı bileşeni elyaflar, malzemenin dayanımını artırır, termal gerilmelere direnç gösterir, diğer bazı mekanik ve termomekanik özelliklerini iyileştirir. Matris ise genelde elyafı dış faktörlerden koruyan, elyaflar arasında yük dağıtımını görevi üstlenir ve elyafları arzulanan konum ve doğrultuda tutan bağlayıcı özelliği olan bir yapıdır. Farklı

özelliklerdeki matris ve elyafların birleştirilmesiyle kompozitler meydana gelir.

Elyaf katkılı kompozit malzemelerin özgül ağırlık, dayanım-ağırlık oranı ve modül-ağırlık oranı gibi mekanik özellikleri metal malzemelerden daha iyidir. Bu özelliklerinden dolayı elyaf katkılı kompozitler yapısal malzemelerin içinde önemli bir yere sahiptir.

Seramik elyaflar; metal, seramik ve polimer matris kompozitlerinde ve yüksek sıcaklık uygulamaları

için son derece yaygın şekilde kullanılırlar. Yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılan seramik elyaflara iki örnek silikon karbür (SiC) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) verilebilir. Bu elyafların erime noktaları sırasıyla 2830 °C ve 2045 °C değerlerindedir. Silikon karbürün ve alüminyum oksitin dayanımları sırasıyla 650 °C ve 1370 °C sıcaklıklarına kadar iyidir. Silikon karbür katkılı titanyum, alüminyum ve seramik kompozitlerin elastik modülleri, ağırlıkları ve yüksek sıcaklıklarda özelliklerini korumaları avantajlarındandır (Tablo 1).

Tablo 1. Metal Matris Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri

Özellik	SiC/Al	Grafit/Al	Çelik	Al
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.6	2.2	7.8	2.6
Young Modülü (GPa)	117.2	124.1	206.8	68.95
Çekme Dayanımı (MPa)	1206	448.2	648.1	234.4
Isıl Genleşme Katsayısı (α m/m/°C)	12.4	18	11.7	23

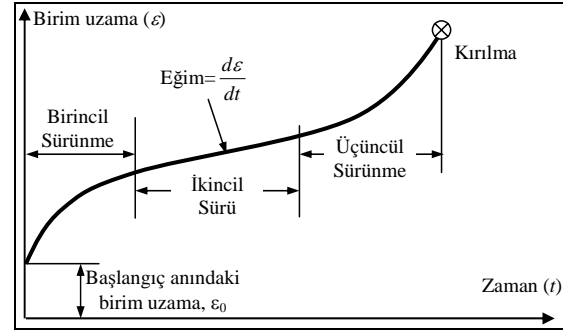
Alüminyum ve alaşımları metal matrisler arasında en dikkat çekenidir. Korozyon direnci, yüksek çekme dayanımı ağırlık oranları iyi olduğu için saf alüminyum, 201, 6061 ve 1100 gibi alüminyum alaşımları uygulamalarda oldukça sık kullanılırlar.

2. SÜRÜNME

Sürünme, bir malzemenin sabit bir yük veya gerilme altında uğradığı plastik deformasyonun zamana bağlı değişimini ifade eder. Malzemenin sürünme davranışını etkileyen faktörlerin başlıcaları malzeme tipi, sıcaklık, yükleme şekli ve miktarıdır. Buna çevre şartları ve malzeme bileşenlerinin özellikleri de eklenebilir. Sürünme miktarının yüksek olması istenmeyen bir özelliktir. Sıcaklık ve yükleme miktarı arttıkça sürünme hareketinde artış meydana gelir.

Bazı mühendislik uygulamalarında malzemeler yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu uygulamalara gaz türbinlerinde bulunan türbin pervaneleri örnek olarak gösterilebilir. Sözü edilen kanatlar yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Ayrıca türbinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için kanatlardaki uzama miktarının belirli değerlerde tutulması gerekir. Bu nedenle kullanılacak malzemenin sürünme miktarının istenilen sınırlarda olmasını gerektirir. Bu yüzden yüksek sıcaklıklara veya gerilmelere maruz kalan malzemelerin sürünme hareketlerini kısıtlamak için malzemenin iç yapısında değişiklikler yapmak yaygın bir yöntemdir. Bu sayede malzemenin, sürünme davranışına karşı direnç göstermesi sağlanır.

