

Alüminyum Bal Peteği Yapılarında Darbe Mukavemeti Tahmini İçin Regresyon Modeli Oluşturulması

Harun AKKUŞ^{1*}, Hayrettin DÜZCÜKOĞLU², Ömer Sinan ŞAHİN³

¹ Otomotiv Teknolojisi Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

³ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

(Geliş Tarihi/Received: 22.01.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 10.05.2016)

ÖZET

Bu çalışmada, başta savunma ve havacılık sanayinde hafiflik ile enerji absorbe etme yeteneğinden dolayı tercih edilen alüminyum bal peteği yapıların darbe davranışları incelenmiştir. Saf epoksi ve epoksi içerisine %1 çok duvarlı karbon nanotüp(mwcnt) takviye edilerek elde edilen yapıştırıcı ile altıgen yapı bal peteği kompozitler farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikte yapıştirılarak düşük hız darbe deneyleri ASTM D7766 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonucu malzeme absorbe ettiği kuvvet değerleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda bal peteği kompozit yapılarda hücre genişliği azaldıkça, hücre yüksekliği arttıkça ve mwcnt ilavesiyle kuvvet değerinin arttığı gözlemlenmiştir. MINITAB14 programından yararlanılarak I. dereceden regresyon ve logaritmik regresyon modeli oluşturulmuştur. F_{epoksi} ve F_{CNT} için oluşturulan regresyon modellerinde deney sonuçlarına en yakın sonuçlar I. dereceden regresyon modeliyle elde edilmiştir. Oluşturulan regresyon modelleri ile en etkin parametrenin hücre genişliği olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyum bal peteği, Epoksi, MWCNT, Düşük hız darbe deneyi, Çoklu regresyon modeli.

Development of Regression Model for Impact Strength Prediction of Aluminum Honeycombs Produced

ABSTRACT

In this study, the mechanical properties of aluminum honeycomb structure used in the defense and aerospace industry due to reduced weight and ability to absorb energy in the foreground are examined. Aluminum honeycomb structures with different cell size and height which were produced by using epoxy adhesive which is modified by multi walled carbon nano tubes. The honeycombs were then subjected to low velocity impact tests according to ASTM D7766. The impact force values were recorded. It is observed that impact forces increase with increasing cell height and decreasing cell size. MINITAB14 program utilizing multiple regression models were constructed. First order linear and logarithmic regression models for impact forces of honeycombs with neat and modified epoxy adhesives. It is observed that first order linear model gives more accurate results. It is also concluded that the cell size is the most effective parameter upon impact force.

Keywords: Aluminum honeycomb, Epoxy, MWCNT, Low velocity impact test, Multiple regression model.

1. Giriş

Yüksek mukavemet, klasik malzemelere oranla sahip oldukları yüksek “eğilme rijitliği/ağırlık” oranı, hafiflik, enerji absorbe yeteneği, ses izolasyonu ve darbelere karşı dayanıklılık gibi avantajlarından dolayı alüminyum bal peteği yapılar birçok alanda kullanılmaktadır (Hong vd., 2006; Abbadi vd., 2015; Akatay vd., 2015). Alüminyum bal peteği yapılar; kompozit malzemelerin özel bir çeşidi olup, iki tane ince ve rijit alt ve üst tabaka arasına kalın ama oldukça hafif çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle üretilirler (Crupi ve Epasto, 2013; Liu vd., 2015). Bal peteği malzemeler başta havacılık ve uzay sanayisinde olmak üzere denizcilik, hızlı tren, otomotiv, endüstriyel yapı, mantolama, ambalaj sanayinde, yalıtım ve yangın önleme, mobilya sanayinde, spor aletlerinde, kapılarda, mermer sanayinde, mimari projelerde duvar panellerinde, iç dekorasyonda dekoratif profiller, yat, tekne, gemi, karavan dekorasyonunda, trafik kazalarında can ve mal kaybını azaltmak için kullanılacak enerji absorbe edebilen tampon tasarımı, karayolu ulaşımında viyadük, keskin virajlarda oluşabilecek kaza risklerini azaltmak için yol bariyerleri gibi oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir (Jen vd., 2009; Kılıcaslan vd., 2013).

