

## **Pirinç(MS58) ve Çelik(ST37) Malzemelerinden Yapılmış Kirişlerin Deneysel, Teorik ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Çökme Analizinin Yapılması**

**İbrahim EREN ve Engin ERBAYRAK**

*Yıldız Teknik Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Böl., 34349, İstanbul*  
[erbayrak@yildiz.edu.tr](mailto:erbayrak@yildiz.edu.tr)

**(Geliş/Received: 19.01.2016; Kabul/Accepted: 28.01.2016)**

**Özet:** Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan pirinç(MS58) ve çelik(ST37) malzemelerinin farklı mesnetleme durumlarında meydana gelen çökme değerleri deneysel, teorik ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Çökme değerleri kullanılarak malzemelerin rijitlik değerleri bulunmuştur. Deney sonucunda elde edilen çökme değerleri aynı koşullar altında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen çökme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çökme değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi ile çökme analizi sırasında kiriş üzerinde meydana gelen von mises gerilme dağılımı gözlemlenmiştir. Çökme analizi sırasında farklı mesnetler kullanılmıştır. Sonuç olarak, piyasa da yaygın kullanılan pirinç ve çelik malzemelerinin farklı mesnetler altında çökme değerleri belirlenerek, literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Pirinç(MS58); Çelik(ST37); Çökme; Mesnetleme Tipi

## **Deflection Analyses of Beams Made of Brass (MS58) and Steel (ST37) Materials by using Experimental, Theoretical and Finite Element Analysis Method**

**Abstract:** In this study, deflection values of brass(MS58) and steel(ST37) materials that are in common use, are calculated by using experimental, theoretical and finite element analysis method. Rigidity values of materials are calculated using the deformation datas. Deflection values which were obtained from the experiment, were compared the values that were obtained using finite element method under the same conditions. It is observed that, deflection values indicated the similar tendency. In addition, the von mises stress distribution on the beam was occurred during finite element analyses. In this study, different support types were used. Consequently, the deflection values of brass and steel material that are common use commercially were obtained under the different support types, aimed to contribute to the literature.

**Keywords:** Brass(MS58); Steel(St37); Deflection; Support Type

## 1. Giriş

Günümüzde konstrüksiyon alanında pirinç ve çelik malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedeni hem çelik hem de pirinç malzemesinin rijitlik değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca çelik içerisinde karbon elementi de içermesinden dolayı sertliği de oldukça iyi olan bir malzemedir. Pirinç malzemesi ise kolay işlenebilen korozyon direnci yüksek olan bir malzemedir.

Esendemir vd[1] iki tarafı mesnetlenmiş, orta noktasından tekil yüke maruz kompozit kirişlerdeki maksimum sehimleri analitik, nümerik ve deneysel olarak incelediler. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel, analitik ve nümerik sehim sonuçları birbirleriyle uyum içinde olduğunu gösterdiler. Aydın vd[2] lif takviyeli kompozit malzeme olan GFRP profiller içerisine plastik haldeki betonun, çelik donatıyla birlikte yerleştirilmesiyle oluşturulan hibrit malzemesinin üç nokta eğme testine tabi tuttular ve yük deplasman(sehim) değerleri elde ettiler. Bu değerleri kullanarak malzeme davranışlarını belirlediler. Esendemir vd[3] her iki tarafı basit mesnetlenmiş orta noktasından tekil yüke maruz kompozit kirişlerin eğilme ve kaymadan dolayı ortaya çıkan sehim denklemlerini kirişe uygulanan yük, kiriş uzunluğu ve yüksekliği doğrudan etkilediğini gösterdiler. Aktaş vd[4] da T300/976 Grafit-Epoksi ve Karbon-Epoksi malzemeden yapılan, yayılı yüke maruz bir ortotropik kompozit ankastre kiriş için sehim hesabı yaptılar.Farklı fiber açılarıyla elde edilen kompozit kirişlerin sehim değerlerini sonlu eleman yöntemi ile belirlediler. Karakaya vd[5] epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmiş polimer matrisli dokumalı kompozitlerin eğilme davranışını deneysel ve sonlu eleman modellemesi ile yaptılar. Sonlu eleman modeli ile elemanlardaki gerilmeleri, oluşacak hasar durumlarını irdelediler ve sonuçları deneysel çalışma ile karşılaştırdılar. Sonuç olarak, deneysel ve sonlu elemanlar modeli ile hasar anında elde edilen eğrilik yarıçapları karşılaştırıldığında her iki eğrilik yarıçapının yaklaşık olarak aynı olduğunu tespit