Sürünme, Şekil 1'de görüldüğü gibi belli zaman aralıklarında üç farklı davranış gösterir: Birincil Sürünme, İkincil Sürünme, Üçüncül Sürünme.



Şekil 1. Bir metal için tipik bir sürünme eğrisi. Eğri sabit bir sıcaklıkta ve yükte malzemenin zamana bağlı birim uzama miktarını ifade eder

Malzeme sabit sıcaklık ve gerilme altında, önce anlık olarak elastik bir uzamaya uğrar. Daha sonra birincil sürünme hareketi yapar. Bu davranış Arrhenius denklemiyle;

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^{m_1} t^{n_1} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Burada; A, m₁ ve n₁ malzeme sabitleri, ε' birim uzunluktaki sürünme miktarı, σ gerilme, t zaman, Q malzemenin iç enerjisi, R evrensel gaz sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. n₁ sabiti 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu aşamada sürünme hızı önemlidir. Sürünme hızı malzemenin uğradığı sürünme miktarının zamana bağlı değişimini ifade eder ve Arrhenius denkleminin zamana göre türevini olarak;

$$\dot{\varepsilon}' = \frac{d\varepsilon'}{dt} = A n_1 \sigma^{m_1} t^{n_1-1} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (2)$$

elde edilebilir. Bu sayede eğri, zamanın artmasıyla azalan bir sürünme hızına sahip olur. Başka bir deyişle sadece birincil sürünme davranışı gösteren bir malzeme için, sürünme hızı zaman arttıkça sıfır değerine yaklaşır.

İkincil sürünme aşaması zamanla lineer olarak değişen bir davranıştır ve

$$\varepsilon'' = B \sigma^{m_2} t e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (3)$$

olarak ifade edilir. İkincil sürünme bölgesinde sürünme hızı sabittir. Başka bir deyişle ikincil sürünme bölgesini ifade eden eğrinin eğimi sabittir ve aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\dot{\varepsilon}'' = \frac{d\varepsilon''}{dt} = B \sigma^{m_2} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (4)$$

Üçüncül sürünme hareketinde sürünme zamanla artış gösterir ve belirli bir noktada kırılma meydana gelene kadar ilerler.

Mühendislik uygulamalarında genellikle birincil ve ikincil sürünme hareketi göz önüne alınır. Eğer uygulama küçük zaman aralıklarında gerçekleşiyorsa yada sürünmeye karşı yüksek dayanımlı malzeme kullanılıyorsa sadece birincil sürünme hareketini dikkate almak yeterlidir. Örneğin seramik kökenli kompozitlerde genellikle bu tip sürünmeye rastlanır.

Bazı uygulamalarda malzemenin birincil ve ikincil sürünme hareketinin beraber incelenmesi gerekir. Bu durumda sürünme denklemi;

$$\varepsilon = A \sigma^{m_1} t^{n_1} e^{-\frac{Q}{RT}} + B \sigma^{m_2} t e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (5)$$

şeklini alır. Görüldüğü gibi yukarıdaki denklem sıcaklığa bağlıdır. Uygulamalar sabit sıcaklıkta yapılırsa denklem daha sade bir hale getirilebilir. Bu denklem sıcaklığa bağlı olmayacak şekilde düzenlenirse

$$\varepsilon = A' \sigma^{m_1} t^{n_1} + B' \sigma^{m_2} t \quad (6)$$

denklemi elde edilir. Bu denklemde A' ve B'

terimleri $e^{-\frac{Q}{RT}}$ ifadesini de içermektedir.

2. 1. Metal Matris Kompozitlerin Sürünme Davranışı

Yüksek sıcaklıktaki mühendislik uygulamalarında, metal matris kompozitleri, yükleme şartlarının, çevrenin ve bileşen özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sürünme deformasyonuna uğrar. Hesaplamalarda genellikle sadece matrisin sürünmeye uğradığı, elyafların elastik şekil değiştirdiği ve sürünmeye uğramadığı kabul edilir. Bu da elyaf doğrultusunda sürünme direnci yaratır. Tek yönlü kompozitlerde, diğer termomekanik özellikler gibi sürünme davranışı da anizotropiktir. Bu durum uzunlamasına doğrultuda çok küçüktür ve ihmal edilebilir fakat enine doğrultuda dikkate alınmaya değerdir.

