

ALÜMİNYUM HONEYCOMB YAPILARDA DARBE KUVVETLERİNİN OPTİMİZASYONU

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

¹Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Otomotiv Teknolojisi Programı, Amasya, Türkiye,

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

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

Özet-Bu çalışmada alüminyum honeycomb yapıların darbe davranışlarına yönelik bir Taguchi modeli oluşturulmuştur. Üç bağımsız değişken (hücre genişliği, hücre yüksekliği ve yapıştırıcı) kullanılarak, bağımlı değişkene(darbe kuvvetleri) etkisi Taguchi karışık dizayn L16 (4*1 2*2) ortogonal dizi ile oluşturulan deney listesine göre düşük hız darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde darbe sonucu absorbe edilen kuvvet değerleri ölçülmüştür. En yüksek en iyi çözüm yaklaşımına göre hücre genişliği için 6,78mm, hücre yüksekliği için 10mm ve yapıştırıcı olarak %1 çok duvarlı karbon nano tüp(mwcnt) takviyeli 1 1 2 faktörlerinde darbe kuvvet değerleri optimum seviyededir. Taguchi yöntemine göre diğer bir sonuçta darbe kuvvetleri üzerinde bağımsız değişkenlerin önem sırası hücre genişliği, hücre yüksekliği ve yapıştırıcı olarak elde edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre seçilen bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni %95 güvenlilikte açıklamaktadır.

Anahtar kelimeler: Epoksi, MWCNT, Alüminyum Bal Peteği, Düşük Hız Darbe deneyi, Taguchi Metodu

OPTIMIZATION OF IMPACT FORCE IN ALUMINUM HONEYCOMB STRUCTURE

Abstract-In this study, aluminum honeycomb structure for impact behavior of was established Taguchi model. Three independent variables (cell width, cell height and glue) using the dependent variable (impact forces) influence Taguchi intricate design L16 (4 * 1 2 * 2) low speed impact tests according to the test list created with the orthogonal array was performed. Experimental results on impact to absorb the forces were measured. According to highest based on the best solution approaches impact forces values of the factor 1 1 2 is optimal. Taguchi method to maximum effect by impact forces with the order of importance of the independent variables on the cell width. The dependent variable arguments are selected according to the ANOVA results illustrate the 95% confidence level.

Keywords: Epoxy, MWCNT, Aluminium Honeycomb, Low Velocity Impact Test, Taguchi Method

*harunakkus@windowslive.com

1 GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit sandviç yapılar iki sert yüzey arasına sıkıştırılmış hafif çekirdek malzemeden oluşur [1]. Köpük ve petek olarak adlandırılan iki farklı çekirdek yapısı mevcuttur. Sandviç kompozitler içerisinde bulunan malzeme ve özellikleri bakımından çok geniş bir alana sahiptirler. Havacılık alanında ilk sandviç yapı uygulaması II. Dünya Savaşı sırasında Havilland Mosquito çok amaçlı ilk askeri uçağın kanat ve gövdesinde yüzeyler kontaplak ve çekirdek balsa ağacından yapılarak inşa edilmiştir [2]. Geçmişten günümüze bal peteği yapılarına ilgi giderek artmış inşaat, mobilya, astronomi, denizcilik, trenler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [3]. Bu alanlarda kullanımının sağlanabilmesi için özelliklerinin öğrenilmesi ve bu özelliklerin istenilen şartları sağlaması için pek çok deneysel ve sayısal analiz modelleri hakkında çalışmalar gelişen teknoloji ışığında devam etmektedir.

