

# Alüminyum Bal Peteği Yapılarda Oluşan Eğilme Kuvvetlerinin Çoklu Regresyon İle İncelenmesi

Harun AKKUŞ<sup>1\*</sup>, Hayrettin DÜZCÜKOĞLU<sup>2</sup>, Ömer Sinan ŞAHİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojisi Programı, Amasya, harunakkus@windowslive.com

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, hayduzcukoglu@selcuk.edu.tr

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, ossahin@selcuk.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 14 Nisan (April) 2015

Kabul / Accepted: 3 Haziran (June) 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.36340>

## Özet

Bu çalışmada, altıgen yapılı bal peteği kompozit yapıların çoklu regresyon tahmin modeli oluşturulmuştur. Saf epoksi ve %1 çok duvarlı karbon nano tüp (mwcnt) takviyeli yapıştırıcı ile farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikteki numuneler yapıştırılarak üretilen alüminyum bal peteklerinin üç nokta eğilme deneyleri ASTM E1556-08 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonucu eğilmeye sebep olan maksimum kuvvet(F) değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarında hücre genişliği sabit tutulduğunda hücre yüksekliği arttırıldığında eğilme kuvvetinde artma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı hücre yüksekliği için bakıldığında hücre genişliği arttıkça eğilme kuvvetinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. %1 mwcnt ile takviye edilen yapıştırıcı eğilme kuvvetlerinde azalmaya sebep olmuştur.  $F_{\text{epoksi}}$  için en iyi sonuçlar logaritmik regresyon denklemiyle,  $F_{\text{CNT}}$  için en iyi sonuçlar I. dereceden regresyon denklemiyle elde edilmiştir.  $F_{\text{epoksi}}$  ve  $F_{\text{CNT}}$  bağımlı değişkenine en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin hücre genişliği olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Alüminyum bal peteği, Epoksi, MWCNT, Üç nokta eğilme testi, Çoklu regresyon denklemi.

## Investigation of Bending Strength with Multiple Regression Model in Aluminum Honeycomb Structures

### Abstract

In this study, honeycomb hexagonal of composite structure is created of multiple regression model prediction. Three point bending tests of aluminum honeycomb, samples which have different cell diameters and heights adhesively produced with the pure epoxy and 1% multi-walled carbon nanotubes (mwcnt) reinforced adhesives, were performed according to ASTM standard E1556-08. Values of forces(F) that obtained from experimental results, were measured. Bending strength increased in case of cell diameter was constant and the cell height was increased. On the other hand bending strength decreased in case of cell diameter increases for the same cell height. Also 1% mwcnt which adds into the adhesive, caused to decrease of bending strength. The best results were obtained for  $F_{\text{epoksi}}$  and  $F_{\text{CNT}}$  with the logarithmic regression equation and the regression equation of first degree respectively. Cell diameter was found as of independent variable that has the most impact to dependent variables  $F_{\text{CNT}}$  and  $F_{\text{epoksi}}$ .

**Keywords** – Aluminum honeycomb, Epoxy, MWCNT, Three-point bending test, Multiple regression equation.

## 1 Giriş

Artan malzeme talebiyle yeni ve alternatif malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile araştırmalar farklı malzemelerin birleştirilmesi ile oluşturulan kompozit malzemelere yönelmiş ve bu alanda başarılı sonuçlar elde edilmiştir[1]. Yeni malzeme arayışı sonucu ortaya çıkan bilim dünyası tarafından ilgi gören, hakkında birçok bilimsel çalışma yapılan malzemelerden biriside bal peteği kompozit yapılarıdır. Bal peteği kompozit yapılar iki sert yüzey arasına yapıştırılan hafif çekirdek malzemeden oluşmaktadır[2]. Bal peteği yapılar ağırlık/mukavemet oranının önemli olduğu yerlerde(demiryolu, otomotiv, uçak sanayi gibi) kullanılır[3]. Geniş üretim sürecine sahip olması nedeniyle bal peteği yapıların mekanik davranışlarının belirlenmesi zor bir durumdur. Bal peteği yapıların kullanılmaları için mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekir[4]. Mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için basma, darbe, eğilme, çekme, soyulma gibi testler yapılmaktadır[3-6]. Testler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar yorumlanarak çeşitli tahmin ve simülasyon modelleri oluşturularak mekanik özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcılar nano parçacıklar gibi içerisine katılan katkı maddeleri ile güçlendirilmeye çalışılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcıya parçacık takviyesinin kopmayı geciktirdiği, yeterli yapışkan miktarının mukavemeti arttırdığını belirlenmiştir[7, 8]. Bal peteği kompozit yapıların basma mukavemetlerinin iyi olmasına rağmen eğilme ve kesme mukavemetlerinin iyi olmadığı hasarların uygulanan yüke bağlı olarak genelde yapışma noktalarında ayrılma şeklinde meydana geldiği bilinmektedir[9]. Darbe ve eğilme direnci çekirdek yapısına, uygulanan yüke, panel geometrisine, yapışma özelliğine bağlı olarak yapıda yayılmaktadır[10]. Saf epoksi ve farklı oranlarda mwcnt ilaveli (%0,5-1-1,5) yapıştırıcılarla birleştirilen alüminyum levha bindirmelerin darbe deneyi sonucu dayanımı en fazla %1 mwcnt ilavelinin arttırdığı belirlenmiştir [11].