Bullock et al., (1997) kompozitlerin uzunlamasına eksen doğrultusundaki sürünme davranışını modelleyen analitik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sürünme davranışı gösteren matris ve sürünmeyen elyaf yaklaşımı McLean (1983) ve Goto and McLean (1991) ve tarafından kullanılmıştır. Elyaf destekli kompozit malzemelerin elyaf eksenlerine dik doğrultudaki sürünme davranışını inceleyen az sayıda deneysel çalışma vardır (Benianda and Robinson, 1991; Lee et al., 1991; Chun and Daniel, 1995; Chun and Daniel, 1997).

3. SÜRÜNME DAVRANIŞININ MODELİ

3. 1. Malzeme Bileşenlerinin Sürünmesi

Silisyum karbür (SCS-2) elyaf ve 6061 alüminyum matristen oluşan bir metal matrisli kompozit incelendiğinde, elyafın sürünmeye uğramadığı kabul edilebilir (Chun and Daniel, 1997). Matris ise Bailey-Norton bağıntısına göre birincil ve ikincil sürünme hareketine maruz kalır. Kompozit bir yapıya bir dış kuvvet uygulandığında malzeme bileşenlerine üç eksenli bir gerilme etki eder. Bu durumda eşdeğer gerilme kullanılarak üç boyutlu problemten tek boyuta indirgeyerek modelleme yapılır, sistemin çözümü basitleştirilir. Bu yöntem genellikle plastik davranışların incelenmesinde kullanılır. Sürünme davranışının hareket denklemi Prandtl-Reuss akış kanunu kullanılarak zamana bağlı plastik davranış olarak ele alınabilir. Böylece matrisin sürünme hızı;

$$\dot{\varepsilon}_{mij} = \lambda_m s_{mij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (7)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; λ_m akış sabiti, s_{mij} matris gerilme tansörüdür. Matris gerilme tansörü;

$$s_{mij} = \sigma_{mij} \frac{1}{3} \sigma_{mkk} \delta_{ij} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (8)$$

eşitliği ile verilir. Eşdeğer matris sürünme gerilmesi;

$$\sigma_{me} = \sqrt{3s_{mij}s_{mij}/2} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (9)$$

olarak tanımlanabilir. Eşdeğer matris sürünme şekil değişimi oranı benzer şekilde;

$$\dot{\epsilon}_{me} = \sqrt{3\dot{\epsilon}_{mij}\dot{\epsilon}_{mij}/2} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (10)$$

olarak ifade edilebilir. (7), (9), ve (10) denklemlerinden matrisin akış sabiti;

$$\lambda_m = \frac{3}{2\sigma_{me}} \frac{d\epsilon_{me}}{dt} \quad (11)$$

olarak hesaplanır. Bailey-Norton ve eşdeğer sürünme eşitlikleri göz önüne alınarak;

$$\epsilon_{me}^I = A\sigma_{me}^{m_1} t^n, \quad \epsilon_{me}^{II} = B\sigma_{me}^{m_2} t^n \quad (12)$$

ifadeleri elde edilir. Bu denklemdeki A, B, m_1 , m_2 ve n malzeme sabitleridir. Matrisin toplam eşdeğer sürünme uzaması iki terimi toplayarak aşağıdaki gibi;

$$\epsilon_{me} = A\sigma_{me}^{m_1} t^n + B\sigma_{me}^{m_2} t^n \quad (13)$$

ifade edilebilir. (7), (11) ve (13) denklemlerinden matrisin sürünme hızı;

$$\dot{\epsilon}_{mij} = \frac{3}{2}s_{mij}A\sigma_{me}^{m_1-1} t^{n-1} + \frac{3}{2}s_{mij}B\sigma_{me}^{m_2-1} \quad (14)$$

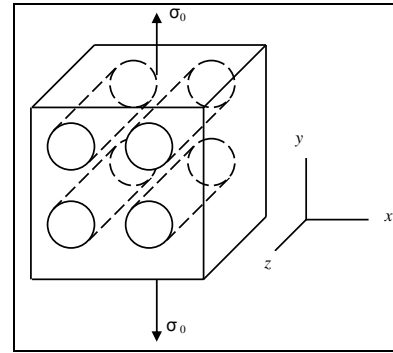
olarak elde edilir.