Bal peteği yapıların ağırlık/mukavemet oranının önemli olduğu yerlerde(demiryolu, otomotiv, uçak sanayi gibi) kullanılır. Ayrıca kazalarda enerji absorbe etmede kullanılabilir. Örneğin, yüksek hızlı trenlerin ön kısımlarında ve otomobil şaselerinde kullanılan petek yapılar kaza anındaki şokları emerek yaşam hücreleri oluşturarak sürücü ve yolcuların hayatını korumada pasif güvenlik sistemi olarak son yıllarda karşımıza çıkmaktadır [4]. Geniş üretim sürecine sahip olması nedeniyle bal peteği yapıların mekanik davranışlarının belirlenmesi zor bir durumdur. Bu yapıların gelecekte kullanımları için bu özelliklerinin bilinmesi gerekir [5].

Honeycomb yapılar özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır [6]. Honeycomb malzemelerin enerji absorbe özelliğinin belirlenebilmesi için düşük ya da yüksek hızlı darbe deneylerinin yapılması, darbe sonucu absorbe edilen kuvvet, enerji değerleri ve şekil değişikliğinin bilinmesi gerekir [7, 8]. Darbe sonucu kuvvetin yüzeyde yayılması istenilen bir özelliktir. Bu özelliğin sağlanabilmesi için yüzeydeki yapıştırıcı filminin kopmaması gerekir [9]. Hücre genişliği azaldıkça ve hücre yüksekliği arttıkça darbe sonucu enerji absorbe yeteneği artmaktadır [10].

Taguchi yöntemi ile hedef değerler veya tahmin edilen değerler, kontrol edilebilen parametreleri ve seviyelerini içeren ortogonal dizinler ile belirlenmektedir. Seçilen ortogonal dizini ile oldukça az sayıda deney veya çalışma yapılarak parametrelerin sonuca etkileri araştırılabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile yapılmamış olan diğer deney sonuçları ile maksimum ve minimum değerler de tahmin edilebilmektedir. Taguchi yöntemi, son yıllardaki bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemelerin sonucunda, çeşitli bilimsel araştırmalarda, endüstri ürünleri tasarımlarında ve deney tasarımlarında kullanılmaktadır [11].

Bu çalışmada farklı ölçülerde ve farklı yapıştırıcı ile üretilen alüminyum honeycomb yapıların Taguchi L16 karışık dizayn ile oluşturulan deney listesine göre numunelerin düşük hız darbe deneyleri gerçekleştirilmiş ve darbe kuvvet değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçları MINITAB14 programı ile Taguchi analizi gerçekleştirilmiş elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIALS and METHODS)

2.1. Deneysel Tasarım (Experimental Design)

Alüminyum honeycomb kompozit yapıların dört farklı hücre genişliği(6,78-10,39-14,17-17,32mm), iki farklı hücre yüksekliği(10-30mm) ve iki farklı yapıştırıcı(saf epoksi-%1mwcnt takviyeli) için darbe sonucu absorbe ettiği kuvvet değerlerini belirlemek için darbe deneyleri ASTM D7766 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Taguchi L16 (4*1 2*2) karışık deney tasarım (mixed level design) metodu kullanılmıştır. Taguchi L16 deney tasarımı için deneylerde kullanılan faktör ve seviyeleri Tablo 1'de, oluşturulan L16 deney tasarım listesi Tablo 1'de

verilmiştir. Deneysel üç tekrar olarak gerçekleştirilmiş ve ölçülen kuvvetlerin ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 1. Kontrol faktörleri ve seviyeleri (Control factors and levels)

Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
Hücre genişliği	Mm	6,78	10,39	14,17	17,32
Hücre yüksekliği	Mm	10	30		
Yapıştırıcı	-	Saf epoksi	%1 mwcnt		

2.2. Malzeme Üretimi (Material Production)

Deneysel kullanılan numuneler iki farklı yapıştırıcı, iki farklı hücresel yükseklikte(10-30 mm), dört farklı hücre genişliğinde altıgen yapıya sahip (6,78-10,39-14,17-17,32 mm) 0,05mm et kalınlığında alüminyum 3000 serisi çekirdek ve 0,5mm kalınlığa sahip alüminyum 1000 serisi alt-üst katmandan oluşturulmuştur. Birinci yapıştırıcı olarak Mega Glue 3012 saf epoksi ve ikinci yapıştırıcı olarak %1 mwcnt ilaveli epoksi kullanılmıştır. Epoksi içerisine katılan mwcnt'nin çapı 50 nm, boyu 10-30 µm boyutlarda Times Nano Company şirketinden temin edilmiştir. 1X1 m'lik tabakalar halinde oluşturulan bal petekleri 100x100 mm kesilerek deney ölçülerine getirildi.