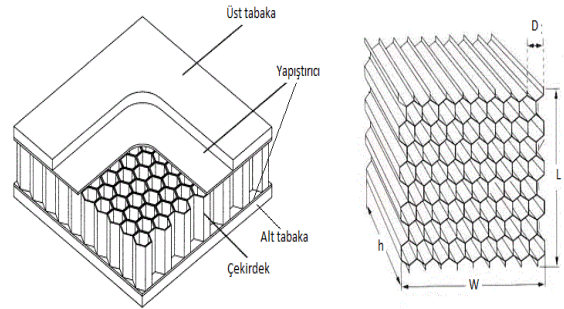
Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır[12]. Regresyon denklemleri sonucunda elde edilen belirtme katsayısı( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan mikta-

ra olan oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirtme katsayısı ( $R^2$ ) 1' e yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir[13-15].

Çalışmamızda saf epoksi ve %1 mwcnt takviyeli yapıştırıcılarla üretilen alüminyum bal peteği kompozit yapılarda üç nokta eğilme deneyi sonucu oluşan kuvvet değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda arttan deney sayısı maliyet ve zaman yönünden engel oluşturmaktadır. Çalışmamızda her hücre yüksekliği ve her hücre genişliği için deneylerin yapılması yerine bu engelleri ortadan kaldırmak, deney parametreleri arasındaki ilişkiyi ölçmek ve tahmin modeli oluşturmak için çoklu regresyon modelleri oluşturulmuştur.

## 2 Materyal ve Metot

Şekil 1'de alt-üst katman arasına yerleştirilmiş çekirdek yapının yapıştırıcı ile birleştirilmiş hali gösterilmiştir. Şekildeki ölçülerden D hücre genişliğini, h hücre yüksekliğini, W boyu, L genişliği ifade etmektedir. Deneylerde kullanılan numuneler iki farklı hücresel yükseklikte(10-30 mm) dört farklı hücre genişliğinde (6,78-10,39-14,17-17,32 mm) altıgen yapıya sahip 0,05 mm et kalınlığında alüminyum 3000 serisi çekirdek ve 0,5 mm kalınlığa sahip alüminyum 1000 serisi alt-üst katmandan oluşturulmuştur. Numunelerin genişlikleri 50 mm ve boyları 210 mm ebatlarında deney ölçülerine getirilmiştir. Deney listesi Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Altıgen bal peteği yapıların ebatları

Birinci yapıştırıcı olarak saf epoksi ve ikinci yapıştırıcı olarak %1 mwcnt ilaveli epoksi kullanılmıştır. İkinci yapıştırıcı için ilk olarak aseton içerisinde çözündürülen mwcnt'ler ultrasonic karıştırıcı yardımıyla 30 dakika karıştırılarak soğutma banyosunda, sonra aseton uçurma işlemi için 65 °C sıcaklıktaki fırında vakum ortamında 24 saat bekletildi. Epoksi içerisine katılan mwcnt'nin çapı 50 nm, boyu 10-30 µm boyutlarda

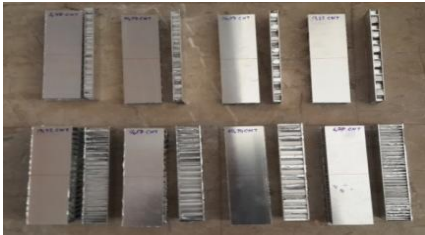
Times Nano Company şirketinden temin edilmiştir. Yapıştırıcı sürülmeden önce alt üst katmanlarda çekirdeğin daha iyi tutunması için P100 zımpara ile yüzey pürüzlülüğü oluşturuldu. Zımpara işleminden sonra yüzeyde meydana gelen zımpara tozları Sika Aktivator 205 (Sika Cleaner 205) ile bez yardımı ile silindi.

