



## Düşük Karbonlu Çelik Malzemenin Rijitlik Değerinin Deneysel ve Teorik Yaklaşım ile Belirlenmesi

Engin ERBAYRAK<sup>1</sup>, Kerem ASMAZ<sup>2\*</sup>, Alparslan SOLAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

### Anahtar kelimeler:

Çelik (St37)  
Elastik eğri teoremi  
Rijitlik

### Özet

Bu çalışmada düşük karbonlu çelik malzemenin (St37) rijitlik değerleri deneysel ve teorik yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel yaklaşımda dört nokta eğme deney yaklaşımı kullanılmıştır. Deney sonunda, farklı kalınlıklara sahip düşük karbonlu çelik malzemenin eğrilik yarıçapı kullanılarak, rijitliği hesaplanmıştır. Teorik yaklaşımda, çelik malzemesinin rijitlik değeri elastik eğri teorimi kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen rijitlik değerleri teorik yaklaşım sonuçları ile karşılaştırılmış, sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, farklı kalınlıklara sahip çelik malzemesinin rijitlik değerlerinin deneysel ve teorik olarak belirlenerek, literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir.

## Determination of Rigidity Value of Low Carbon Steel Material by Experimental and Theoretical Approach

### Keywords:

Steel(St37)  
Elastic curve theory  
Stiffness

### Abstract

In this study, the stiffness value of stainless steel material (St37) is calculated by using experimental and theoretical approach. Four point bending experiment approach is used in experimental approach. At the end of the experiment, the stiffness of St37 steel material having different thicknesses was calculated by using the radius of curvature. In the theoretical approach, the stiffness value of the steel material was determined using the elastic curve theory. The stiffness values obtained from the experiment were compared with the theoretical approach results and it was observed that the results were consistent with each other. As a result, it is aimed to determine the stiffness of steel material of different thicknesses experimentally and theoretically and to contribute to the literature.

## 1. GİRİŞ

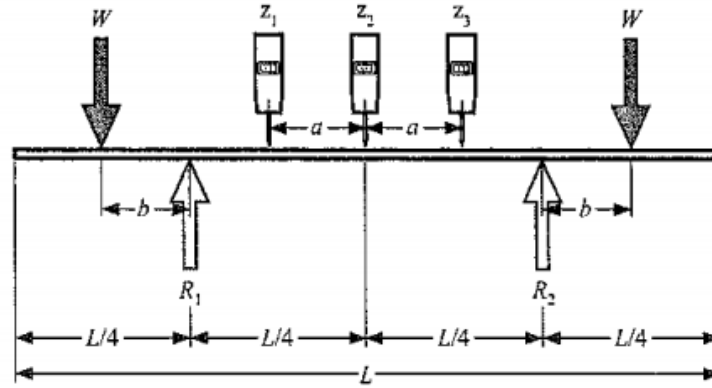
Günümüzde, özellikle konstrüksiyon alanında farklı türde çelik malzemeler kullanılmaktadır. Çelik malzemesinin dayanımının yüksek olması, yorulma ömrünün uzun olması ısı iletkenliğinin yüksek olması vb özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, çelik malzemesinin bileşenlerinden biri olan karbon elementi sayesinde sertliği de oldukça iyi olan bir malzemedir.

Jasmina Miljojković vd[1] üç nokta eğme deney düzeneğine yerleştirilmiş metal malzemenin sehim ve rijitlik değerlerini teorik ve deneysel olarak incelediler. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel, analitik ve nümerik sehim sonuçları birbirleriyle uyum içinde olduğunu gösterdiler. Wilfred H Thomas [2] tekil yüklemeye maruz odun malzemesinin kayma ve eğilme deformasyon denklemlerini elde ettiler. Yaptıkları çalışmada deformasyon değerlerini teorik olarak belirlediler. Ayrıca, teorik analiz sonunda elde ettikleri eğilme deformasyon sonuçlarını sonlu elemanlar yöntemi ile kıyasladılar. Sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu belirttiler. Lee ve Wang [3] çelik-beton kompozit kirişlerin maksimum çökme değerlerini deneysel yaklaşım ile belirlediler. Karakaya vd[4] ortotropik malzeme olan kompozit malzemenin eğilme davranışını deneysel ve nümerik yaklaşım ile incelediler. Nümerik model sonunda elde edilen gerilmeleri belirlediler. Farklı malzemelerin eğilme yükü altındaki davranışları, rijitlik değerleri için referans [5-9] incelenebilir.