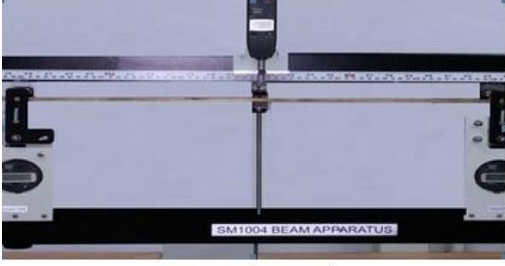
ettiler. Petrescu[6] vd, farklı açıklık uzunluğuna sahip kompozit levhaları eğme testine tabi tutularak, levhaların elastisite modülünü hesapladılar. Farklı açıklık uzunluklarının(span length) elastisite modülüne etkisini gösterdiler.Kholkin[7] fiber takviyeli, farklı kalınlıklarda ki kompozit kirişleri sonlu elemanlar yöntemi kullanarak eğme testine tabi tuttu. Kirişlerin kırılma enerjilerini ve kırılma gerilmelerini hesapladı. J. C. Venetis vd.[8] basit mesnetlenmiş, üç nokta eğme durumundaki bir kirişte sehim miktarını formüle ettiler. Binom dizisinden faydalandılar.

Bu çalışmada, farklı mesnetleme durumları için pirinç ve çelik malzemelerinin çökme değerleri belirlenecektir. Elde edilen bu değerler sonlu eleman yöntemi ve teorik yöntem ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi ile deforme olmuş kirişlerdeki gerilme dağılımı belirlenecektir. Son olarak, çökme değerleri kullanılarak pirinç ve çelik malzemelerinin rijitlik değerleri hakkında yorum yapılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada pirinç ve çelik malzemelerden yapılmış kirişler, eğilme testine tabi tutulmuştur. İlk olarak basit mesnetler üzerine pirinç ve çelik malzemeleri yerleştirilmiş ve orta noktasından tekil yükler uygulanmıştır. Deney esnasında uygulanan yüke karşılık gelen çökme değerleri kirişlerin üzerinde yer alan sehim ölçer ile hesaplanmıştır. İkinci deney çalışmasında mesnetleme tipi değiştirilmiştir. Bir tarafta kayıcı mesnet kullanılırken diğer tarafta ankastre mesnet kullanılmıştır. Bu deney düzeneği için de yük ve çökme değerleri kaydedilmiştir. Her iki deney düzeneği Şekil 1’de verilmiştir.

Deneyslerde kullanılan çelik ve pirinç kiriş malzemelerinin boyu, genişliği ve kalınlığı sırasıyla 600mm,19mm,6.4mm dir.Çelik malzemesinin elastisite modülü  $E=210\text{GPa}$ , pirinç malzemesinin elastisite modülü  $E=105\text{GPa}$ ’ dir.



1. Deney düzeneği



2. Deney düzeneği

Şekil 1. Deney düzenekleri

### 2.1. Teorik Yaklaşım

Bu çalışmada deney sonuçlarının karşılaştırılacağı yaklaşımlardan biri de teorik yaklaşım olacaktır. Her iki ucu da basit mesnetlenmiş ilk deney düzeneğinin teorik olarak çözümlenmesi sonucunda maksimum çökme miktarı denklem 1’de gösterilmiştir. İkinci deney düzeneği hiperstatik bir sistemdir. Bu düzenekte oluşan maksimum çökme miktarı denklem 2’de gösterilmiştir.

$$z (\text{çökme}) = \frac{PL^3}{48EI} \quad (1)$$

$$z (\text{çökme}) = \frac{7PL^3}{768EI} \quad (2)$$

Burada, P uygulanan yükü, L kirişin boyunu, E elastisite modülünü ve I atalet momentini göstermektedir. Her iki denklem kullanılarak uygulanan yüke karşılık gelen çökme değerleri hesaplanmıştır.

### 2.2. Sonlu Elemanlar yaklaşımı

Teorik yaklaşım sonucunda elde edilen yük-çökme değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Bu çalışmada deneysel ve teorik yaklaşımların yanında sonlu elemanlar yaklaşımı da kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yaklaşımı ANSYS® programı kullanılarak yapılmıştır. Sonlu eleman modellemesinde, her iki kiriş için de iki düğüm noktalı kiriş (beam) eleman kullanılmıştır. Kiriş malzemeleri sonlu eleman programına lineer-elastik izotropik malzeme olarak girilmiştir. Eleman ve malzeme özellikleri belirlendikten sonra kirişler alan meş (area mesh) ile sonlu elemanlarına ayrılır. Sonlu elemanlarda modellenen kirişler uygun sınır şartları uygulanarak çözdürülmüştür. Sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen çökme değerleri tablo 3’de gösterilmektedir. Sonlu elemanlar analizi toplam 210 eleman ve 211 düğüm noktasından (node) meydana gelmiştir.