2.3. Metot (Method)

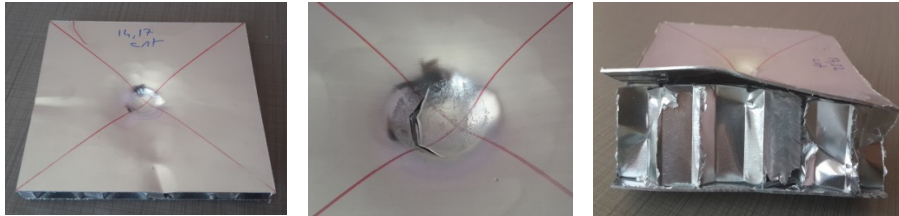
Darbe deneyleri Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ASTM D7766 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler ve numunelerin test cihazına bağlanması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üretilen numuneler ve numunelerin deney cihazına bağlanması (Produced samples and the samples to connected test device)

3. DENEYSEL SONUÇLAR ve TAGUCHİ METODU (EXPERIMENTAL RESULTS and TAGUCHI METHOD)

Deneysel üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama kuvvet değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney sonucu numunelerde meydana gelen hasar örnekleri Şekil 2'de verilmiştir. Deney sonucu meydana gelen hasarlar yüzeylerde kopma, yapıştırıcı ayrılması olarak gözlemlenmiştir. Tablo 2'ye bakıldığında hücre genişliği azaldıkça, hücre yüksekliği arttıkça ve yapıştırıcıya mwcnt ilavesi ile darbe kuvvetlerinde bir artış olmuştur.



Şekil 2. Deney sonucu numunelerde meydana gelen şekil değişiklikleri (Test results the shape change occurring in samples)

Deney şartları belirlenirken Taguchi L16 deney tasarımı metodu kullanılmıştır. Taguchi ve ANOVA çözümleri MINITAB14 programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz gerçekleştirilirken üç adet bağımsız değişken (dört seviye hücre genişliği, iki seviye hücre yüksekliği ve iki seviye yapıştırıcı) ve bunların birbirleri ile etkileşimli olduğu tanımlanmıştır. Taguchi deney tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt S/N oranıdır. S(Sinyal) sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değerdir. N(Gürültü) ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını gösterir. Denklemlerdeki n tekrar sayısı, y_i ise değişkenin ölçülen değeridir [12].

$$10 \log \left[\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right] \quad \text{Nominal en iyi durumu} \quad (1)$$

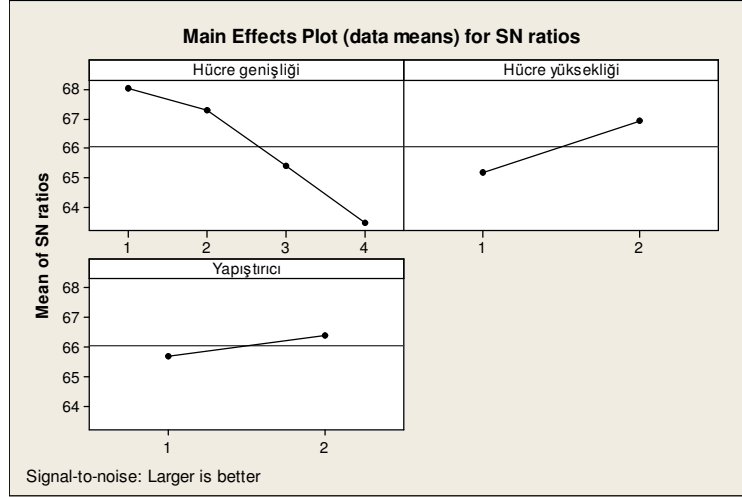
$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad \text{En büyük en iyi durumu} \quad (2)$$