3. 2. Kompozit Malzemenin Sürünmesi

Yüksek sıcaklıktaki mühendislik uygulamalarında, metal matris kompozitleri, yükleme şartlarının, çevrenin ve bileşen özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sürünme deformasyonuna uğrar. Uygulamalarda genellikle sadece matrisin sürünmeye uğradığı göz önüne alınır. Bu tip uygulamalarda elyafın sürünmeye uğramadığı kabul edilir. Böyle elyafın elastik şekil değişimine uğrarlar. Bu da, elyaf doğrultusunda sürünme direnci yaratır. Tek yönlü kompozitlerde diğer termomekanik özellikler gibi sürünme davranışı da anizotropdur. Bu durum uzunlamasına doğrultuda çok küçüktür ve ihmal edilebilir fakat enine doğrultuda dikkate alınmaya değerdir.

Tek yönlü kompozitlerde, uygulanan sabit gerilme altında meydana gelen gerilme dağılımı, heterojen bir yapı oluşturur. Bu sebepten dolayı, ortalama bir gerilme değeri, dolayısıyla ortalama bir sürünme miktarı ortaya koyacak basit bir mikro mekanik modele ihtiyaç duyulur. Bu sorun ‘‘Eshelby’’ ortalama alan teorisi ile çözülür.

Kompozit malzemelerin sürünme modeli Eshelby çözümüne ve Mori-Tanaka ve ortalama alan teorisine dayanır (Chun and Daniel, 1997). Kompozit malzemede belli sayıdaki elyaf Şekil 2’de gösterildiği gibi z doğrultusunda tek yönlü olarak yerleştirildiği kabul edilir.



Şekil 2. Enine doğrultuda sabit gerilmeye maruz kompozit elemanı

Matris, gerilmenin bir fonksiyonu olarak birincil ve ikincil sürünme hareketi yapar. Sabit bir dış yük uygulandığı zaman başlangıçta kompozit malzeme elastik şekil değişimine uğrar. Daha sonra bu iç gerilmeler, sadece matriste sürünmeye neden olur.

4. SONLU ELEMAN TÖNTEMİ İLE SÜRÜNME ANALİZİ

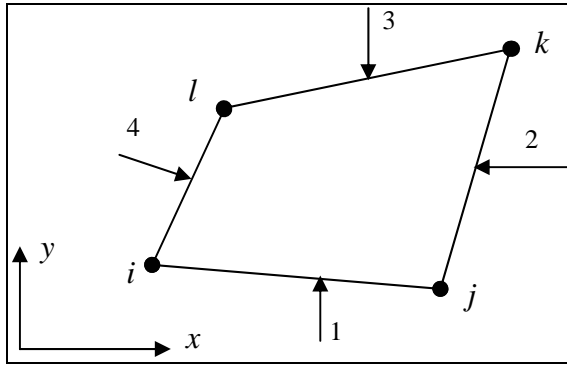
Bu çalışmada sürünme analizini yapmak için SiC/Al metal matris kompoziti kullanılmıştır. Kompozitin elyaf bileşeni silisyum karbür (SiC) sürünme davranışı göstermez. Bu malzeme sadece elastik davranış gösterir. Bunun yanında matris bileşeni alüminyum ise sürünme davranışı sergiler. Elyafın görevi matrisin gerçekleştireceği sürünme miktarını azaltmaktır.

Analizlerde ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla alüminyum malzemenin sürünmesiyle SiC/Al metal matris kompozitinin sürünme hareketi ile karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan, alüminyum ve silisyum karbürün mekanik ve termomekanik özellikleri literatürden elde edilmiştir.

4. 1. Eleman Tipi

Metal matris kompozitinin modeli bir küpün ortasına yerleştirilen silindirler olarak düşünülmüştür. Yani malzeme, bir kareye simetrik olarak yerleştirilen daireler olarak modellenmiştir.

