

## ÇELİK TEL TAKVİYELİ ZN-AL 5 (ZAMAK 5) ALAŞIMININ KIRILMA DAVRANIŞI\*

Hüseyin ARIKAN<sup>a</sup> ve Füsun SAHAR<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Selçuk Üniversitesi, Seydişehir MYO, Makine Bölümü, Seydişehir-Konya

<sup>b</sup> Selçuk Üniversitesi, Cihanbeyli MYO, Makine Bölümü, Cihanbeyli-Konya

### ÖZET

Çelik tel takviyeli, Zn-Al (zamak 5, ZA-5) alaşımlı metal matriks kompozit kirişler, hacimce farklı takviye oranlarında üretildi ve mühendislik sabitleri bulundu. Çentikli numunelere üç noktadan eğme testi uygulanarak Mod I' e göre kırılma davranışları araştırıldı. Kompozit sistemde, hacimce %1 %2 ve %3 oranlarında çelik tel ve matriks malzeme olarak Zn-Al alaşımı (zamak 5) kullanıldı. Kritik gerilme şiddet faktörleri ( $K_{IC}$ ), başlangıç çentik derinliği metodu kullanılarak hesaplandı.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik tel, zamak, metal matriks kompozit, Kritik gerilme şiddet faktörü.

### FRACTURE BEHAVIOR OF STEEL WIRE REINFORCED ZN-5%AL (ZAMAC 5) ALLOY

### ABSTRACT

Steel wire reinforced Zn-5%Al alloy (zamac 5) metal matrix composite beams which have different weight fractions of steel wire fibers were produced with varying notch-to-depth ratios. The mechanical properties of specimens were found. The specimens were investigated in Mode I fracture behavior using three-point bending tests (TPB). Steel wire contents were used 1, 2 and 3 % of the total volume and Zn-5%Al alloy as matrix materials. The critical stress intensity factor was determined by using initial notch depth method.

**Keywords:** Steel wire, Zamac, Metal matrix composite, Critical stress intensity factor.

\* Bu makale, “Çelik Tel Takviyeli Zamak 5 Alaşımının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi “ isimli tezden çıkarılmıştır. (Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007.)

## GİRİŞ

Günümüz dünyasında, insanların ihtiyaçları teknolojinin gelişimi ile paralel olarak artmakta ve hatta teknolojik gelişmelere zemin hazırlamaktadır. Bu ihtiyaçlardan biri de sanayiinin temel girdisi olan malzeme üretimidir. Malzeme bilimindeki gelişme hızla devam etmektedir. Son zamanlarda çinko endüstrisindeki en önemli gelişme Zn-Al alaşımları yani zamak olarak bilinen ve yüksek Zn içerikli yeni bir seri alaşım geliştirilmesi olmuştur. Zamak; çinko, alüminyum, bakır ve magnezyumdan meydana gelen temel alaşımların adı olarak kullanılır. Çok yönlü bir malzeme olarak, parça dökümündeki üretim kolaylığı ile maliyetleri de düşürmektedir. Zamak malzemenin, yüksek aşınma mukavemeti ve basınçlı döküm kalıbında çok karmaşık parçaların imalinde, hiç talaşlı işleme gerek kalmaksızın kalıplanabilme gibi özellikleri de bulunmaktadır. Günümüzde bu alaşımlar iyi dökülebilirlikleri, yüksek mukavemet ve iyi aşınma özellikleri ile birçok alanda Al, Pirinç, Bronz ve bazı dökme demir gibi konvensiyonel alaşımların uygulama alanlarında rakip malzeme olmaktadır.

Zn alaşımlarının mekanik özellikleri pek çok uygulama için yetersiz kalmaktadır. Alaşım elementi olarak katılan Al bu alaşımların mekanik özelliklerinden başka, döküm özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirmektedir. Yapılan araştırmalar; Cu, Mg, Mn, Si gibi alaşım elementi katkılarının Zn-Al alaşımlarının mukavemetini arttırdığını göstermektedir.

