

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ADHESIVE JOINTS BONDED EPOXY ADHESIVE INCLUDED Al_2O_3 NANOPARTICLE

İsmail SARAÇ, Hamit ADİN, Şemsettin TEMİZ

Batman Üniversitesi
isarak1980@yahoo.com

Batman Üniversitesi
hamit.adin@batman.edu.tr

İnönü Üniversitesi
semsettin.temiz@inonu.edu.tr

Received: 1 November 2016; Accepted: 29 December 2016

ABSTRACT: *There is a considerable interest nanoparticles added structural adhesives, recently. Because, nanoparticles improve the mechanical properties of an adhesive and its joint. In this paper, the static strengths of adhesive joints incorporating Al_2O_3 nanoparticles (% 2 proportions in epoxy adhesive) were compared to those adhesive joints without nanoparticles. Experiments were performed 20 mm, 25 mm and 30 mm overlap lengths, respectively. DP460 epoxy adhesive, Al_2O_3 nanoparticles and St-37 plates were used for the single lap adhesive joints. The results of the experimental research revealed that average tensile failure load was decreased in the 20 mm and 30 mm overlap bonded joints with nanoparticle-reinforced adhesive. However, average tensile failure load was increased (% 5 proportions) in the 25 mm overlap bonded joints with nanoparticle-reinforced adhesive. Moreover, the extension capacity in the joints was decreased in the joints with nanoparticle-reinforced adhesive.*

Key words: Adhesive joints, single lap joints, nanoparticles, tensile test

Al_2O_3 NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ EPOKSİ YAPIŞTIRICI KULLANILARAK OLUŞTURULMUŞ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

ÖZET: *Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı içerisine katılan nanopartiküllerin, bağlantıların mekanik özelliklerine etkisi ile ilgili araştırmalar son zamanlarda dikkat çekmektedir. Bu çalışmada; epoksi yapıştırıcı içerisine % 2 oranında Al_2O_3 nanopartikül katılarak ve katkısız epoksi yapıştırıcı kullanılarak tek tesirli bindirme bağlantıları oluşturulmuş ve bağlantıların mekanik özellikleri çekme yükü altında 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme boylarında deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda DP460 epoksi yapıştırıcısı, Al_2O_3 nanopartikülleri ve yapıştırılan malzeme olarak St-37 çeliği kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; % 2 Al_2O_3 nanopartikül katkılı yapıştırıcıların kullanılmasıyla 20 mm ve 30 mm bindirme boylu bağlantılarda genel olarak hasar yükü azalmıştır. Ancak 25 mm bindirme boyunda % 5 oranında bir artış görülmüştür. Ayrıca nanopartikül ilavesi bağlantıların uzama kapasitelerine azaltıcı yönde etki yapmıştır.*

Anahtar sözcükler: Yapıştırma bağlantıları, tek tesirli bağlantılar, nanopartikül, çekme testi

1. GİRİŞ

Alüminyum bağlantı elemanı; yüksek yüklenme kapasitesi, basit imal teknikleri ve tekrar üretilebilme kolaylığı ile yapıştırıcılara göre bazı avantajlara sahip olmasına karşın imalatçıların isteklerini 1970'lere gelindiğinde karşılayamaz oldu. Azaltılmış üretim ve bakım maliyeti, iyileştirilmiş yapısal etki, üniform yük dağılımı ve daha hafif yapı, yüksek performans ve kaliteli imalat kavramları önem kazandı. Bu yüzden imalatçılar, 1970'lerde tüm bu özellikleri rahatlıkla karşılayan yapıştırıcılara yöneldiler [1].

Herhangi bir sistemdeki enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yöntemler vardır. Örneğin yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi de sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Sistem elemanlarını birleştirmek için kullanılan cıvata, perçin ve kaynak yerine daha hafif bir bağlantı şekli olan yapıştırıcıların kullanımı sistemi daha hafif hale getirmiştir [2].