### 3. Bulgular

Pirinç ve çelik malzemelerden yapılmış kirişlerin çökme değerlerinin hesaplanmasında deneysel, teorik ve sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen yük ve çökme değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1** Deneyler sonrası elde edilen çökme değerleri

	Pirinç (MS58)		Çelik (ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
Deney 1	5	0.54	5	0.27
	10	1.08	10	0.56
	15	1.61	15	0.84
	20	2.17	20	1.13
	25	2.73	25	1.41
Deney 2	Pirinç (MS58)		Çelik (ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
	5	0.24	5	0.12
	10	0.48	10	0.25
	15	0.72	15	0.36
20	0.96	20	0.48	
25	1.2	25	0.6	

**Tablo 2** Teorik yaklaşım sonrası elde edilen çökme değerleri

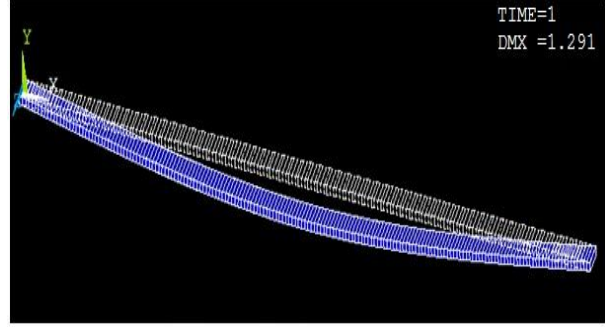
	Pirinç (MS58)		Çelik(ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
Deney 1	5	0.5162	5	0.2581
	10	1.032	10	0.5162
	15	1.548	15	0.7744
	20	2.065	20	1.032
	25	2.581	25	1.291
	Pirinç (MS58)		Çelik(ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
Deney 2	5	0.225	5	0.113
	10	0.451	10	0.225
	15	0.677	15	0.338
	20	0.903	20	0.451
	25	1.129	25	0.577

Sonlu elemanlar analizi sonrasında elde edilen çökme değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

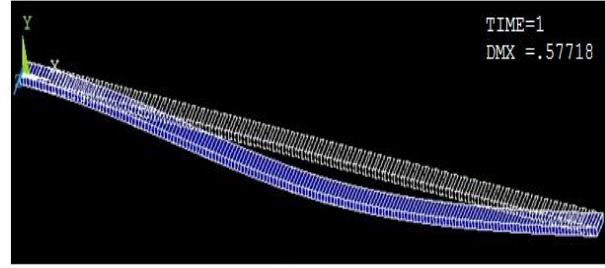
**Tablo 3** Sonlu elemanlar yaklaşımı sonrası elde edilen çökme değerleri

	Pirinç (MS58)		Çelik(ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
Deney 1	5	0.515	5	0.257
	10	1.03	10	0.515
	15	1.54	15	0.773
	20	2.06	20	1.031
	25	2.57	25	1.289
	Pirinç (MS58)		Çelik(ST37)	
	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)	Yük (N)	Çökme değerleri (mm)
Deney 2	5	0.23	5	0.1154
	10	0.461	10	0.23
	15	0.692	15	0.346
	20	0.923	20	0.461
	25	1.154	25	0.577

Sonlu eleman analizinde çökme değerleri kirişin deforme olmuş yapısından belirlenmiştir. Deforme olmuş kirişin sonlu eleman görüntüsü şekil 2’ de gösterilmiştir.