Üretim kolaylığından dolayı zamak malzemenin sektördeki kullanım yerlerinin artması, farklı ürünler için yeni hammadde alternatifi olarak kullanılabilmesi sektörel olarak üretim maliyetlerini ucuzlatacak ve malzemenin pazar payını arttıracaktır.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan günümüzde en yaygın kullanıma sahip olan alaşımlar ZA-3 ve ZA-5 alaşımlarıdır. Bu malzemeler endüstride birçok yerde kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisi başta olmak üzere, ev eşyaları endüstrisi, hırdavat, büro makineleri, elektronik cihazlarda, askeri malzemelerde, otomobil radyatörleri, radyo ızgaraları, karbüratör, yakıt pompası v.b. parça imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

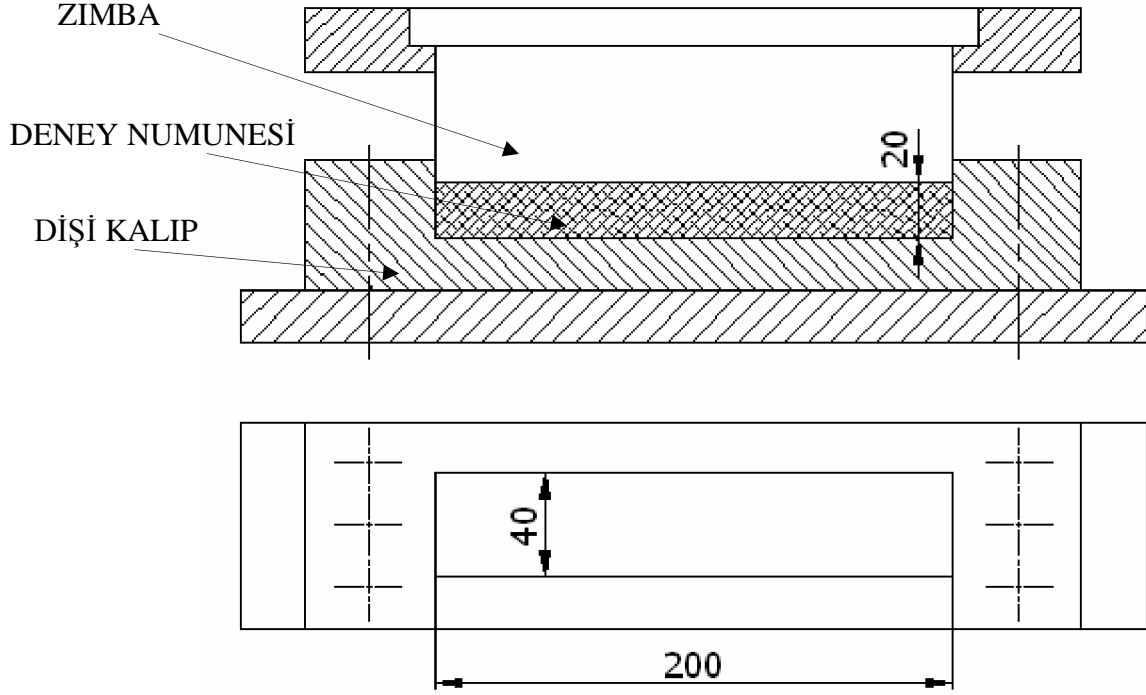
Yapılan çalışmalarda, metal matriksli kompozitler, takviyesiz alaşımlarla karşılaştırıldığında yüksek elastisite modülü, çekme mukavemeti, yüksek sıcaklık stabilitesi, yorulma ve aşınma direnci gibi bazı üstün mekanik özelliklerinden dolayı kritik yapısal uygulamalara aday olduğu görülmüştür [1-6].

Bu çalışmada, sürekli çelik tel takviyeli ZA-5 alaşımının üç noktadan eğme testi yapılarak, mekanik özellikleri ve kırılma davranışları araştırılmış ve takviyesiz malzemeye göre üstünlükleri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1 Numune Hazırlama

Bu çalışmada galvaniz kaplı sürekli çelik tel takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Malzeme üretiminde 50 ton kapasiteli hidrolik pres ve kalıptan oluşan düzenek hazırlanıp basınçlı döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de numune üretiminde kullanılan kalıbın şematik resmi görülmektedir. Kompozit malzeme üretiminde fiber olarak 1.5 mm çapında çekme dayanımı 480 MPa, % uzaması 4.5 ve % kesit daralması 12 olan galvaniz kaplı sürekli çelik tel kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Döküm kalıbının şematik resmi