Yapıştırıcıların özelliklerindeki gelişmeler ile birlikte kullanım alanları giderek artmaktadır. Yapıştırma işleminde metal malzemelerde kaynak, lehim gibi birleştirme yöntemlerine nazaran, malzemelerin ısıya maruz kalması nedeniyle meydana gelen kusurlar (molekül yapısındaki değişimler, gerilme yığılmaları, mukavemet azalması, çermeler ve çarpılmalar gibi) oluşmaz ve düşük işletme maliyetleri gibi önemli avantajları vardır. Ayrıca yapıştırma bağlantılarında birleştirilen geometri için sınırlama yoktur, uygulanmaları kolaydır. Yapıştırma bağlantılarının otomotiv endüstrisinde, uzay ve uçak sanayinde, petek yapıların oluşturulmasında, farklı iki malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır. Yapıştırıcılar ayrıca elektronik sanayinde, demiryolu ve deniz araçlarının yapımında da kullanılmaktadır [3].

Otomotiv sanayi, endüstriyel yapıştırma uygulamalarının en geniş kullanım alanlarından birini oluşturur. Gövde altı koruyucu sızdırmazlık uygulaması, kapı-kaput iç-dış sac birleştirmeleri, far birleştirmeleri, cam montaj uygulamaları, fren balataları, yakıt filtreleri, bataryalar, metal/plastik/lastik birleştirmeleri, klima kontrol sistemleri, koltuk rayları, elektrik/elektronik devre montajları, elektrikli kapı mandalları, şasi montajları, konfor kaplamaları, hoparlör ızgarası, kapsüllü elektronik elemanlar, kapı panelleri, yakıt göstergeleri, dolap/torpedo kilitleri, ABS modülleri, hava yastığı modülleri, su pompaları, kalibrasyon ve ekleri, motor hız sensörleri, yakıt enjeksiyon sistemleri gibi sayısız kısımlarda kullanılmaktadır [4].

Ferreira vd. [5], kompozit malzeme kullanılarak üretilmiş yapıştırma bağlantılarının yorulma davranışlarına; tabaka oryantasyonu, bindirme bağlantı uzunluğu ve bağlantıları farklı sıcaklıklarda ve belirli periyotlarda suda bekletmenin etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda; 30 mm bindirme uzunluğunun, 60 mm bindirme uzunluğuna göre daha iyi statik ve yorulma dayanımı gösterdiği görülmüş ve yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımına suyun etkisinin, su sıcaklığı ve numunenin suda bekletilme süresine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Meguid vd. [6], karbon fiber kompozit ve alüminyum alaşımlı malzeme kullanarak imal ettikleri yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisine farklı oranlarda karbon nanotüp ve alüminyum nanopowder takviyesi yaparak, nanopartikül takviyesinin bağlantıların statik mukavemetine etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, yapıştırıcı içerisine katılan nanopartikül oranının, bağlantıların çekme ve kayma mukavemetlerinde oldukça önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir.

Quaresimin ve Ricotta [7], karbon/epoksi kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak imal ettikleri tek tesirli bindirme bağlantılarında, bindirme mesafesi ve bindirme köşe geometrisinin bağlantının yorulma mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda bağlantıların yorulma mukavemeti uzun bindirme mesafesinde ve radiuslu köşe geometrisinde daha fazla çıkmıştır. Özellikle radiuslu köşe geometrisinde düz köşe geometrisine göre % 25'ten fazla oranlarda yorulma mukavemetinde artış gözlemlenmiştir.

Zhai vd. [8], çelik malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı içerisine katılan farklı nanopartiküllerin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda özellikle Al_2O_3 nanopartikülünün bağlantının adhezyon mukavemetini önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir.

Zhai vd. [9], çelik malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı içerisine %2 oranında Al_2O_3 katmışlar ve çekme testleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda Al_2O_3 takviyeli yapıştırma bağlantılarında adhezyon mukavemeti daha yüksek çıkmıştır.

Jen ve Ko [10], epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulmuş alüminyum tek tesirli bindirme bağlantılarında, farklı bindirme uzunlukları ve farklı yapıştırıcı kalınlıklarının bağlantıların yorulma mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda sabitlenmiş ortalama kayma gerilmesi şartlarında daha büyük yapıştırıcı tabakasının yorulma mukavemetini düşürdüğünü, benzer şekilde bindirme uzunluğunun artmasıyla yorulma mukavemetinin genel olarak azaldığını tespit etmişlerdir.

Srivastava [11], kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarında, epoksi yapıştırıcı içerisine % 3 oranında çok duvarlı karbon nanotüp takviyesi yaparak çekme deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda nanopartikül takviyeli epoksi yapıştırıcı kullanılan bağlantıların statik mukavemetleri nanopartikül takviyesi yapılmayan bağlantılara göre daha yüksek bulunmuştur.