Yapı ANSYS programında iki boyutlu PLANE182 elemanı (Şekil 3) kullanılarak modellenmiştir. Bu özelliği sayesinde düzlem gerilme ve düzlem birim uzama analizlerinde kullanılabilir. Bu element dört düğüm noktasına sahiptir ve her bir düğüm noktasının serbestlik derecesi ikidir. Düğüm noktaları x ve y doğrultularında öteleme hareketleri yapabilir. Bu eleman plastik, hiperelastik gerilme, büyük deformasyon ve büyük birim uzama analizlerinde kullanılabilir olduğundan dolayı sürünme davranışını incelemek için çok uygundur. x-y düzlemine göre simetrik parçalar düzlem olarak modellenebilir. Bu sayede parçada daha uygun bir ağ yapısı ortaya çıkar (Şekil 4b). Analiz süresi kısaldığı gibi sonuçlar nispeten daha doğrudur.



Şekil 3. Tipik PLANE182 elemanı

4. 2. Malzeme Modeli

Bu çalışmada kullanılan SiC/Al metal matris kompozitine ait veriler literatürden alınmıştır (Chun and Daniel, 1997). Bu malzemelerin elastisite modülleri ve Poisson oranları çeşitli kaynaklardan kolaylıkla elde edilebilir.

Elyafın sadece elastik davranış gösterdiği göz önüne alınacak olursa, bu malzemenin elastisite modülünü ve Poisson oranını belirtmek bu malzemeyi modellemek için yeterlidir. Fakat matrisin mekanik davranışını modellemek bu kadar kolay değildir. Matris malzemesi sürünme davranışı gösterir. Bu nedenle ANSYS paket programında sürünme davranışını modelleyen 12 farklı sürünme bağıntısı vardır. Matris malzemesinin hem birincil hem de ikincil sürünme hareketi yaptığı kabul edilmiştir. Bu modellemede kullanılacak bağıntı bu davranış tipine uygun olmalıdır. ANSYS paket programında 11. sırada verilen sürünme davranışı bu modellemeye uygundur.

Birincil ve ikincil sürünme hareketi yapan bir malzemenin analizi için 7 adet malzeme parametresine ihtiyaç vardır. Bu malzeme parametreleri Chun and Daniel (1997) tarafından çeşitli sıcaklıklarda ve gerilmelerde yapılan deneylerde elde edilmiştir. Literatürden (Chun and Daniel, 1997) alınan tablolarda 177 °C, 232 °C ve 288 °C sıcaklıklardaki farklı gerilme değerlerinde verilen sürünme eğrilerinin üzerinden belirli zaman aralıklarında sürünme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu noktalar Norton-Bailey sürünme denklemi kullanılarak en küçük kareler yöntemi yardımıyla malzeme parametrelerini elde etmek için kullanılmıştır.

$$\varepsilon = \frac{C_1 \sigma^{C_2} C_3^{C_3+1} e^{-\frac{C_4}{T}}}{(C_3 + 1)} + C_1 \sigma^{C_6} t e^{-\frac{C_7}{T}} \quad (15)$$

Bu denklemdeki C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 ve C_7 katsayıları malzeme sabitleridir ve sürünme hareketini karakterize ederler. C_2 ve C_6 katsayıları 3.6 değerindedir ve sıcaklık ve gerilme değişimlerinden etkilenmez. C_4 ve C_7 katsayıları sıfır olarak alınmış ve sıcaklığın sürünmeye etkisi C_1 , C_3 ve C_5 katsayılarına yansıtılmıştır. Farklı sıcaklık ve gerilme değerleri eğrilerinden küçük kareler yöntemi yardımı ile elde edilen malzeme parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. En Küçük Kareler Yöntemiyle Elde Edilen Farklı Sıcaklık ve Gerilme Değerlerindeki Sürünme Parametreleri (Chun and Daniel, 1997)

Sıcaklık (°C)	Gerilme (MPa)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
177	34.5	7.553 E-11	3.6	-0.045	0	9.907 E-13	3.6	0
232	34.5	2.307 E-09	3.6	-0.222	0	6.691 E-12	3.6	0
232	27.6	2.273 E-09	3.6	-0.315	0	3.554 E-11	3.6	0
288	27.6	2.130 E-07	3.6	-0.097	0	4.902 E-11	3.6	0
288	20.7	2.698 E-07	3.6	-0.318	0	4.146 E-11	3.6	0
288	13.8	3.053 E-07	3.6	-0.656	0	1.060 E-09	3.6	0