Şekil 2. Çelik telin resmi

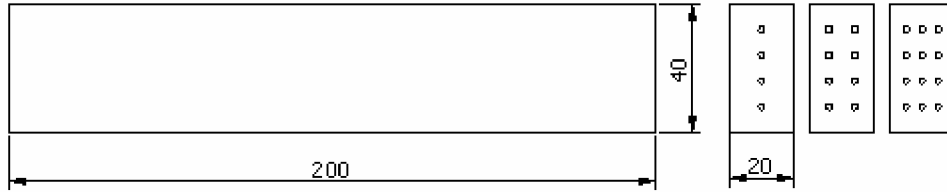
Matris malzemesi olarak da arttırılmış sürünme direnci, yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci, düşük yoğunluk, mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, iyi aşınma özelliklerine sahip olması, iyi dökülebilirlikleri ve düşük ergime sıcaklıkları sebebiyle Zn-Al alaşımlarından ZA-5 kullanılmıştır. Matris malzemesi Cem Metal Tic. Ve San. Ltd. Şti. İSTANBUL'dan alınmış olup, tedarikçi firmanın vermiş olduğu malzeme analiz raporunda belirtilen ZA-5'in kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. ZA-5'in kimyasal özellikleri

Zn	Cu	Al	Mg	Fe	Pb	Sn	Mn
95.03	0.98	3.91	0.054	0.017	0.002	0.001	0.001

Bu çalışmada ZA-5 matris malzemesi ile galvaniz kaplı sürekli çelik tel birleştirilerek kompozit bir malzeme üretilmiştir. Deney numuneleri ASTM E-399 standartlarına göre 20x40x200 mm ebatlarında üretilmiştir. Takviyesiz, 4, 8 ve 12 tel takviyeli olmak üzere dört deney parametresi belirlenmiştir. Numuneler basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir.

1.5 mm çapındaki galvaniz kaplı sürekli çelik teller hacimce %1, %2 ve %3 oranlarında matris malzemesi içerisine yerleştirilmiştir. Takviyeli numunelerdeki çelik tellerin dizilişi sırasıyla 4x1 (4 tel), 4x2 (8 tel) ve 4x3 (12 tel) oryantasyonundadır. Şekil 3'te çelik tel takviyeli numunelerin şematik resmi görülmektedir.



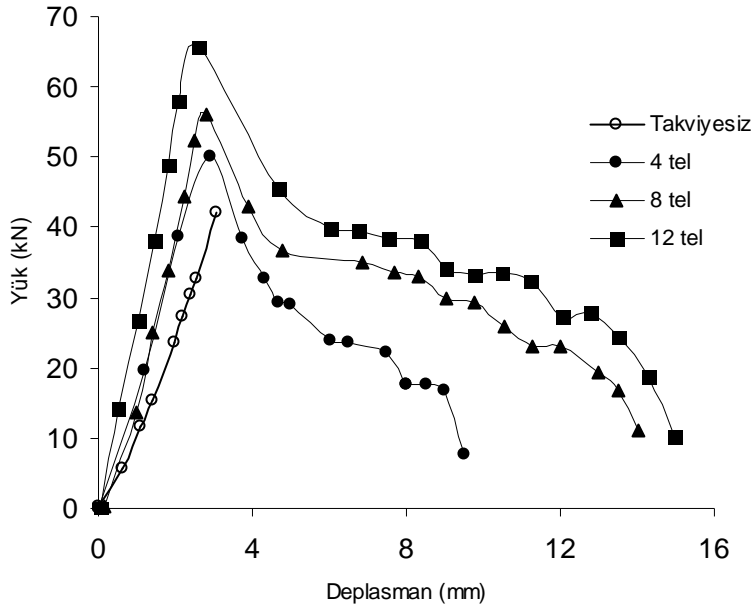
Şekil 3. Çelik tel takviyeli numunelerin şematik resmi