Mactabi vd. [12], alüminyum alaşımlı malzeme (2024 T3) kullanarak imal ettikleri tek tesirli bindirme bağlantılarında, epoksi yapıştırıcı içerisine belirli oranlarda katılmış karbon nanotüplerin (CNT) bağlantının statik ve yorulma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, elde edilen verilerdeki yüksek sapmalar ve dağınıklıklardan dolayı, yapıştırıcı içerisine karbon nanotüp ilavesinin bağlantının statik ve yorulma mukavemetine etkisi tam olarak belirlenememiştir.

Kang vd. [13], kompozit malzeme ve alüminyum alaşımlı malzeme kullanarak imal ettikleri tek tesirli bindirme bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisine karbon nanotüp ilavesinin bağlantının statik ve yorulma dayanımlarına etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımlarının, epoksi yapıştırıcı içerisine karbon nanotüp ilavesiyle arttığını buna karşın statik dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir.

Khashaba vd. [14], karbon fiber kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları açılı yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisine belirli oranlarda kattıkları SiC ve Al_2O_3 nanopartiküllerinin bağlantının çekme mukavemetine etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda epoksi yapıştırıcı içerisine nanopartikül takviyesinin bağlantının maksimum çekme dayanımını dikkate değer şekilde arttırdığı tespit edilmiştir.

Akpınar [15], yaptığı çalışmada; farklı özelliklerdeki yapısal yapıştırıcılar içerisine alüminyum oksit ve titanyum dioksit katarak elde etmiş olduğu tek tesirli bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini çeki yükü altında deneysel olarak incelemiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; partikül katkılı yapıştırıcıların kullanılmasıyla elde edilen bağlantılarda çeki hasar yükünün arttığı görülmüştür. Ayrıca bağlantıların kuvvet-yer değiştirme eğrileri incelendiğinde, partikül katkılı yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların yer değiştirme kapasitelerinin de arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada; epoksi yapıştırıcı içerisine % 2 oranında Al_2O_3 nanopartikül katılarak ve katkısız epoksi yapıştırıcı kullanılarak tek tesirli bindirme bağlantıları oluşturulmuş ve bağlantıların mekanik özellikleri çekme yükü altında 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme boylarında deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Deneyisel çalışmada, yapıştırıcı olarak 3M firması (St. Paul, MN, USA) tarafından üretilen çift bileşenli epoksi yapıştırıcı olan DP460 kullanılmıştır. Yapıştırılan malzeme 3 mm kalınlığında St-37 çelik plaka olup mekanik özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Yapıştırıcı içerisine eklenecek olan nanopartikül olarak ise; 50 nm çapında olan alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmıştır.

Tablo 1. St-37 Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Akma sınırı (N/mm ²)	Kopma dayanımı (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)
235	360	22-26

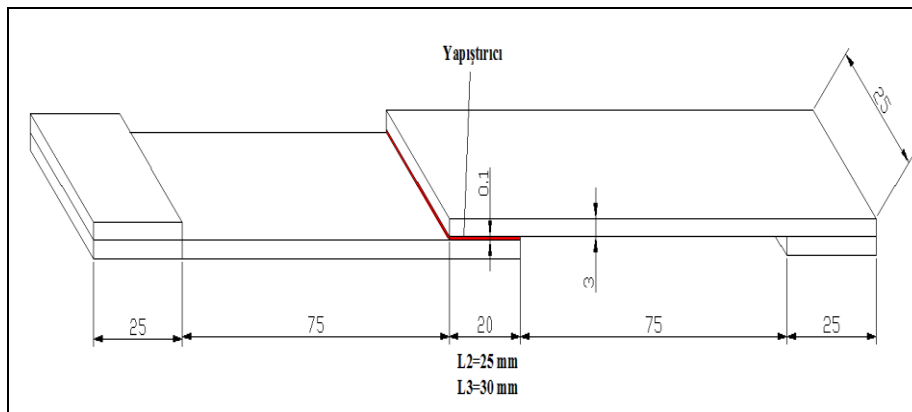
2.2. Deneyisel Çalışma

Çalışmamızda, çeki yüklerine maruz tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik davranışları deneyisel olarak incelenmiştir. Deneyisel çalışmada kullanılan parametreler ve bağlantı geometrisi Tablo 2 ve Şekil 1’de gösterilmiştir. Tek tesirli bağlantı tipleri, bindirme boyuna bağlı olarak üç ana gruba ayrılmıştır.