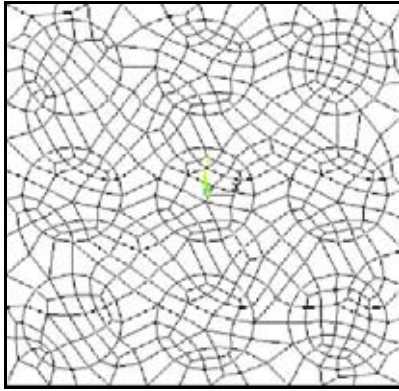
Sonlu elemanlar analizinde kullanılan iki tip malzemenin izotropik davranış gösterdiği kabul edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. SiC ve Al Malzemelerinin Bazı Mekanik Özellikleri

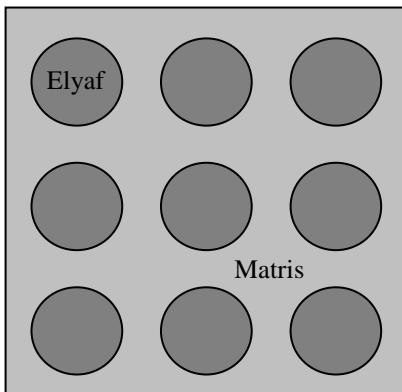
	SiC	Al
Elastisite Modülü (GPa)	400	56
Poisson Oranı	0.3	0.33

4. 3. Model Oluşturulması

Model, bir karenin içine yerleştirilen dairelerden (Şekil 4a, b) düzlemsel olarak oluşturulmuştur. Bunun nedeni malzemenin x-y düzlemine göre simetrik olmasıdır. Kompozitin elyaf hacim oranı 0.44 alınarak, bir kenarı 1 birim olan kare için elyaf alanı 0.44 birim² olarak hesaplanır. Daha sonra elyafın yarıçapı alan bağıntısından kolaylıkla 0.374 birim olarak hesaplanabilir. Uygulamanın kolay olması açısından karenin bir kenar uzunluğu 1000 birim ve dairenin yarıçapı da 374 birim alınmıştır.



(a)



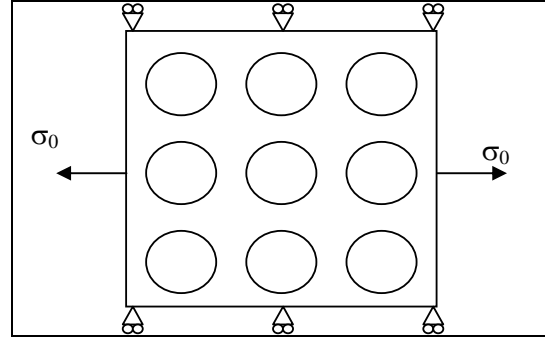
(b)

Şekil 4. Elyaf destekli metal matris kompozitinin (a) kesit alanı (b) ağ yapısı

4. 4. Yükleme

Bu çalışmada malzeme üç farklı enine doğrultuda gerilme değerlerine maruz kalır. Bu gerilmeler

grafik düzleminde eşit ve zıt yönlü olarak uygulanır (Şekil 5). Hazırlanan modelde simetri özelliklerine uygun sınır şartları seçilmiştir.



Şekil 5. Metal matris kompozitinin yükleme durumları ve sınır şartları

4. 5. Çözüm

Bu çalışmada SiC/Al kompozitinin 150 dakikada gerçekleştirdiği sürünme davranışı incelenmiştir. Sürünme analizinde iki nokta (başlangıç ve bitiş) anı için, iki çözüm yapılmıştır. İlk çözüm için çözüm kontrolü diyalog kutusuna girilen zaman değerleri sıfır değerine çok yakın olacak şekilde alınır. Bunun nedeni sıfır anında çözüm yapılamıyor olmasıdır. Bunun yerine 10⁻⁸ mertebesinde çok küçük zaman aralıkları ve zaman artımları girilerek başlangıç için çözüm yaptırılır. Bu aşamada malzemenin sürünmediği varsayılır. Yani malzeme elastik şekil değiştiriyormuş gibi çözüm yapılır. Bu çözüm aralığı çok küçük olduğundan sonucu etkilemeyecektir.