Bu çalışmada, iki farklı kalınlığa sahip düşük karbonlu çelik malzemesinin dört nokta eğme deney yaklaşımı ile sehim değerleri belirlenecektir. Elde edilen bu değerler ile teorik yöntem kullanılarak malzemenin rijitliği belirlenecektir. Ayrıca, bu çalışmada bir rijitlik parametresi olan elastisite modülü, eğrilik yarıçapı kullanılarak belirlenecektir. Litertürde, malzemelerin elastisite modülleri genellikle çekme deneyi kullanılarak belirlenmektedir. Eğme deneyi ile elastisite modülünün hesaplanması sınırlı çalışmada yer almaktadır. Bu sebeple, yapılan bu çalışma ile literatüre önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

## 2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, çelik malzemeden (st37) üretilmiş kiriş, eğilme testine tabi tutulmuştur. Eğilme deney düzeneği şekil 1 de verilmektedir.



Şekil 1. Dört nokta eğme deney düzeneği

Şekil de görülen R1 ve R2 kayıcı mesneti, W uygulanan yükü, b uygulanan yük ile mesnet arasındaki mesafeyi,  $Z_1, Z_2, Z_3$  ise sehim ölçerleri göstermektedir. Deney esnasında meydana gelen sehim değerleri, kirişin üzerinde yer alan sehim ölçerler ile hesaplanmıştır. Eğilme deneylerinde dikdörtgen kesitli, 19 mm genişliğinde 6.4 ve 4.8 mm kalınlığında ve 1350 mm uzunluğunda St-37 düşük karbonlu çelik malzeme kullanılmıştır.

Deneyde, ilk olarak, mesnetler üzerine kalınlığı 6.4 mm olan yumuşak çelik yerleştirilmiştir. İkinci adımda, kirişin tam orta noktasına denk gelecek şekilde  $Z_2$  sehim ölçer konulmuştur. Sehim ölçerin kirişin tam ortasına konulmasındaki sebep, maksimum deformasyon değerinin kirişin orta noktasında oluşacak olmasındandır.  $Z_2$  Dijital sehim ölçerin hem sağ hem de sol tarafına eşit a mesafesi kadar uzaklığa  $Z_1$  ve  $Z_3$  sehim ölçerleri yerleştirilmiştir. Bu noktada verilen a mesafeleri,  $Z_2$  sehim ölçerinden itibaren sırasıyla 100,150 ve 200 mm uzaklığı belirtmektedir (bkz tablo 1). Mesnetlerden 250 mm mesafe uzağa ( $b=250$  mm) tekil yüklemeler uygulanmıştır. Tekil yüklemeler ardışık olarak, sırasıyla 5 N, 10 N, 15 N, 20 N, 25 N olarak uygulanmış ve her bir yüklemenin sonunda 3 dijital sehim ölçerden sehim değerleri ayrı ayrı not edilmiştir. Yukarıda açıklanan deney prosedürü, düşük karbonlu çelik malzemenin 4.8 mm kalınlığı için tekrar edilerek deneysel veriler elde edilmiştir.

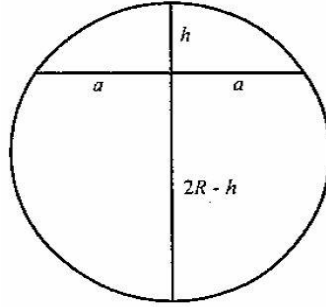
## 2.1. Teorik Yaklaşım

Elastik eğri teoreminde, bir kiriş yalnızca uygulanan moment düzleminde eğildiği takdirde, gerilme dağılımı ve kirişin eğriliği arasındaki ilişki şu şekilde verilebilmektedir;

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R} \quad (1)$$

Burada; M Kiriş kesitinde oluşan eğilme momenti, I Kiriş kesitinin tarafsız eksene göre atalet momenti, E Kiriş malzemesinin elastisite modülü, R Eğrilik yarıçapı,  $\sigma$  Eğilme momentinden dolayı, tarafsız eksenden y kadar mesafede oluşan eğilme gerilmesi, y Tarafsız eksenden alınan dikey uzaklığı belirtmektedir.

Sagittal Metodu bir daire üzerindeki uzunlukların, dairenin geometrik bağlantılarından yararlanarak kirişin eğrilik yarıçapının bulunmasında uygulanan bir yöntemdir.