Tablo 2. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Parametreler

Tip	Yapıştırıcı	Bindirme boyu (mm)	Katkı türü	Katkı oranı
Tip-I-a	DP460	20	Katkısız	-
Tip-I-b	DP460	20	Al_2O_3	%2
Tip-II-a	DP460	25	Katkısız	-
Tip-II-b	DP460	25	Al_2O_3	%2
Tip-III-a	DP460	30	Katkısız	-
Tip-III-b	DP460	30	Al_2O_3	%2

Şekil 1’de verilen ölçülere uygun olarak kesilen St-37 malzemenin yapıştırma işleminden önce yüzey hazırlama metotları uygulanmıştır. Bu amaçla; ilk olarak St-37 malzeme üzerindeki yapışmayı önleyici siyah kaplama elektrikli el zımparası ile yüzey temizlenmiş ve ana malzeme tabakasına ulaşılmıştır (Şekil.2). Bundan sonra, deney numuneleri, üzerindeki yağ, kir ve toz gibi atıkların temizlenmesi için, aseton ile yıkanmış ve durulandıktan sonra temiz bir bezle kurutulmuştur ve son olarak 15 dakika sıcak havaya maruz bırakıldıktan sonra yapıştırma işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Tek Tesirli Bindirme Bağlantısı



Şekil 2. Yapıştırma Yüzeylerinin Hazırlanması

2.2.1. Katkısız Yapıştırıcıların Hazırlanması

Katkısız yapıştırıcıların hazırlanması için temizliği yapılmış boş porselen kap içerisine uygulama aparatı kullanılarak epoksi yapıştırıcı ve sertleştirici madde boşaltılmıştır. Daha sonra tahta bir çubuk yardımıyla epoksi ve sertleştirici madde karıştırılmıştır. Yapıştırıcının uygun kıvamı olması için yaklaşık 1.5 dakika kadar karıştırma işlemi yapılmış ve yapıştırıcı işleme hazır hale getirilmiştir.

2.2.2. Nanopartikül Katkılı Yapıştırıcıların Hazırlanması

Nanopartikül katkı yapıştırıcıların hazırlanmasında ilk olarak temizliği yapılmış boş bir porselen kaba yapılması planlanan yapıştırıcı karışım miktarına, ağırlıkça belirlenen oran kadar (% 2) nanopartikül eklenmiş ve karışım mekanik olarak elle homojen bir karışım oluşuncaya kadar yaklaşık 2 dakika kadar karıştırılmış ve yapıştırıcı işleme hazır hale getirilmiştir. Epoksi ve sertleştirici miktarı 2 gr, nanopartikül miktarı ise 0.04 gr olarak şekil 3'te gösterildiği gibi hassas terazi vasıtasıyla ayarlanmıştır.



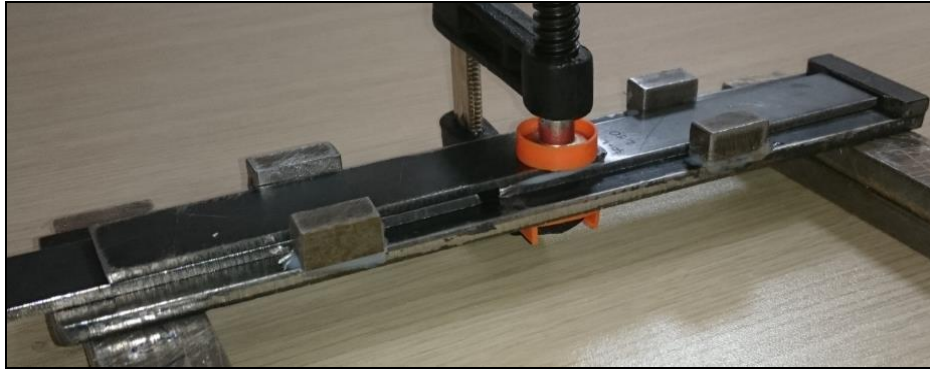
Şekil 3. Nanopartikül Katkılı Yapıştırıcı Hazırlanması