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

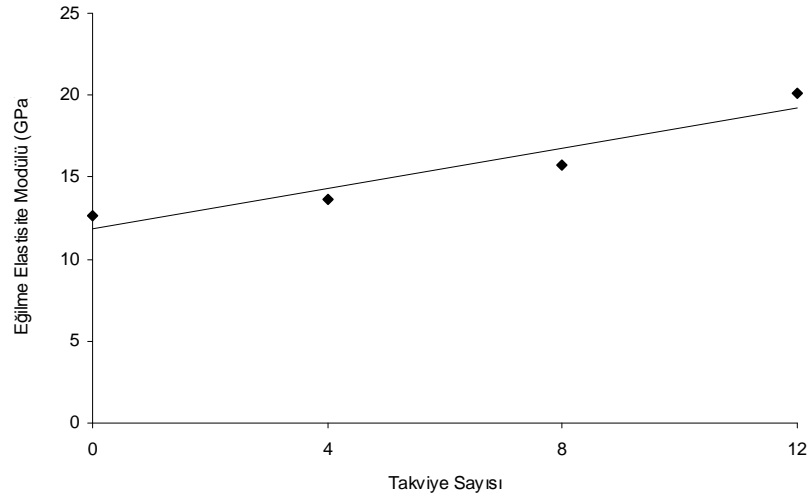
#### 3.1 Üç noktadan Eğme Testi

Üç noktadan eğme testleri, LLOYD T50 K model çekme test cihazında yapılmıştır. Deney numuneleri ve test aparatı ASTM E-399 standartlarına göre ayarlanmıştır. Çekme cihazından alınan kuvvet ve sehim değerleri, bilgisayara aktarılmıştır. Çatlak ağzı açılma miktarı ise özel olarak dizayn edilmiş clip-gage vasıtasıyla ölçülmüş ve bilgisayara aktarılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında ve 1 mm/dk. sabit ilerleme hızında yapılmıştır. Üç noktadan eğme testi uygulanan numunelerin kuvvet-sehim grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, çelik tel takviye oranı arttıkça kuvvette artış sağlanmıştır. Takviyesiz numuneler tamamen gevrek kırılmaya maruz kalarak maksimum yükte aniden iki parçaya ayrılmıştır. Dolayısıyla çatlak ilerlemesi maksimum yükte bir anda olmuştur. Takviyeli numunelerin takviye oranı arttıkça maksimum yükte artış sağlanmış ancak çelik tel takviyesinden dolayı çatlak boydan boya hemen değil kademeli bir ilerlemiştir.

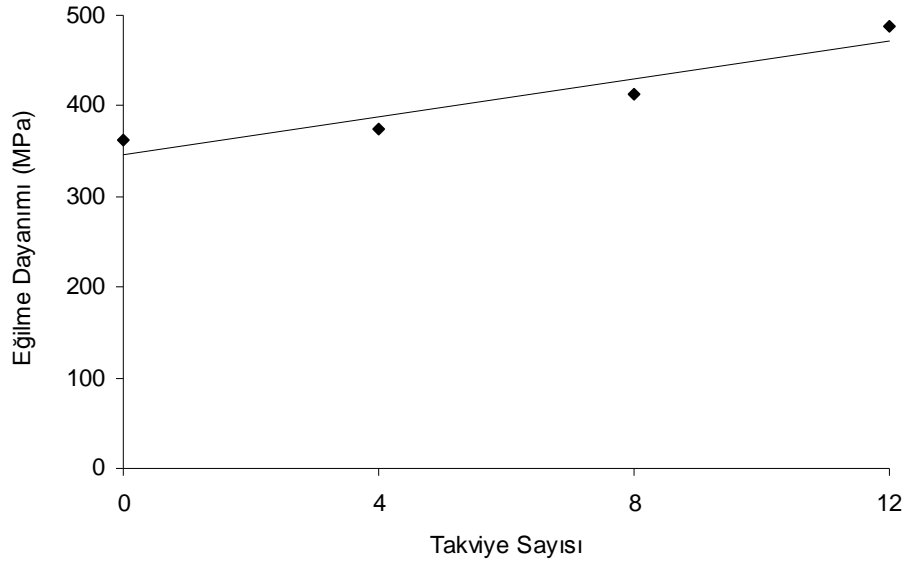
Yük-sehim grafiğinden elde edilen değerler kullanılarak eğilme dayanımı ve eğilme elastisite modülü hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 5'te takviye oranı ile eğilme elastisite modülü değişimi ve Şekil 6'da ise takviye oranı ile eğilme dayanımı değişimi grafiği verilmiştir. Takviye oranının artmasıyla eğilme dayanımı ve eğilme elastisite modülü artmaktadır.