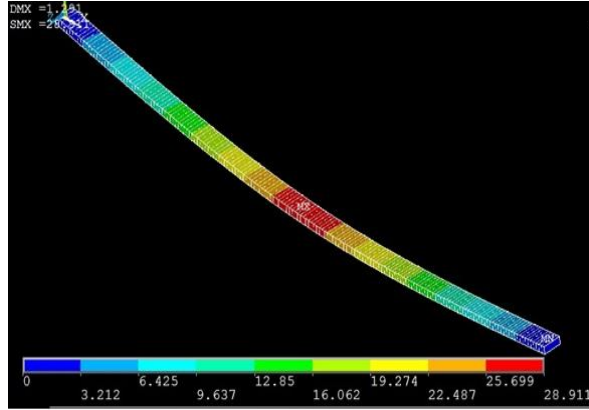
1.Deney sonlu eleman sonucu



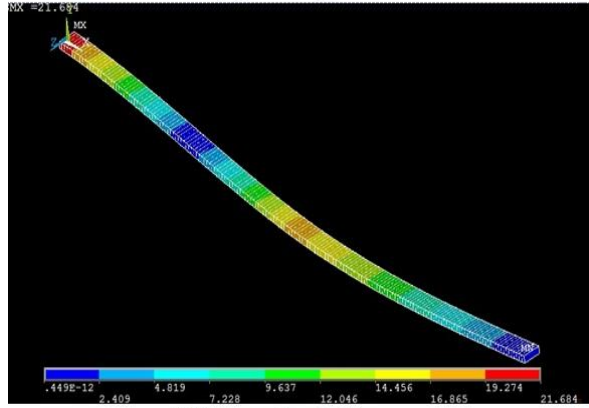
2.Deney sonlu eleman sonucu

**Şekil 2.** Sonlu elemanlar deformasyon sonucu

Deneysel sonuçları kıyaslamak amacıyla yapılan sonlu elemanlar analizinde, uygulanan yük sonrası deforme olan kirişteki von mises gerilme dağılımı da belirlenebilmektedir. Bu çalışmanın temeli, çökme analizi olduğundan von mises gerilme dağılımı detaylı olarak irdelenmemiştir. Birinci deneyde kirişin her iki ucuda aynı mesnet (kayıcı mesnet) kullanıldığından maksimum gerilme kirişin orta noktasında meydana gelirken, ikinci deneyde ise kirişin bir ucu ankastre mesnet diğer ucu ise kayıcı mesnet kullanıldığından maksimum gerilme kirişin ankastre mesnet tarafında meydana gelmiştir. Şekil 3’ de deforme olmuş kirişlerde ortaya çıkan von mises gerilme dağılımı gösterilmektedir. 1. deney çelik kirişe 25 N yük uygulandığı zaman meydana gelen von mises gerilme dağılımını gösterirken, 2. deney ise pirinç kirişe 25 N yük uygulandığı zaman meydana gelen von mises gerilme dağılımını göstermektedir.



1. Deney gerilme dağılımı



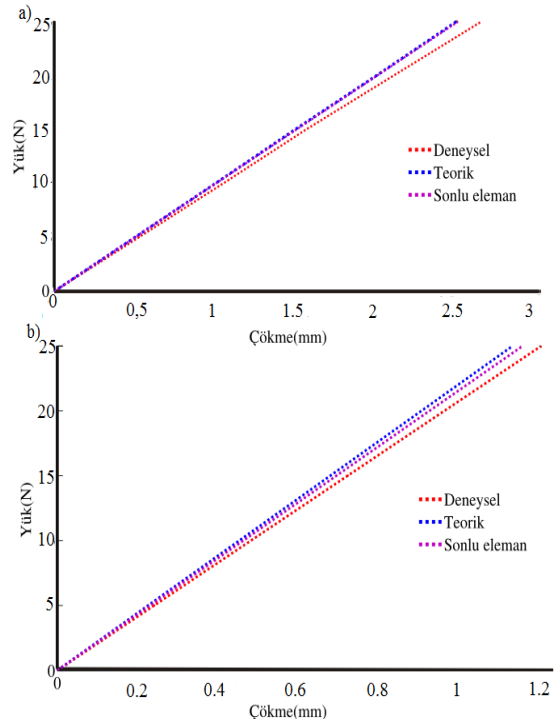
2. Deney gerilme dağılımı

Şekil 3. Sonlu elemanlar gerilme dağılımı

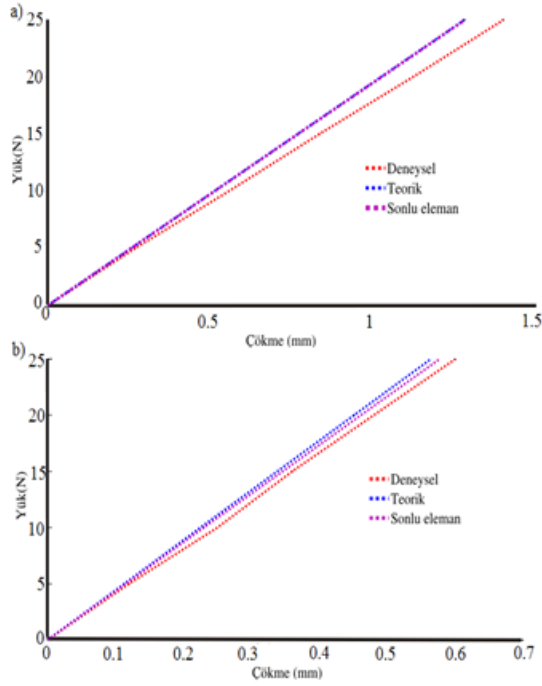
#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada pirinç ve çelik malzemelerinden yapılmış kirişlerin deneysel, teorik ve sonlu eleman analizi kullanılarak çökme değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak kirişlerin rijitlikleri hesaplanmıştır. Şekil 4'de pirinç malzemesi için deneysel, teorik ve sonlu eleman analizi sonrasında elde edilen yük ve çökme değerleri verilmiştir. Çelik malzemesi için elde edilen yük ve çökme değerleri de Şekil 5'de gösterilmiştir. Elastik durum için rijitlik kavramı uygulanan yükün çökme oranına eşittir. Birinci deney de pirinç malzemesi için deney sonuçları ile teorik sonuç ve sonlu eleman sonucu arasında sırasıyla %5.968, %6.43 fark ortaya çıkmıştır. Çelik malzemesi için deney sonuçları ile teorik ve sonlu eleman sonuçları arasında sırasıyla %10.488, %10.48 fark ortaya çıkmıştır. İkinci deney