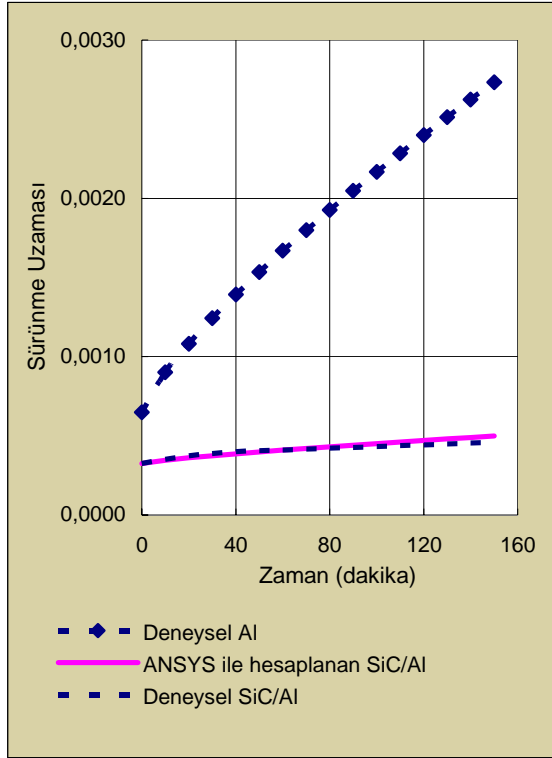
İkinci aşamada istenilen bitiş süresine ve zaman artım miktarlarına göre çözüm yaptırılır. Bu aşamada en önemli nokta çözüm kontrolü diyalog kutusundaki lineer olmayan sekmesinden sürünme karakterini devreye sokmaktır. Bu işlem yapılmadan sürünme analizi yapmaya imkan yoktur.

Bu iki aşamanın her birinin sonunda çözüm yaptırılır. İki yük adımı için yapılan çözüm sonucunda analiz sonuçlanmış olur. Programın alt zaman aralıklarında analiz ettiği her zaman noktası için sonuçları yazdırması gerekir. Bu işlem için çözüm kontrolü diyalog kutusunun Basic tabındaki frekans seçeneği, her alt adımı yazdır biçiminde olmalıdır. Bu işlem yapılmadan doğru eğriyi elde etmek mümkün değildir.

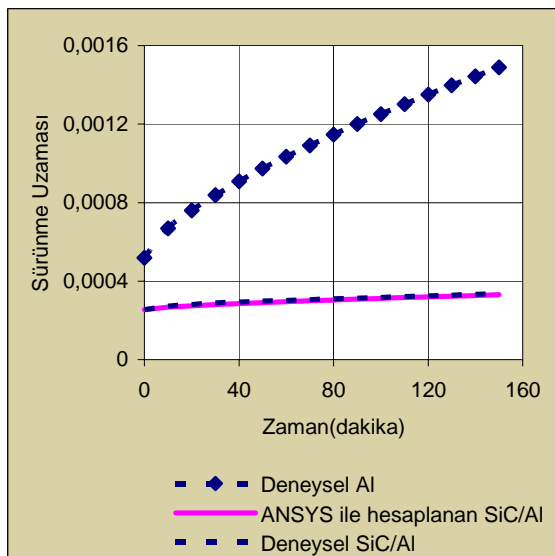
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 6, 7 ve 8'de değişik gerilme ve sıcaklık durumlarında ANSYS paket programıyla yapılan sürünme analizleri sonucu elde edilen eğriler

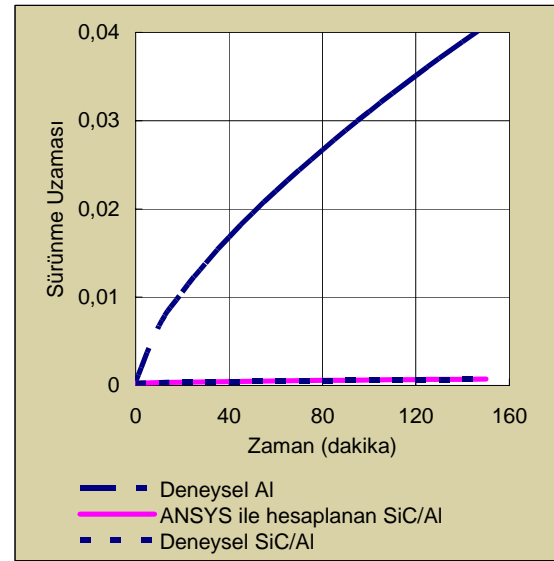
görülmektedir. Elde edilen grafikler literatürdeki (Chun and Daniel, 1997) grafiklerle karşılaştırıldığı zaman sonuçların oldukça yakın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6. 34.5 MPa ve 232 °C değerlerinde SiC/Al metal matris kompozitinin sürünme eğrileri