Şekil 4. Yük-sehim grafiği



Şekil 5. Takviye oranı ile eğilme elastisite modülünün değişimi



Şekil 6. Takviye oranı ile eğilme dayanımı değişimi

### 3.2 Kırılma Tokluğu

Kırılma tokluğunun bulunmasında farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlardan biri de başlangıç çentik derinliği metodudur. Kritik gerilme şiddet faktörü Mod I' e göre üç noktadan eğme testi sonucu elde edilen değerlerden faydalanılarak Eşitlik (1) den hesaplanmaktadır [7-11].

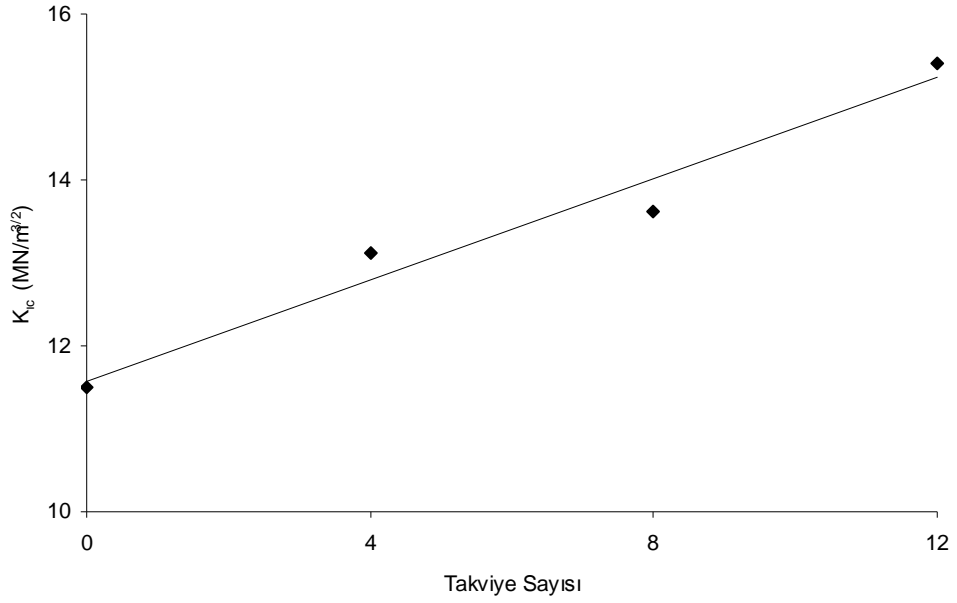
$$K_{IC} = \left( \frac{3Ps}{2W^{3/2}b} \right) F \left( \frac{a}{W} \right) \quad (1)$$

Burada;  $P$  uygulanan maksimum yük,  $s$  mesnetler arası mesafe,  $W$  numune yüksekliği,  $b$  numune kalınlığı,  $a$  çentik derinliği,  $a/W$  çentik oranı ve  $F(a/W)$  ise düzeltme faktörüdür;

$$F \left( \frac{a}{W} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1.99 - A(1-A)(2.15 - 3.93A + 2.7A^2)}{(1+2A)(1-A)^{3/2}} \quad (2)$$

Burada;  $A=a/W$  dir.  $a/W=0.10, 0.20, 0.30$  ve  $0.40$  çentik oranındaki numunelerin üç noktadan eğme testi sonucunda elde edilen kuvvet ve sehim değerleri denklem (1) de yerine konularak kırılma tokluğu değerleri hesaplanmış ve Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de başlangıç çentik derinliği metoduna göre hesaplanan  $K_{IC}$  değerleri görülmektedir. Grafikten görüldüğü üzere takviye oranının artışı ile numunelerin kırılma toklukları da artmıştır.