çalışmasında pirinç malzemesi için deney sonuçları ile teorik ve sonlu eleman sonuçları arasında sırasıyla %5.83, %3.89 fark ortaya çıkarken, çelik malzemesinde ise deney sonuçları ile teorik ve sonlu eleman sonuçları arasında sırasıyla %5.54, %3.152 fark ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu farklar deney sırasında oluşabilecek hatalardan kaynaklanmaktadır. Ancak, hata oranlarının düşük olması deney sonuçlarının doğruya yakınlığını göstermektedir. Bununla birlikte, birinci deney çalışmasında pirinç malzemesinin deney sonuçlarının eğimi çelik malzemesinin deney sonuçlarının eğiminden 1.91 kat daha düşük çıkmaktadır. Aynı şekilde ikinci deney çalışmasında bu kat 2.015 olmaktadır. Bu rijitlik katları iki malzemenin elastisite modülleri oranı ile de uyumludur. ( $E_{\text{çelik}}=210\text{GPa}$ ,  $E_{\text{pirinç}}=105\text{GP}$ ). Rijitliğin, elastisite modülü ile doğru orantılı olduğu düşünüldüğünde, yapılan çalışmanın doğruluğu belirlenmektedir. Bu çalışma ile birlikte çökme değerleri kullanılarak da malzemelerin rijitliği hakkında yorum yapılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 4. Pirinç (MS58) malzemesi deneysel, teorik ve sonlu eleman analiz sonuçları (a- deney 1 b- deney 2 )



Şekil 5 Çelik(St37) malzemesi deneysel,teorik ve sonlu eleman analiz sonuçları(a- deney 1 b- deney 2 )

## 5. Kaynaklar

- 1.Esendemir, Ü., Usal, M., Öndürücü, A., Usal,M., (2010). Orta noktasından tekil yüke maruz kompozit basit kiriş için maksimum sehîm değerlerinin deneysel, nümerik ve analitik olarak bulunarak irdelenmesi, *Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2:1-9.
- 2.Aydın,F., (2012).GFRP-Beton-çelik lifli hibrit kirişlerin eğilme davranışlarının incelenmesi. *International Construction Congress*. (11-13 Ekim 2012) Isparta, 162-170.
- 3.Esendemir, Ü., Basit, (2009). Mesnetli kirişlerde eğilme ve kaymadan dolayı oluşan sehîm denklemlerinin bulunması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 187-793.
- 4.Aktaş, A.,Tanık ,C., (1999). Düzgün yayılı yüke maruz ortropik kompozit ankastre kirişte sehîm hesabı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 879-884.
- 5.Karakaya,Ş.,Soykasap,Ö., (2008). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirmeli dokumalı kompozit yapıların eğilme hasar, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2:43-52

6.Petrescu,I, Mohara,C., Ispas,C., (2013).The Determination of young modulus for CFRP using three point bending tests at different span lengths, *Buletin Stiintific Universitatea Politehnica din Bucuresti*, 122-128.

7.Kholkin,A.,(2012). Numerical simulation of damage and failure of laminated 3-Point bending specimens, Master Thesis, Vienna University of Technology , 74s.

8.Venetis, J., C., Sideridis, E., P., Approximate solution to three point bending equation for a simply supported beam, *Academic journal*,10:339-347

9.Mohyeddin,A.,(2014). Fereidoon,A., An analytical solution for the large deflection problem of Timoshenko beams under three-point bending, *International Journal of Mechanical Sciences*, 135-139.

10. Sayman, O., Karakuzu,R., ,Aktaş,A.,(2012). Mukavemet-2, Sürat Yayınevi, İstanbul, 301s.