Ağırlıkça 2 birim yapıştırıcı ve 1 birim sertleştirici ile karıştırılarak (2:1 oranında) bir rahle yardımı ile önce alt tabakaya sürüldü ve üzerine çekirdek oturtuldu daha sonra yapıştırıcı sürülmüş üst tabakaya çekirdek üstüne kapatıldı. Oluşturulan bal peteği kompozit yapılar ilk kürleşme için oda sıcaklığında 3 saat, son kürleşme için 15 bar basınçta oda sıcaklığında bir gün preste bekletildi. 1x1 m' lik alüminyum tabakalara dört farklı hücre genişliğinde yapıştırılan numuneler testere ile kesilerek 50x210 mm ebatlarında deney ölçülerine getirildi.

Üç nokta eğilme testleri Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ASTM E1556-08 standardına göre gerçekleştirilmiştir[16]. Deneylerde Instron marka 8081 model çekme cihazı kullanılmıştır. Üretilen numuneler ve numunelerin test cihazına bağlanması Şekil 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deney listesi

Deney No	D(mm)	h(mm)
1	6,78	10
2	10,39	10
3	14,17	10
4	17,32	10
5	6,78	30
6	10,39	30
7	14,17	30
8	17,32	30



Şekil 2. Üretilen numuneler ve numunelerin test cihazına bağlanması

### 3 Bulgular

Üç nokta eğilme deneyleri sonucunda eğilmeye sebep olan maksimum kuvvet değerleri ölçüldü. Deneyler üç tekrar olarak yapıldı ve ortalama değerleri hesaplandı. Elde edilen değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

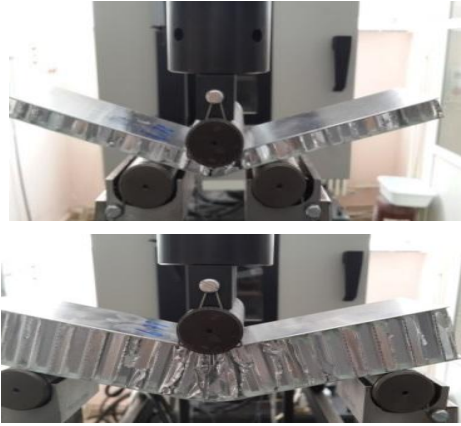
Çizelge 2'de hücre genişliği sabit tutulup hücre yüksekliği arttırıldığında eğilme kuvvetinde bir artma meydana geldiği tersi durumda azalma olduğu sonucuna varılmaktadır. Arttan hücre yüksekliği burkulma dayanımını arttırdığı için eğilmeye zorlayan kuvvet değerleri artmaktadır. Çizelge 2'de aynı hücre yüksekliği için bakıldığında hücre genişliği arttıkça eğilme kuvvetinde bir azalma tersi durumda ise bir artış olduğu görülmektedir. Arttan hücre genişliği yapıda boşluklar meydana getirdiğinden eğilme kuvvetleri azalmaktadır.

Çizelge 2. Deney sonucu elde edilen kuvvet değerleri

Deney No	F <sub>epoksi</sub> (N)	F <sub>CNT</sub> (N)
1	678,81	538,07
2	498,08	457,15
3	350,16	346,37
4	319,19	259,35
5	887,85	819,43
6	652,71	639,43
7	406,16	401,50
8	364,01	353,67

Çizelge 2 incelendiğinde yapıştırıcıya %1 mwcnt ilavesi eğilme kuvvetini düşürdüğü görülmektedir. Yapıştırıcı içerisine katılan katı parçacıklar yüzey tutunmasını engellediğinden dolayı kuvvet değerleri mwcnt için düşmüştür. Basma ve darbe deneylerinde yapıştırıcımız içerisine katılan %1 mwcnt'nin kuvvet değerlerini arttırdığını daha önceki çalışmalarımızda

elde edilmiştir [14, 15]. Şekil 3'te deney sonucu numunede meydana gelen şekil değişikliği görülmektedir.