$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad \text{En küçük en iyi durumu} \quad (3)$$

Bu üç durumda da amaç S/N oranını maksimize etmektir. Bu oranların maksimize edilmesi, sinyali artırırken, varyansı azaltmaktadır. Darbe sırasında absorbe edilen kuvvetin maksimum olması istendiğinden S/N oranının hesaplanması için analizde en büyük en iyi yaklaşımı kullanılmıştır. Tablo 2’de sonuçlar için hesaplanan S/N oranları verilmiştir.

Tablo 2. L16 ortogonal dizilim kullanarak deney tasarımı, deney sonuçları ve S/N oranları (L16 orthogonal array using experimental design, test results and S / N ratio)

Deney No	Hücre genişliği	Hücre yüksekliği	Yapıştırıcı	Darbe Kuvvetleri (N)	S/N oranı
1	1	1	1	2299,17	66,79
2	1	1	2	2437,36	67,52
3	1	2	1	2584,83	68,55
4	1	2	2	2792,12	69,28
5	2	1	1	2146,14	66,03
6	2	1	2	2295,58	66,77
7	2	2	1	2391,92	67,79
8	2	2	2	2423,78	68,53
9	3	1	1	1700,96	64,16
10	3	1	2	1786,29	64,90
11	3	2	1	1795,56	65,92
12	3	2	2	2212,93	66,66
13	4	1	1	1154,68	62,23
14	4	1	2	1206,62	62,96
15	4	2	1	1743,16	63,99
16	4	2	2	2040,41	64,72



Şekil 3. Kuvvetin en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği (Variation of force with respect to the biggest and best S/N ratio)

Tablo 3. Kuvvet faktörü için S/N cevap tablosu (Forces largest best S / N ratio according to the graph of the factor levels)

Seviye	Hücre genişliği	Hücre yüksekliği	Yapıştırıcı
1	68,03	65,17	65,68
2	67,28	66,93	66,42
3	65,41		
4	63,48		
Delta değeri	4,56	1,76	0,73
Sıralama	1	2	3

Şekil 3'te kuvvetin en büyük en iyi S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde hücre genişliği için birinci seviye 6,78mm; hücre yüksekliği için ikinci seviye 30mm ve yapıştırıcı için ikinci seviye %1 mwent takviyeli yapıştırıcı da darbe kuvvetleri optimum düzeydedir. Tablo 2'de dört nolu deney darbe kuvvetlerinin optimum olduğu şartları göstermektedir. Tablo 2'de 69,28 ile en yüksek S/N oranı yani hücre genişliği birinci seviye, hücre yüksekliği ikinci seviye ve yapıştırıcı ikinci seviyede optimum noktaya ulaşıldığı görülmektedir. Tablo 3 kuvvet faktörü için S/N cevap tablosunda delta değerleriyle belirlenen sıralama değerleri bize kuvvetler üzerine en çok etkiye sahip parametrenin birinci sırada hücre genişliği, ikinci sırada hücre yüksekliği ve üçüncü sırada yapıştırıcı olduğu görülmektedir. ANOVA sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre $p < 0,01$ veya $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde olması gerekir. Tablo 4 sonuçlarına göre darbe kuvvetleri üzerinde sırayla hücre genişliği, hücre yüksekliği ve yapıştırıcının etkiye sahip olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4. ANOVA analizi için sonuç tablosu (Results table for ANOVA analysis)

Değişken ismi	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	Düzeltilmiş ortalama kare	F değeri	P değeri
Hücre genişliği	3	49,948	49,948	16,649	19,910	0,000
Hücre yüksekliği	1	12,394	12,394	12,394	14,820	0,003
Yapıştırıcı	1	2,151	2,151	2,151	2,570	0,140
Hata	10	8,363	8,363	0,836		