Şekil 2. Sagittal Method ile Eğrilik Yarıçapı

Dairenin geometrik bağlantıları kullanıldığında;

$$h(2R - h) = a^2 \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. Burada, a sehim ölçerler arasındaki mesafe, h sehimi ifade etmektedir.

Deneylerde hesaplanan sehim değeri oldukça küçüktür, bununla birlikte sehim değerinin karesi aldığı daha küçük olacağı için formülde yazılı olan sehim değerinin karesi sıfır olarak kabul edilmiştir. Formül tekrar düzenlenip yazılırsa;

$$\frac{1}{R} = \frac{2h}{a^2} \quad (3)$$

eşitliği elde edilir. Denklem 3 de yer alan ifade, denklem 1 de yer alan eğrilik yarıçapı ifadesi yerine yazılırsa;

$$h = \frac{Wa^2b}{2EI} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir. Burada E malzemenin elastisite modülünü, I ise alan atalet momentini göstermektedir. Deneyde kiriş üzerinden farklı noktalardan 3 sehim değeri alınmaktadır. Bunlar sırasıyla  $z_1, z_2, z_3$  değerleridir. Denklem 4 de görülen h sehim değeri ise deney esnasında kiriş üzerinden ölçümü alınan bu üç sehim değeri üzerinden hesaplanmaktadır. Denklem 3 de yer alan sehim (h) değeri;

$$h = z_2 - \frac{z_1 + z_3}{2} \quad (5)$$

eşitliği ile belirlenmektedir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneylerde, kiriş üzerinde yer alan sehîm ölçeler arasındaki mesafeler değiştirilerek, 3 deney grubu hazırlanmıştır. Her bir deney grubu için 5 N yük değerinden 25 N yük değerine kadar ardışık yüklemeler yapılmış, her bir yüke karşılık gelen sehîm değerleri kaydedilmiştir. Deney sonunda, düşük karbonlu çelik malzemesinin 6,4 mm kalınlığı elde edilen değerler tablo 1 de ve 4.8 mm kalınlığı için elde edilen değerler tablo 2 de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Deney sonrası elde edilen sehîm değerleri (t=6.4 mm)

	P(N)	a(mm)	$z_1$ (mm)	$z_2$ (mm)	$z_3$ (mm)	$h(mm) = \left( z_2 - \frac{z_1+z_3}{2} \right)$
DG-1	5	100	0,79	0,87	0,81	0,07
	10	100	1,65	1,77	1,63	0,13
	15	100	2,48	2,66	2,43	0,205
	20	100	3,33	3,55	3,25	0,26
	25	100	4,15	4,44	4,05	0,34
DG-2	5	150	0,73	0,91	0,72	0,185
	10	150	1,45	1,79	1,44	0,345
	15	150	2,19	2,69	2,17	0,51
	20	150	2,92	3,59	2,88	0,69
	25	150	3,64	4,48	3,60	0,86
DG-3	5	200	0,59	0,87	0,56	0,295
	10	200	1,19	1,77	1,15	0,6
	15	200	1,79	2,66	1,74	0,895
	20	200	2,41	3,56	2,33	1,19
	25	200	3,01	4,45	2,91	1,49