Şekil 3. Deney sonucu numunede meydana gelen şekil değişikliği

### 3.1 Regresyon denklemlerinin elde edilmesi

Birinci dereceden regresyon ve logaritmik regresyon denkleminde bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse lineer regresyon eşitliği denklem (1)'de ve logaritmik regresyon eşitliği denklem (2)'deki gibi ifade edilir. Burada  $k_0$  sabit;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  ise x, y, z bağımsız değişkenlerinin katsayılarıdır.

$$T = k_0 + k_1 x + k_2 y + k_3 z \quad (1)$$

$$T = k_0 + k_1 \log(x) + k_2 \log(y) + k_3 \log(z) \quad (2)$$

Bu çalışmada çoklu regresyon modellerinden birinci ve logaritmik regresyon denklemleri elde edilen verilere uyarlanmış, sonucunda deney sonuçları ile çoklu regresyon arasındaki ilişki incelenmiştir. Çoklu regresyon modellerinin oluşturulmasında MINITAB 14 programından faydalanılmıştır.

#### 3.1.1 $F_{epoksi}$ için çoklu regresyon denklemleri

##### $F_{epoksi}$ için I. dereceden regresyon denklemi

$F_{epoksi}$  değerleri için elde edilen I. derece regresyon denklemi denklem (3)'te verilmiştir.  $F_{epoksi}$  için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Çizelge 3'de verilmiştir

$$F_{epoksi} = 931 - 43,4 D + 5,81 h \quad (3)$$

Çizelge 3.  $F_{epoksi}$  için I. derece regresyon denklem katsayıları

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	930,95	89,54	10,40	0,000
D	-43,358	5,951	-7,29	0,001
h	5,806	2,357	2,46	0,057

$F_{epoksi}$  için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı %92,2'dir. 1'e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 92,2'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir.  $F_{epoksi}$  bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken  $P < 0,5$  olduğu için hücre genişliğidir.

##### $F_{epoksi}$ için logaritmik regresyon denklemi

$F_{epoksi}$  değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (4)'te verilmiştir.  $F_{epoksi}$  için logaritmik regresyon denklem katsayıları Çizelge 4'te verilmiştir.

$$F_{epoksi} = 1424 - 1138 \log(D) + 243 \log(h) \quad (4)$$

Çizelge 4.  $F_{epoksi}$  için logaritmik regresyon denklem katsayıları

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	1423,6	160,1	8,89	0,000
D	-1137,8	119,9	-9,49	0,001
h	243,38	77,25	3,15	0,025

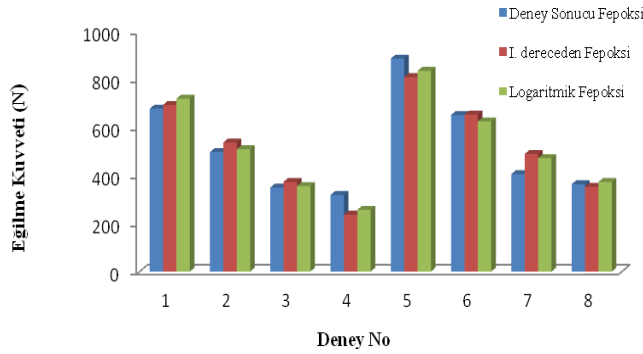
$F_{epoksi}$  için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı %95,2'dir. 1'e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %95,2'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir.  $F_{epoksi}$  bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken  $P < 0,5$  olduğu için hücre genişliğidir.

##### $F_{epoksi}$ için sonuçların kıyaslanması

$F_{epoksi}$  için I. dereceden ve logaritmik regresyon denklemleriyle yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5 değerlendirildiğinde logaritmik regresyon denklemi deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4'te elde edilen sonuçlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 5.**  $F_{epoksi}$  için deneysel, I. dereceden regresyon ve logaritmik regresyon sonuçları

Deney No	Deney Sonucu $F_{epoksi}$ (N)	I. dereceden $F_{epoksi}$ (N)	Logaritmik $F_{epoksi}$ (N)
1	678,81	694,848	721,06
2	498,08	538,174	510,09
3	350,16	374,122	356,74
4	319,19	237,412	257,53
5	887,85	811,048	837,00
6	652,71	654,374	626,03
7	406,16	490,322	472,68
8	364,01	353,612	373,47