Mühendislik yapılarında özellikle imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçları engellemek için malzemenin bu tip etkiler karşısında mekanik davranışının nasıl olacağının

bilinmesi gerekir. Yapılan darbe testleri ile bu tepkiler tahmin edilebilir (Crupi ve Epasto, 2011). Darbe deneyleri sonucu petek yapıları kompozitlerin, dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri darbe yükleri altında elde edilebilir (Asadi vd., 2008). Farklı hücre boyutu, farklı malzemeler ve farklı yapıştırıcıların seçimi ile optimum darbe direnci elde edilebilir. Darbeyi yüzeye yaymak için daha kuvvetli bir yapıştırıcı gereksinimi bal peteği yapılarda birleştirmenin önemini ortaya koymaktadır (Kılıcaslan vd., 2013). Darbe testlerinde hasarların darbe bölgesinin etrafında toplandığı, yüzeye yayılmadığı bilinmektedir (Asadi vd., 2008). Darbe direnci: çekirdek yapısına, darbe ucuna, panel geometrisine, yapışma özelliğine bağlıdır (Zhai vd., 2006). Darbe kuvvetlerinin yüzeye yayılması için yapıştırıcı filminin kopmaması önem arz etmektedir (Zhou ve Hill, 2009). Bunun için yapıştırıcılar tek başına değil içerisine katılan çeşitli maddeler(nano parçacıklar gibi) ile takviye edilip yapışma özelliklerinin güçlendirilmesi arzu edilmektedir (Akkuş vd., 2014).

Regresyon analizi ile modelde; bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır (Mandal vd., 2011).

Bu çalışmada alüminyum bal petekleri numunelerinin düşük hız darbe davranışları incelenmiştir. Parametre aralığı çok geniş olduğundan deneylerin yapılması maliyet ve zaman yönünden bir engel oluşturmaktadır. Bu engelleri ortadan kaldırmak, gelecekte

numune üretimi gerçekleştirilmeden oluşan darbe hasarını tahmin etmek ve deney parametreleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Deneylerde kullanılan numuneler iki farklı yapıştırıcı(saf epoksi ve %1 mwcnt), 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. Deney listesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney listesi.

Deney No	D(mm)	h(mm)	Numune (mm)
1	6,78	10	100x100
2	6,78	30	100x100
3	10,39	10	100x100
4	10,39	30	100x100
5	14,17	10	100x100
6	14,17	30	100x100
7	17,32	10	100x100
8	17,32	30	100x100

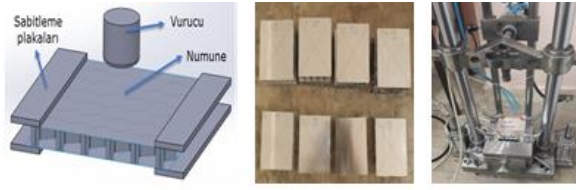
Birinci yapıştırıcı olarak saf epoksi ve ikinci yapıştırıcı olarak %1 mwcnt ilaveli epoksi kullanılmıştır. İkinci yapıştırıcı üretiminde ilk adım olarak mwcnt’ler aseton içerisinde çözdürüldü ve ultrasonic karıştırıcı yardımıyla 30 dakika karıştırılarak soğutma banyosunda bekletildi. Daha sonra aseton 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.

Yapıştırma işlemine başlamadan önce alt üst katmanlara çekirdeğin daha iyi tutunmasını sağlamak için P100 zımpara yardımıyla yüzeylerde pürüzlülük oluşturuldu. Zımpara işleminden sonra yüzeyde meydana gelen zımpara tozları yapışmaya engel oluşturmaması için yüzey temizleyici Sika Aktivator 205 (Sika Cleaner 205) ile silinerek arındırıldı. Elde edilen yapıştırıcılar 2:1 oranında sertleştirici ile karıştırılarak bir rahle yardımı ile önce alt tabakaya sürüldü ve üzerine çekirdek oturtuldu daha sonra yapıştırıcı sürülmüş üst tabaka 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 çekirdek yapıştırılan numuneler testere ile 100x100mm kesilerek darbe deneyi ölçülerine getirildi.

Düşük hız darbe testleri Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ASTM D7766 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyin şematik gösterimi, üretilen numuneler ve numunelerin test cihazına bağlanması Şekil 1’de gösterilmiştir. 6,35 kg ağırlığa sahip vurucu uç 20,5 mm yükseklikten bırakıldı. Vurucuya herhangi bir ek kuvvet uygulanmadı. Vurucu numuneye çarptıktan sonra yan taraflarda bulunan anti rebound

sistem ikinci bir darbe oluşmasını engellemektedir.