Şekil 7. Takviye oranı ile kırılma tokluğunun değişimi

Çizelge 2. de takviyesiz ve takviyeli zamak 5 alaşımından oluşan metal matriks kompozitin diğer mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. Takviyesiz ve sürekli çelik tel takviyeli ZA-5 alaşımının mekanik özellikleri

	Takviyesiz	Bir tel takviyeli	4 tel takviyeli	8 tel takviyeli	12 tel takviyeli
Eğilme Dayanımı (MPa)	361.8	-	374.8	413.5	487.3
Basma Dayanımı (MPa)	512	-	605	676	810
Çekme Dayanımı (MPa)	315	362.5	-	-	-
Eğilme Elastisite Modülü (MPa)	12.61	-	13.69	15.70	20.15
1- doğr. Elastisite Modülü (MPa)	83120	-	88050	87500	90500
2- doğr. Elastisite Modülü (MPa)	85120	-	86996.5	89425	91420.5
Poisson Oranı	0.285	-	0.282	0.251	0.235
Kayma Modülü (GPa)	8.10	-	8.78	9.82	12.44
Statik Tokluk (kNmm)	56.36	-	245.5	421.5	550
Gerilme Şiddet Faktörü (MN/m <sup>3/2</sup> )	11.5	-	13.11	13.62	15.41

#### 4. SONUÇLAR

4, 8 ve 12 adet çelik tel takviyeli zamak 5 alaşımından üretilen metal matriks kompozitlerin kırılma davranışlarının ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Takviyesiz malzemeye göre; 4, 8 ve 12 adet tel takviyeli malzemede sırasıyla eğilme dayanımı değerinde, % 3, % 14 ve % 35' lik artış elde edilmiştir.
- Takviyesiz malzemeye göre; eğilme elastisite modülü değerinde, 4, 8 ve 12 adet tel takviyeli malzemede sırasıyla % 9, % 25 ve % 60' lık artış elde edilmiştir.
- Başlangıç çentik derinliği metodu uygulanan deney sonuçlarından; takviye sayısına göre 4, 8 ve 12 tel takviyeli malzemelerde, takviyesiz malzemeye göre; kırılma tokluğu değerinde, sırasıyla % 14, %18.5 ve %34' lük artış elde edilmiştir.
- 4, 8 ve 12 adet tel ile takviyelendirilen ZA-5 alaşımında, eğilme dayanımı, eğilme elastisite modülü, basma dayanımı ve kritik gerilme şiddet faktörlerinin maksimum değerlerine 12 tel takviyeli kompozit malzemede ulaşılmıştır.

#### KAYNAKLAR

1. Akdemir, A., Arıkan, H., Kuş, R., An investigation of microstructure and mechanical properties in steel fiber/cast iron composites. **Materials Science and Technology** 21:9 (2005) 1099-1102.
2. Blucher, J.T., Narusawa, U., Katsumata, M., Nemeth, A., 2001, Continuous Manufacturing of Fiber Reinforced Metal Matrix Composite Wires- Technology and Product Characteristics, **Composites: Part A** 32 : 1759-1766
3. Chou, T.W., Kelly, A., Okura A., 1985, Fibre-reinforced metal matrix composites. **J Comp Mater** vol.16, p.187-206.4. Güçlü, Ö. 2001, Çelik Tel Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
5. Potti, P.K.G., Rao, B.N", Srivastava, V.K., 2000, Notched tensile strength of various fibre reinforced metal laminates, **Adv. Composite Materials**, vol.9, p.187-191
6. Tao, L., Delannay, F., 1998, Influence of fibre interconnections on the thermomechanical behaviour of metal matrix composites consisting of a Zn-Al alloy reinforced with steel fibres, **Acta Metallurgica Inc.**, vol.46, p. 6497-6509
7. N. Dharmarajan, C. Vipulanandan, Critical stress intensity factors of epoxy mortar, **Polym Eng and Sci** 28 (18) (1988) 1182-1191.
8. C. Vipulanandan and N. Dharmarajan, Fracture properties of particle filled polymer composites, **J Compos Mater**, 23 (1989) 46-860.
9. A. Avci, H. Arıkan, A. Akdemir, Fracture behaviour of glass fiber reinforced polymer composite, **Cem and Concr Res**, 2004; 34:429-434.
10. H. Arıkan, A. Avci, A. Akdemir, Fracture behaviour of steel fibre reinforced polymer composite, **polymer testing**, 2004; 23:615-619.
11. A. Avci, A. Akdemir, H. Arıkan, Mixed-Mode fracture behaviour of glass fiber reinforced polymer concrete, **Cem and Concr Res**, 2005; 35:243-247.