**Şekil 4.**  $F_{epoksi}$  için deneysel ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması

### 3.1.2 $F_{CNT}$ için çoklu regresyon denklemleri

#### $F_{CNT}$ için I. dereceden regresyon denklemi

$F_{CNT}$  değerleri için elde edilen I. derece regresyon denklemi denklem (5)'te verilmiştir.  $F_{CNT}$  için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Çizelge 6'da verilmiştir.

$$F_{CNT} = 769 - 36,6 D + 7,66 h \quad (5)$$

**Çizelge 6.**  $F_{CNT}$  için I. derece regresyon denklem katsayıları

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	769,97	79,97	9,62	0,000
D	-36,633	5,315	-6,89	0,001
h	7,664	2,105	3,64	0,0015

$F_{CNT}$  için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı %92,4'tür. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 92,4'ü bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir.  $F_{CNT}$  bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip

olan bağımsız değişken  $P < 0,5$  olduğu için hücre genişliğidir.

#### $F_{CNT}$ için logaritmik regresyon denklemi

$F_{CNT}$  değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (6)'da verilmiştir.  $F_{CNT}$  için logaritmik regresyon denklem katsayıları Çizelge 7'de verilmiştir.

$$F_{CNT} = 1079 - 943 \text{ Log}(D) + 321 \text{ Log}(h) \quad (6)$$

**Çizelge 7.**  $F_{CNT}$  için logaritmik regresyon denklem katsayıları

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	1078,5	184,3	5,85	0,002
D	-943,5	138,0	-6,84	0,001
h	321,24	88,90	3,61	0,015

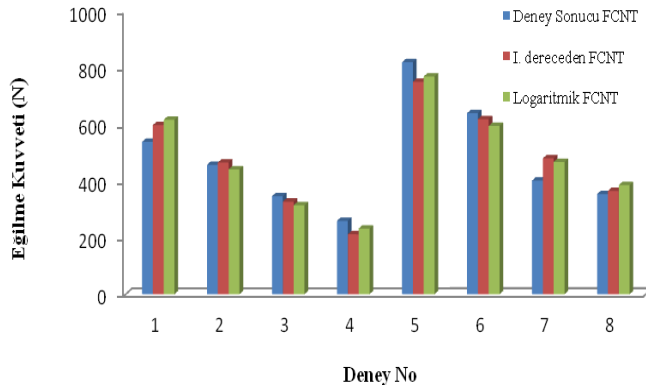
$F_{CNT}$  için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı %92,3'tür. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %92,3'ü bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir.  $F_{CNT}$  bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken  $P < 0,5$  olduğu için hücre genişliğidir.

#### $F_{CNT}$ için sonuçların kıyaslanması

$F_{CNT}$  için I. dereceden ve logaritmik regresyon denklemleriyle yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir. Çizelge 8 değerlendirildiğinde I. dereceden regresyon denkleminin deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Şekil 5'te elde edilen sonuçlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 8.**  $F_{CNT}$  için deneysel, I. derece regresyon ve logaritmik regresyon sonuçları

Deney No	Deney Sonucu $F_{CNT}$ (N)	I. dereceden $F_{CNT}$ (N)	Logaritmik $F_{CNT}$ (N)
1	538,07	597,45	616,15
2	457,15	465,33	441,33
3	346,37	326,98	314,26
4	259,35	211,69	232,05
5	819,43	750,65	769,31
6	639,43	618,53	594,49
7	401,50	480,18	467,41
8	353,67	364,89	385,21



Şekil 5. FCNT için deneysel ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması

#### 4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, altıgen yapılı bal peteği kompozitlerin eğilme davranışları üç nokta eğilme testi ile deneysel olarak incelenmiş ve daha sonra elde edilen kuvvet değerleri çoklu regresyon ile matematiksel olarak modellenmiştir. Deneyler ve yapılan regresyon modeli ile ilgili şu sonuçlara varılmıştır.