Şekil 1. Darbe şematik gösterimi, üretilen numuneler ve numunelerin test cihazına bağlanması.

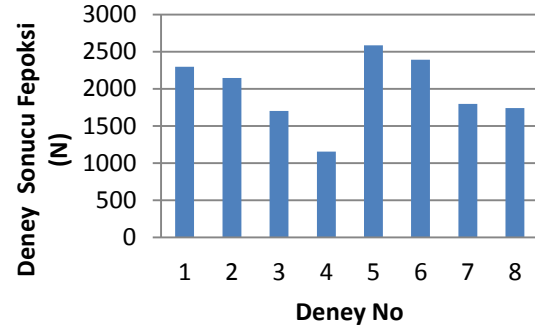
3. Deney Sonuçları

Düşük hız darbe deneyleri üç tekrar olarak gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Darbe sonucu ölçülen kuvvet reaksiyon kuvvetidir. Darbe deneyleri sonucunda elde edilen kuvvet değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

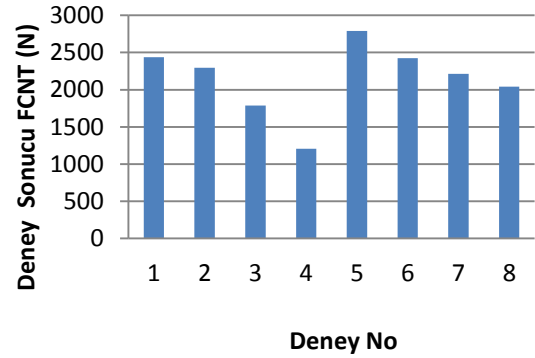
Tablo 2. Deney sonucu elde edilen kuvvet değerleri.

Deney No	D(mm)	h(mm)	F _{epoksi}	F _{CNT}
1	6,78	10	2299,17	2437,36
2	10,39	10	2146,14	2295,58
3	14,17	10	1700,96	1786,29
4	17,32	10	1154,68	1206,62
5	6,78	30	2584,83	2792,12
6	10,39	30	2391,92	2423,78
7	14,17	30	1795,56	2212,93
8	17,32	30	1743,16	2040,41

Tablo 2, Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde hücre genişliği sabit tutulup hücre yüksekliği arttırıldığında darbe kuvvetinde bir artış meydana geldiği tersi durumda azalma olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2. F_{epoksi} için deney sonuçları.



Şekil 3. F_{CNT} için deney sonuçları.

Tablo 2, Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde aynı hücre yüksekliği için bakıldığında hücre genişliği küçüldükçe kuvvet değerinde bir artma tersi durumda azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 2, Şekil 2 ve Şekil 3’e bakıldığında epoksi içerisine katılan mwcnt’nin darbe kuvvetlerinde artma sağladığı görülmektedir. Bu artışın sebebi epoksi içerisine katılan mwcnt’lerin yapışma yüzeyini arttırmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4’te deney sonucu numunede meydana gelen şekil değişikliklerinden birkaç tanesi görülmektedir.



Şekil 4. Deney sonucu numunede meydana gelen şekil değişikliği görüntüleri.

4. Çoklu Regresyon Denklemleri, Sonuçları ve Değerlendirilmesi

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. Regresyon denklemleri sonucunda elde edilen belirtme katsayısı (R^2) bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirtme katsayısı 1'e ne kadar yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir. Regresyon katsayısı bağımsız değişkende bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadar etkiye sahip olacağını ifade eder. Düzeltilmiş katsayılar ise katsayılarıdaki standart hatayı bildirir. Sabit ve regresyon katsayısı için "T" test istatistiklerinin sonucunu ifade eder. "P" ise regresyon analizinin anlamlı olup, olmadığını test etmektedir. $P < 0,05$ olursa regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisinin olduğu sonucuna varılır (Akkuş ve Asiltürk, 2011).

4.1. F_{epoksi} değerleri için çoklu regresyon denklemleri

4.1.1. F_{epoksi} için I. dereceden regresyon denklemi

F_{epoksi} değerleri için elde edilen I. dereceden regresyon denklemi denklem (1)'de verilmiştir. F_{epoksi} için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 3'te verilmiştir.

$$F_{epoksi} = 2876 - 98,9 * D + 15,2 * h \quad (1)$$

Tablo 3. F_{epoksi} için I. dereceden regresyon denklem katsayıları.