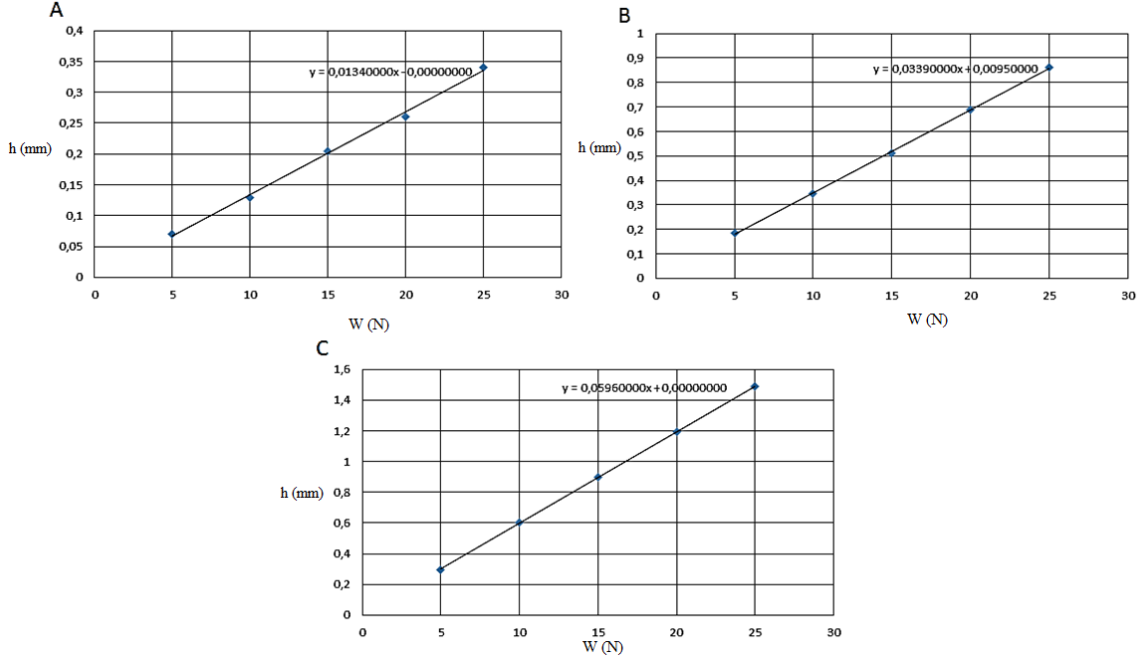
DG: Deney Grubu

**Tablo 2.** Deney sonrası elde edilen sehîm değerleri (t=4.8 mm)

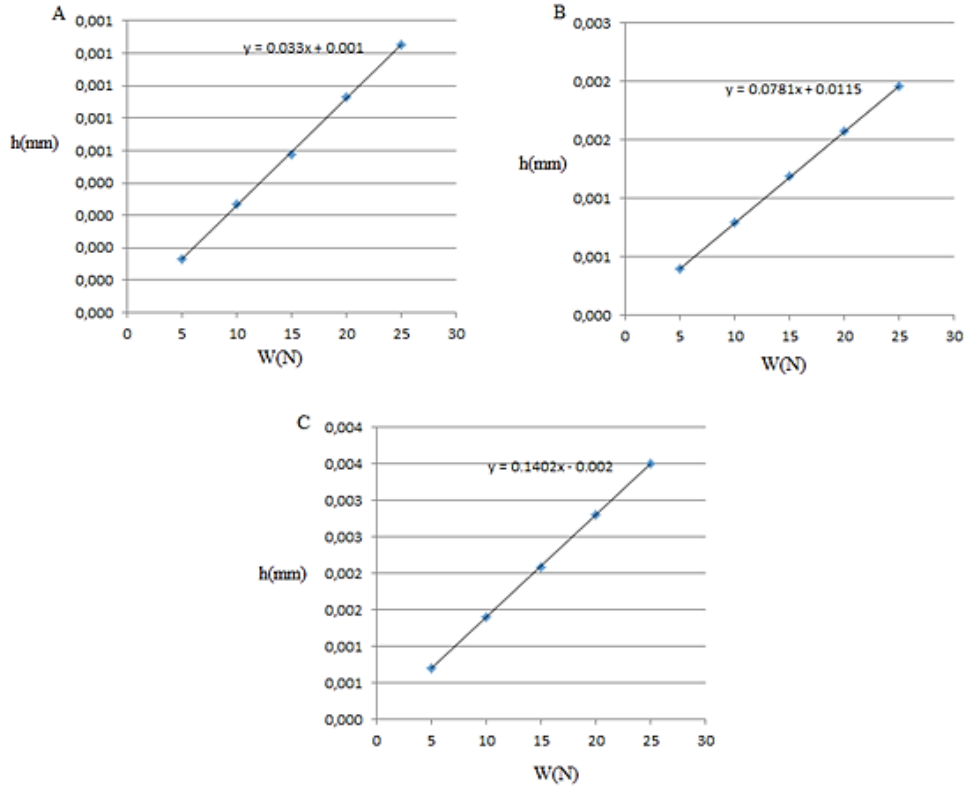
	P(N)	a(mm)	$z_1$ (mm)	$z_2$ (mm)	$z_3$ (mm)	$h(mm) = \left( z_2 - \frac{z_1+z_3}{2} \right)$
DG-1	5	100	1.95	2.12	1.96	0.165
	10	100	3.90	4.25	3.93	0.335
	15	100	5.80	6.32	5.86	0.490
	20	100	7.77	8.47	7.84	0.665
	25	100	9.67	10.54	9.76	0.825
DG-2	5	150	1.76	2.16	1.76	0.400
	10	150	3.52	4.31	3.52	0.790
	15	150	5.26	6.45	5.26	1.190
	20	150	7.00	8.57	6.99	1.575
	25	150	8.74	10.70	8.74	1.960
DG-3	5	200	1.43	2.15	1.45	0.710
	10	200	2.85	4.26	2.88	1.395
	15	200	4.28	6.39	4.33	2.085
	20	200	5.71	8.55	5.78	2.805
	25	200	7.13	10.68	7.21	3.510

DG: Deney Grubu

Rijitlik teorik anlamda sehîm değerinin yüke oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu sebeple, deney sonunda oluşturulan üç deney grubunun için de yük sehîm grafikleri oluşturulmuştur (şekil 3&4).