- ✓ Hücre genişliği sabit tutulup hücre yüksekliği artırıldığında eğilme kuvvetinde bir artma meydana geldiği tersi durumda azalma olduğu görülmüştür.
- ✓ Yapıştırıcıya %1 mwcnt ilavesi eğilme kuvvetini düşürdüğü sonucu elde edilmiştir.
- ✓ F<sub>epoksi</sub> için en iyi regresyon denklemi %95,2'lik belirtme katsayısı ile logaritmik regresyon denklemdir. F<sub>epoksi</sub> bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin hücre genişliği olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ F<sub>FCNT</sub> için en iyi regresyon denklemi %92,4'lük belirtme katsayısı ile I. dereceden regresyon denklemdir. F<sub>FCNT</sub> bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin hücre genişliği olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Farklı yapıştırıcı, farklı malzemeler, farklı hücre ölçüleri ve farklı tahmin modelleri kullanılarak sistemin geliştirilmesi önerilir.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. (Proje no: 13201066, 15401026 ve 15401128).

#### 6 Referanslar

- [1] Engin, Z.F. Balpeteği sandviç kompozitlerin darbe analizinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2011.
- [2] Aktay, L.; Johnson, A.F.; Kröplin, B.H. Numerical modelling of honeycombs core crush behavior, Engineering Fracture Mechanics. 2008; Vol. 75, p. 2616-2630.
- [3] Asadi, M.; Shirvani, H.; Sanaei, E.; Ashmead, M. A simplified model to simulate crash behavior of honeycomb, Proceedings of the International conference on Advanced Design and Manufacture, 8<sup>th</sup>-10<sup>th</sup> January, Harbin, China, 2006; p. 119-123.
- [4] Asadi, M.; Walker, B.; Shirvani, H. Development of the advanced finite element model for ODB impact barrier, LSDYNA User Conference, Japan, 2008.
- [5] Asadi, M.; Walker, B.; Shirvani, H. An investigation to compare the application of shell and solid element honeycomb model in ODB, 7<sup>th</sup> European LS-DYNA Conference, 2009.
- [6] Solmaz, M.Y.; Kaman, M.O.; Turan, K.; Turgut, A. Petek yapıları kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2010; Sayı 22, s. 1-11.
- [7] Zhai, L.; Ling, G.; Li, J.; Wang, Y. The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive, Materials Letters. 2006; Vol. 60, p. 3031-3033.
- [8] Jen, Y.M.; Ko, C.W.; Lin, H.B. Effect of the amount of adhesive on the bending fatigue strength of adhesively bonded aluminum honeycomb sandwich beams, International Journal of Fatigue. 2009; Vol. 31, p. 455-462.
- [9] Zhou, G.; Hill, M.D. Impact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels, Journal of Sandwich Structures and Materials. 2009; Vol. 11, p. 329-356.
- [10] Crupi, V.; Epasto, G.; Guglielmino, E. Comparison of aluminium sandwiches for lightweight ship structures: Honeycomb vs. foam, Marine Structures. 2013; Vol. 30, p. 74-96.
- [11] Akkuş, H.; Ekrem, M.; Karabulut, S.E.; Düzcükoğlu, H.; Şahin, Ö.S.; Avcı, A. Impact behavior of mwcnt reinforced epoxy adhesive bonded joints made with aluminium, 15<sup>th</sup> International Materials Symposium (IMSP), Bildiriler Kitabı s.742-748, 15-17 Ekim, Denizli, Türkiye, 2014.
- [12] Mandal, N.; Doloi, B.; Mandal, B.; Das, R. Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA)

cutting tool: Taguchi method and Regression analysis, Measurement. 2011; p. 2149-2155.

- [13] Akkuş, H. Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010.
- [14] Akkuş, H.; Düzcükoğlu, H.; Şahin, Ö.S. Prediction model for compressive strength value of aluminum honeycomb materials joined with %1 mwcnt reinforced epoxy adhesive, Journal of Engineering and Fundamentals. 2015; Vol. 2(1), pp. 13-20.
- [15] Akkuş, H.; Düzcükoğlu, H.; Şahin, Ö.S.; Asiltürk, İ. Development of regression model for strength prediction of aluminium honeycombs produced by carbon nanotube modified epoxy adhesives, 1. Uluslararası Katılımlı Savunma Sanayi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı s. 38-39, 9-10 Nisan, Kırıkkale, Türkiye, 2015.
- [16] Standard Specification for Epoxy Resin System for Composite Skin, Honeycomb Sandwich Panel Repair. 15.03.2015 tarihinde <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E1556-08.htm> adresinden erişildi.