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	2876,1	192,8	14,92	0,000
D	-98,87	12,82	-7,71	0,001
h	15,182	5,075	2,99	0,030

F_{epoksi} için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı %93,2'dir. 1'e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 93,2'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. F_{epoksi} bağımlı değişkenine I. dereceden denkleminde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken $P < 0,05$ olduğu için hücre genişliğidir.

4.1.2. F_{epoksi} için logaritmik regresyon denklemi

F_{epoksi} değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (2)'de verilmiştir. F_{epoksi} için logaritmik regresyon denklem katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

$$F_{epoksi} = 3816 - 2480 \cdot \text{Log}(D) + 636 \cdot \text{Log}(h) \quad (2)$$

Tablo 4. F_{epoksi} için logaritmik regresyon denklem katsayıları.

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	3816,4	562,7	6,78	0,001
D	-2804,1	421,5	5,88	0,002
h	636,4	271,5	2,34	0,066

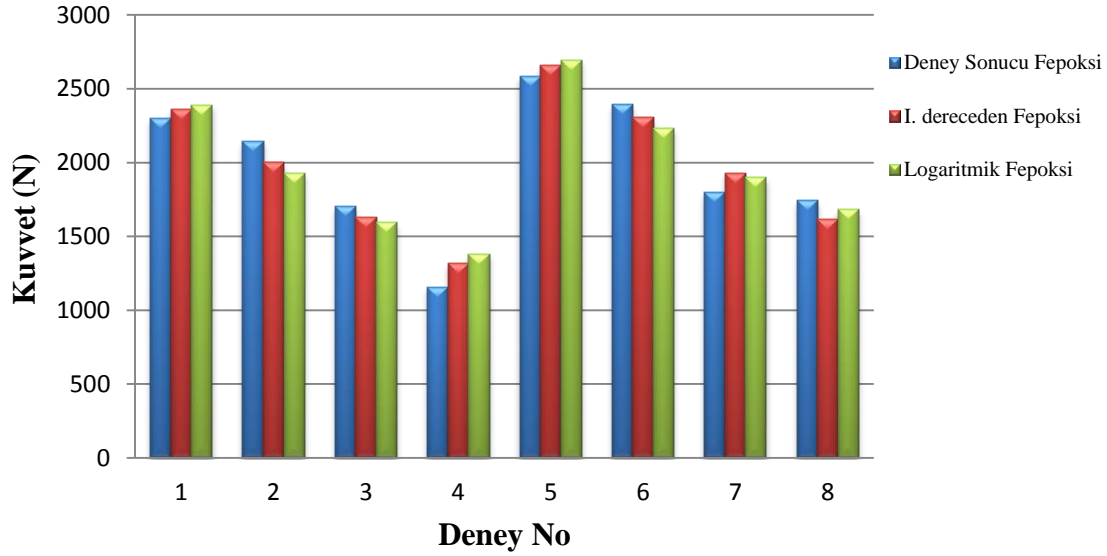
F_{epoksi} için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı %88,9'dur. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 88,9'u bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. F_{epoksi} bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken $P < 0,05$ olduğu için hücre genişliğidir.

4.1.3. F_{epoksi} için sonuçların kıyaslanması

F_{epoksi} için I. dereceden ve logaritmik regresyon denklemleri sonucu yapılan hesaplamalar Tablo 5'te verilmiştir. Şekil 5'te elde edilen sonuçlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir. Elde edilen belirtme katsayıları, Tablo 5 ve Şekil 5 değerlendirildiğinde I. dereceden regresyon denkleminin deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 5. F_{epoksi} için deneysel, I. dereceden regresyon ve logaritmik regresyon sonuçları.

Deney No	D (mm)	h (mm)	Deney Sonucu I. dereceden Logaritmik		
			F_{epoksi}	F_{epoksi}	F_{epoksi}
1	6,78	10	2299,17	2357,46	2390,55
2	10,39	10	2146,14	2000,43	1930,79
3	14,17	10	1700,96	1626,59	1596,60
4	17,32	10	1154,68	1315,05	1380,40
5	6,78	30	2584,83	2661,46	2694,00
6	10,39	30	2391,92	2304,43	2234,24
7	14,17	30	1795,56	1930,59	1900,05
8	17,32	30	1743,16	1619,05	1683,85



Şekil 5. F_{epoksi} için deneysel ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması.