Toplam	15	72,856			
--------	----	--------	--	--	--

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada farklı hücre ölçülerine ve farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum honeycomb kompozit yapılar oluşturulmuş ve darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taguchi L16 (4*1 2*2) ortogonal dizi ile oluşturulan karışık dizayn tasarımında S/N oranları hesaplanmıştır. Darbe kuvvetlerinin maksimum olması istendiğinden Taguchi deney tasarımında en büyük en iyi çözümü sonucunda darbe kuvvetleri için optimum sonuç hücre genişliği 6,78 mm; hücre yüksekliği 30 mm ve yapıştırıcı %1 mwcnt olduğunda elde edilmiştir. Belirlenen sıralama değerleriyle kuvvetler üzerinde en çok etkiye sahip parametrenin sırasıyla hücre genişliği, hücre yüksekliği ve yapıştırıcı olduğu sonucuna varılmıştır. ANOVA sonuçlarına göre yapılan tahmin modelinin anlamlılık düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

Gelecekte yapılacak akademik ve endüstriyel çalışmalarda kullanılacak memnuniyet verici sonuçlar elde edilmiştir. Bizden sonra yapılacak çalışmalarda farklı hücre şekilleri, farklı hücre yükseklikleri, farklı hücre genişlikleri, farklı malzemeler, farklı yapıştırıcı çeşitleri, içi dolu yada boşluklu hücreler gibi değişiklikler ile yapılan çalışmalara farklılık katılması önerilir.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı 13201066 nolu proje ile destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Abbadi A., Tixier, C., Gilgert, J. and Azari, Z., (2015). Experimental Study on The Fatigue Behaviour of Honeycomb Sandwich Panels with Artificial Defects, *Composite Structures*, 120, 394-405.
- [2]. Aktay, L., Johnson, A.F. and Kröplin, B.H., (2008). Numerical Modelling of Honeycomb Core Crush Behavior, *Engineering Fracture Mechanics*, 75, 2616-2630.
- [3]. Crupi V., Epasto, G. and Guglielmino, E., (2012). Collapse Modes in Aluminium Honeycomb Sandwich Panels Under Bending and Impact Loading, *International Journal of Impact Engineering*, 43, 6-15.
- [4]. Asadi, M., Shirvani, H., Sanaei, E. and Ashmead, M., (2006). A Simplified Model To Simulate Crash Behavior of Honeycomb, *Proceedings of the International conference on Advanced Design and Manufacture*, 8-10 January, Harbin, China, 119-123.
- [5]. Asadi, M., Walker, B. and Shirvani, H., (2008). Development of the Advanced Finite Element Model For odb Impact Barrier, *LSDYNA User Conference*, Japan.
- [6]. Caserta, G.D., Iannucci, L. and Galvanetto, U., (2011). Shock Absorption Performance of a Motorbike Helmet with Honeycomb Reinforced Liner, *Composite Structures*, 93, 2748-2759.
- [7]. Kılıcaslan, C., Guden, M., Odacı, I.K. and 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.
- [8]. Zhou, G. and 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.
- [9]. Kaboorani, A. and Riedl, B., (2012). Nano-Aluminum Oxide as a Reinforcing Material for Thermoplastic Adhesives, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 1076-1081.

- [10]. Yahayaa, M.A., Ruan, D. and Lu, G., Dargusch M.S., (2015). Response of Aluminium Honeycomb Sandwich Panels Subjected to Foam Projectile Impacte An Experimental Study, *International Journal of Impact Engineering*, 75, 100-109.
- [11]. Tan, Ö. and Zaimoğlu, A.Ş., (2004). Çimento Enjeksiyonlarında Kullanılan Katki Malzemelerinin Reolojik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 275-281.
- [12]. Asiltürk, İ. and Akkuş, H., (2011). Determining the Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in Hard Turning Using the Taguchi Method, *Measurement*, 44, 1697-1704.