Şekil 3. 6.4 mm kalınlığa sahip çelik malzemesinin sehim-yük grafikleri (A- DG1, B- DG2, C- DG3)



Şekil 4. 4.8 mm kalınlığa sahip çelik malzemesinin sehim-yük grafikleri (A- DG1, B- DG2, C- DG3)

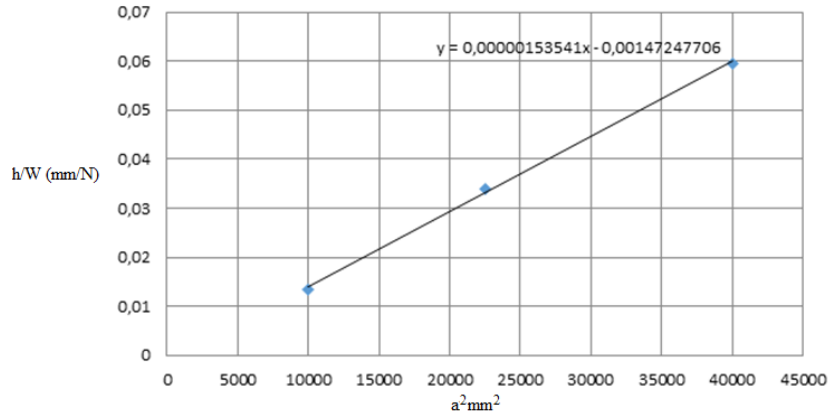
Şekil 3 de görüldüğü gibi deney sonunda elde edilen sehim-yük grafiklerinin eğim değerleri sehim ölçerler arası mesafe 100 mm için 0.0135, 150 mm için 0.0339 ve 200 mm için 0.0596'dır. Bununla birlikte, Şekil 4 de sehim-yük grafiklerinin eğim değerleri sehim ölçerler arası mesafe 100 mm için 0.033, 150 mm için 0.078 ve 200 mm için 0.1402'dir. Ancak deney sonunda elde edilen bu rijitlik değerleri çelik malzemenin rijitliği hakkında yorum yapabilmek için yeterli değildir. Bu sebeple teorik yaklaşım kullanılarak, çelik malzemenin elastisite modülü hesaplanacaktır.

Malzemenin mekanik özelliklerinden biri olan elastisite modülü bir rijitlik birimidir. Bir malzemenin elastisite modülü ne kadar yüksekse, malzeme o kadar rijit yapıda demektir. Bu sebeple, teorik yaklaşım içerisinde yer alan denklem 4 de kullanarak, elastisite modülü hesaplanıp, çelik malzemenin rijitlik değeri bulunacaktır. Bunun için denklem 4;

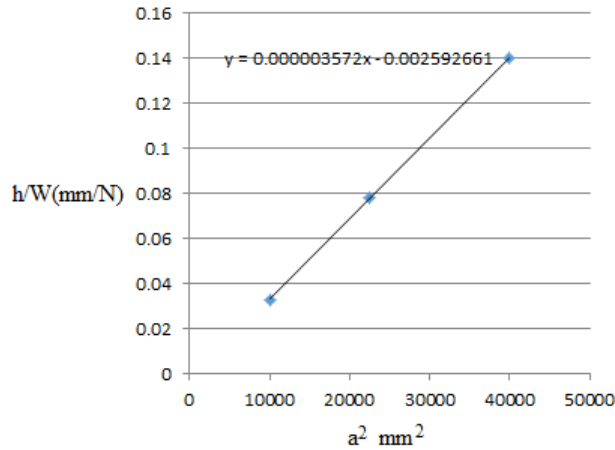
$$\frac{h/w}{a^2} = \frac{b}{2EI} \quad (6)$$

şeklinde sadeleştirilmiştir. Denklem 6 da görülen h/w değerleri için deney sonunda, her bir deney grubundan elde edilen eğim değerleri kullanılacaktır. Uygulanan yük ile mesnet arasındaki mesafe b=250 mm'dir. Atalet momenti ise 6.4 mm kalınlığa sahip çelik malzeme için  $I_g=(19*6.4^3)/12$  formülü ile ve 4.8 mm kalınlığa sahip çelik malzeme için  $I_g=(19*4.8^3)/12$  formülü kullanılarak belirlenmiştir.