4.2. F_{CNT} değerleri için çoklu regresyon denklemleri

4.2.1. F_{CNT} için I. dereceden regresyon denklemi

F_{CNT} değerleri için elde edilen I. dereceden regresyon denklemi denklem (3)'de verilmiştir. F_{CNT} için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 6'da verilmiştir.

$$F_{CNT} = 2856 - 93,9 \cdot D + 21,8 \cdot h \quad (3)$$

Tablo 6. F_{CNT} için I. derece regresyon denklem katsayıları.

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	2855,6	227,4	12,56	0,00
D	-93,88	15,12	-6,21	0,002
h	21,792	5,986	3,64	0,015

F_{CNT} için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı %91,2'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 91,2'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. F_{CNT} bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken P<0,05 olduğu için hücre genişliğidir.

4.2.2. F_{CNT} için logaritmik regresyon denklemi

F_{CNT} değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (4)'te verilmiştir. F_{CNT} için logaritmik regresyon denklem katsayıları Tablo 7'de verilmiştir.

$$F_{CNT} = 3521 - 2363 \cdot \text{Log}(D) + 913 \cdot \text{Log}(h) \quad (4)$$

F_{CNT} için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı %88'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki

değişimin % 88'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir.

Tablo 7. F_{CNT} için logaritmik regresyon denklem katsayıları.

	Katsayılar	Düzeltilmiş katsayılar	T	P
Sabit	3521,3	606,2	5,81	0,002
D	-2362,9	454,1	5,20	0,003
h	913,5	292,5	3,12	0,026

F_{CNT} bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız

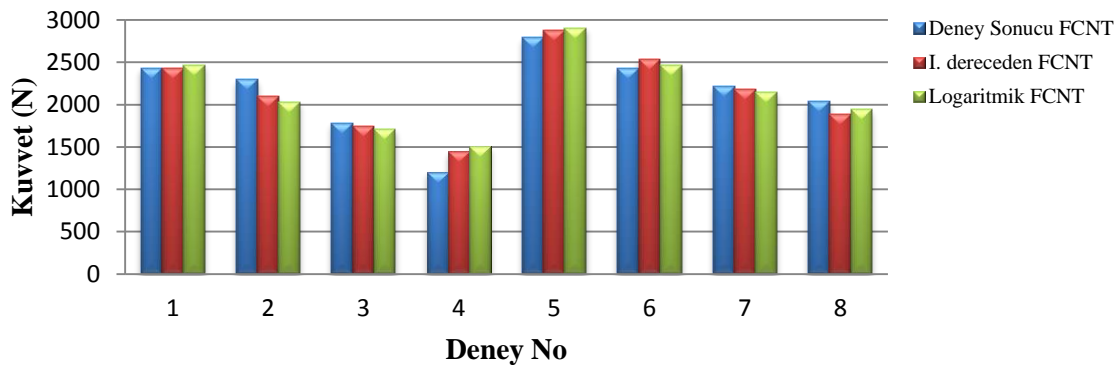
değişken $P < 0,05$ olduğu için hücre genişliğidir.

4.2.3. F_{CNT} için sonuçların kıyaslanması

F_{CNT} için I. dereceden ve logaritmik regresyon denklemleri sonucu yapılan hesaplamalar Tablo 8'de verilmiştir. Şekil 6'da elde edilen sonuçlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir. Elde edilen belirtme katsayıları, Tablo 8 ve Şekil 6 değerlendirildiğinde I. dereceden regresyon denkleminin deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 8. F_{CNT} için deneysel, I. derece regresyon ve logaritmik regresyon sonuçları.

Deney No	D (mm)	h (mm)	Deney Sonucu F_{CNT}	I. dereceden F_{CNT}	Logaritmik F_{CNT}
1	6,78	10	2437,36	2437,36	2469,80
2	10,39	10	2295,58	2098,38	2031,74
3	14,17	10	1786,29	1743,44	1713,31
4	17,32	10	1206,62	1447,65	1507,31
5	6,78	30	2792,12	2873,36	2905,42
6	10,39	30	2423,78	2534,38	2467,35
7	14,17	30	2212,93	2179,44	2148,92
8	17,32	30	2040,41	1883,65	1942,92



Şekil 6. F_{CNT} için deneysel ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, altıgen yapılı bal peteği kompozitlerin düşük hız darbe davranışları deneysel olarak incelenmiş ve daha sonra elde edilen kuvvet değerleri çoklu regresyon ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Deneysel ve yapılan regresyon modeli ile ilgili şu sonuçlara varılmıştır.