Şekil 7. 27.6 MPa ve 232 °C değerlerinde SiC/Al metal matris kompozitinin sürünme eğrisi



Şekil 8. 20.7 MPa ve 288 °C değerlerinde SiC/Al metal matris kompozitinin sürünme eğrisi

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları, Şekil 6'da gösterilen 34.5 MPa ve 232 °C sıcaklıktaki Al-6061 alaşımına ve SiC/Al metal matris kompozitine ait çeşitli durumlardaki sürünme eğrileri üzerinde irdelemekte fayda vardır. Şekil 6'da üç farklı sürünme eğrisi göze çarpmaktadır. "Deneysel Al" sürünme eğrisi, Al-6061 alaşımına ait deneyler sonucunda elde edilmiş ve literatürden (Chun and Daniel, 1997) alınan sürünme eğrisini gösterir. "Deneysel SiC/Al" sürünme eğrisi, SiC/Al metal matris kompozitine ait deneyler sonucunda elde edilmiş ve literatürden (Chun and Daniel, 1997) alınan sürünme eğrisidir. "ANSYS ile hesaplanan SiC/Al" sürünme eğrisi de, bu çalışmada elde edilen ve SiC/Al metal matris kompozitine ait ANSYS analiz sonuçlarına dayanan sürünme eğrisidir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, "Deneysel Al" ile "Deneysel SiC/Al" eğrileri, sırasıyla Al ve SiC/Al malzemelerine ait deneysel eğrilerdir. Bu eğrileri incelediğimiz vakit, SiC/Al metal matris kompozitinin Al alaşımına göre çok daha az sürünmeye maruz kaldığı gözlenmektedir. Bu sonuç şaşırtıcı değildir. Çünkü yüksek elastisite modülüne sahip SiC elyafı, matris malzemesine 0.44 oranında katkılanarak malzemenin mekanik özelliğini iyileştirmiş ve sürünme direncini arttırmıştır.

Bu analizlerden elde edilen fakat eğrilerden kolayca fark edilemeyecek başka bir sonuç da, deneysel olarak elde edilen Al-6061 alaşımına ait sürünme eğrilerinden, Norton-Bailey denklemine göre, en küçük kareler yöntemiyle elde edilen sürünme parametreleri, SiC/Al metal matris kompozitinin sürünme davranışını modellemek için kullanılabilir olmasıdır.

6. KAYNAKLAR

Benienda, W. K., Robinson, D. N. 1991. Creep Model for Metallic Composites Based on Matrix Testing, *Journal of Engineering Mechanics*. 117, 624-639.

Bullock, J., Mclean, M., Miles, D. E. 1997. Creep Behavior of a Ni-Ni₃Al-Cr₃C₂ Eutectic Composite, *Acta Metall.* 25, 333-344.

Chun, H. J., Daniel, I. M. 1995. "Creep Characterization of Unidirectional SiC/Al under Transverse Loading" *Proceedings of Society of Engineering Materials*, 279-283.

Chun, H. J., Daniel, I. M. 1997. Transverse Creep

Behavior of Unidirectional Metal Matrix Composite, *Mechanics of Materials*. 25, 37-46.

Goto, S., Mclean, M. 1991. Role of Interface in Creep of Fiber Reinforced Metal Matrix Composites-I. Continuous Fibers, *Acta Metall. Mater.* 39, 153-164.

Lee, Y. S., Güngör, M. N., Liaw, P. K. 1991. Modeling of Transverse Mechanical Behavior of Continuous Fiber Reinforced Metal-Matrix Composites, *Journal of Composite Materials*. 25, 536-555.

Mclean, M. 1983. Directionally Solidified Materials for High Temperature Service, The Metals Society, London.