Denklem 6 da açıkça görüldüğü gibi, h/w-a<sup>2</sup> grafiğinin eğim değerini belirledikten sonra çelik malzemenin elastisite modülü hesaplanabilmektedir. Bu sebeple, h/w-a<sup>2</sup> grafiği oluşturularak, eğim değeri bulunmuştur, Şekil 5&6 da h/w-a<sup>2</sup> grafiği verilmektedir.



Şekil 5. 6.4 mm kalınlığa sahip çelik malzemesinin h/w-a<sup>2</sup> grafiği



Şekil 6. 4.8 mm kalınlığa sahip çelik malzemesinin h/w-a<sup>2</sup> grafiği

Şekil 5' den elde edilen lineer doğrunun eğimi 0,00000153541 dir. Bu değer denklem 6 içerisinde uygulandığında ( $0,00000153541=250/2 * E * 415,061$ ) St37 çelik malzemenin elastisite modülü 196.542 GPa olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 6' dan elde edilen lineer doğrunun eğimi 0,000003572 dir. Bu değer denklem 6 içerisinde uygulandığında ( $0,000003572=250/2 * E * 175,104$ ) St37 çelik malzemenin elastisite modülü 199.866 GPa olarak hesaplanmaktadır.

Literatürde St37 çeliğin elastik modülü yaklaşık 210 GPa olarak rapor edilmektedir [9]. Deneysel ve teorik yaklaşım kullanılarak elde edilen değerler ile literatürde rapor edilen değer arasında çelik malzemesinin 6.4 mm kalınlığı için yaklaşık yüzde 6.84 ve 4.8 mm kalınlık değeri içinse 4.825 lik bir fark oluşmaktadır. Bu farklar da kabul edilebilir değerlerdir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı kalınlıklarda ki çelik malzemesinin dört nokta eğme deney yaklaşımı ile sehim değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler ile teorik yöntem kullanılarak malzemenin rijitliği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bulunan sonuçların literatür sonuçları ile çok yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile birlikte eğrilik yarıçapı kullanılarak da malzemelerin rijitliklerinin belirlenebileceği gösterilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] J. Miljojković, I. Bijelić, N. Vranić, N. Radovanović and M. Živković, “ Determining Elastic Modulus Of The Material By Measuring The Deflection Of The Beam Loaded In Bending, ” Tehnički vjesnik 24, 4(2017), 1227-1234.
- [2] W. H .Thomas, “ Shear and flexural deflection equations for OSB floor decking with point load”, Holz als Roh- und Werkstoff. 60. 175-180. 10.1007/s00107-001-0279-4, 2002.
- [3] Y.C. Wang, “Deflection of Steel-Concrete Composite Beams with Partial Shear Interaction”, Journal of Structural Engineering, 124(10), 1159-1165, 1998.
- [4] S. Karakaya and O. Soykasap, “ Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokumalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı, ” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (2) 43-52, 1305-631X, 2008.
- [5] A. Ohtsuki, “ An Analysis of Large Deflections in a Symmetrical Three-point Bending of Beam, ” Bulletin of JSME, Vol. 29, No. 253, 1986.
- [6] A. Aktas and C. Tanik, “ Düzgün Yayılı Yüke Maruz Ortotropik Kompozit Ankastre Kirişte Sehim Hesabı, ” Journal of Engineering Sciences, 5, (1), 879-884, 1999.
- [7] J. C. Venetis and E. P. Sideridis, “ Approximate Solution To Three Point Bending Equation For A Simply Supported Beam, ” Scientific Research and Essays, Vol. 10(9), pp. 339-347, ISSN 1992-2248, 2015.
- [8] M. H. Omurtag, Mukavemet-2, Istanbul-Turkey, 2018.
- [9] I. Eren and E. Erbayrak, “ Pirinç(MS58) ve Çelik(ST37) Malzemelerinden Yapılmış Kirişlerin Deneysel, Teorik ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Çökme Analizinin Yapılması, ” Science and Eng. J of Fırat Univ. 28(1),51-56, 2016.