1. Hücre genişliği sabit tutulup hücre yüksekliği arttırıldığında darbe kuvvetinde bir artış meydana geldiği tersi durumda azalma olduğu sonucuna varılmıştır.
2. Hücre yüksekliği sabit tutulup hücre genişliği küçüldükçe kuvvet değerinde bir artma tersi durumda azalma olduğu görülmüştür.
3. Epoksi içerisine %1 oranında katılan CNT darbe kuvvetinde artma sağladığı görülmüştür.
4. F_{epoksi} için en iyi regresyon denklemi %93,2'lik belirtme katsayısı ile I. dereceden regresyon denklemidir. F_{epoksi} bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin hücre genişliği olduğu tespit edilmiştir.
5. F_{CNT} için en iyi regresyon denklemi %91,2'lik belirtme katsayısı ile I. dereceden regresyon denklemidir. F_{CNT} bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin hücre genişliği olduğu tespit edilmiştir.

6. Öneriler

Bu çalışmada alüminyum bal peteği yapılarda meydana gelen darbe kuvvetleri iki farklı hücre yüksekliği, dört farklı hücre genişliği ve iki farklı yapıştırıcı ile araştırılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda farklı yapıştırıcılar, farklı malzemeler, farklı hücre ölçüleri ve farklı tahmin modelleri kullanılarak sistemin geliştirilmesi araştırmacılara önerilir.

Teşekkür

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

7. Kaynaklar

- Abbadi, A., Tixier, C., Gilgert, J., Azari Z. 2015. Experimental study on the fatigue behaviour of honeycomb sandwich panels with artificial defects. *Composite Structures*, 120, 394-405.
- Akatay, A., Bora, M.Ö., Çoban, O., Fidan, S., Tuna V. 2015. The influence of low velocity repeated impacts on residual compressive properties of honeycomb sandwich structures. *Composite Structures*, 125, 425-433.
- Akkuş, H., Ekrem M., Karabulut S.E., Düzcükoğlu H., Şahin Ö.S., Avcı A. 2014. Impact behavior of mwnt reinforced epoxy adhesive bonded joints made with aluminium. 15th International Materials Symposium

- (IMSP), Bildiriler Kitabı, 742-748, 15-17 Ekim, Denizli, Türkiye.
- Akkuş, H., Asiltürk, İ. 2011. Predicting surface roughness of AISI 4140 steel in hard turning process through artificial neural network, fuzzy logic and regression model. *Academic Journals Scientific Research and Essays*, 6(13), 2729-2736.
- Asadi, M., Walker, B., Shirvani, H. 2008. Development of the advanced finite element model for ODB impact barrier. *LSDYNA User Conference, Japan*.
- Crupi, V., Epasto, G., Guglielmino, E. 2013. Comparison of aluminium sandwiches for lightweight ship structures: Honeycomb vs. foam. *Marine Structures*, 30, 74-96.
- Crupi, V., Epasto, G., Guglielmino, E., 2011. Computed Tomography analysis of damage in composites subjected to impact loading. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 17, 32-41.
- Hong, S.T., Pan, J., Tyan, T., Prasad, P. 2006. Quasi-static crush behavior of aluminum honeycomb specimens under non-proportional compression-dominant combined loads. *International Journal of Plasticity*, 22, 1062-1088.
- Jen, Y.M., Ko, C.W., Lin, H.B. 2009. Effect of the amount of adhesive on the bending fatigue strength of adhesively bonded aluminum honeycomb sandwich beams. *International Journal of Fatigue*, 31, 455-462.
- Kılıçaslan, C., Guden, M., Odacı, I.K., Tasdemirci, A. 2013. The impact responses and the finite element modeling of layered trapezoidal corrugated aluminum core and aluminum sheet interlayer sandwich structures. *Materials and Design*, 46, 121-133.
- Liu, L., Wang, H., Guan, Z. 2015. Experimental and numerical study on the mechanical response of Nomex honeycomb core under transverse loading. *Composite Structures*, 121, 304-314.
- Mandal, N., Doloi, B., Mondal, B., Das, R. 2011. Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool. *Taguchi method and Regression analysis, Measurement*, 2149-2155.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y. 2006. The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive. *Materials Letters*, 60, 3031-3033.
- Zhou, G., Hill, M.D. 2009. Impact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 11, 329-356.