2.2.3. Bağlantı Numunelerin Hazırlanması

Yapıştırıcı kalınlığını ve bindirme uzunluğunu istenilen ölçüde ayarlamak ve Yapıştırılan malzemelerin yapıştırma süresince konumunu koruması için kalıp kullanılmıştır. Kullanılan kalıp Şekil 4’te gösterilmiştir. Yapıştırma işleminden önce kalıp temizlenmiş ve yapışmayı önleyici spreysel kalıp üzerine sıkılmıştır. Yapıştırıcı madde iki plakaya ince bir tabaka halinde ince bir bıçak vasıtasıyla uygulanmış ve malzemeler birleştirilmiştir. Yapıştırıcı maddenin yapışma bölgesinde düzgün dağılımını sağlamak ve belirli bir yapışma basıncı uygulamak amacıyla yapıştırma bölgesi Şekil 5’ te gösterilen bir aparat vasıtasıyla sıkıştırılmıştır. Yapıştırılan malzemeler oda sıcaklığında 7 gün bekletilerek kürleşmesi sağlanmış ve testlere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4. Bağlantı Kalıbı



Şekil 5. Bağlantı Bölgesine Basınç Uygulanması

Her bir bağlantı tipinden üçer adet numune olmak üzere toplamda 18 adet tek tesirli bağlantı numunesi üretilmiştir. Yapıştırma bağlantılarının çekme deneyleri 25 kN’luk bilgisayar kontrollü Shimadzu AG-I (Kyoto, Japonya) üniversal çekme cihazında, oda sıcaklığında %50 nemli ortamda ve 1 mm/dk’lık çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katkısız ve nanopartikül katkılı tek tesirli bindirme bağlantılarının çekme deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 3’te gösterilmiştir. Tablo 3’te görüldüğü gibi nanopartikül katkılı ve nanopartikül katkısı olmayan bütün numunelerde bindirme uzunluğunun artması ile ortalama yükü artmıştır ancak bindirme uzunluğunun artmasıyla bütün numunelerde hasar gerilmesinin azaldığı görülmektedir. 20 mm bindirme boyunda partikül katkısız numunelerde ortalama hasar gerilmesi 18.3 MPa iken bu değer 25 mm bindirme boyunda 16.1 MPa, 30 mm bindirme boyunda ise 14.7 MPa’ a kadar düşmektedir. Benzer durum % 2 partikül katkılı numunelerde de gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Değişik Parametrelere Göre Hasar Değerleri

Tip	Yapıştırıcı	Bindirme boyu (mm)	Katkı türü	Katkı oranı	Ortalama hasar yükü (N)	Ortalama kayma hasar gerilmesi (MPa)
Tip-I-a	DP460	20	Katkısız	-	9150	18.3
Tip-I-b	DP460	20	Al ₂ O ₃	%2	9108	18.2
Tip-II-a	DP460	25	Katkısız	-	10101	16.1
Tip-II-b	DP460	25	Al ₂ O ₃	%2	10653	17
Tip-III-a	DP460	30	Katkısız	-	11077	14.7
Tip-III-b	DP460	30	Al ₂ O ₃	%2	10145	13.5

Tablo 4’te kompozit malzeme kullanılarak imal edilen tek tesirli bindirme bağlantılarının statik test sonuçları gösterilmiştir [5]; bindirme uzunluğunun artmasıyla kayma hasar gerilmelerinin düştüğünü göstermişlerdir.

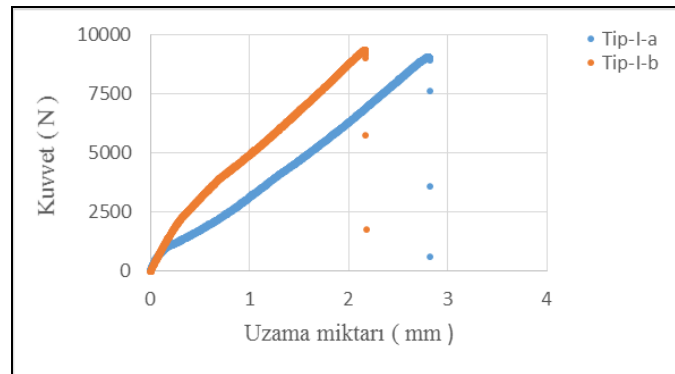
Tablo 4. Ortalama Kayma Hasar Gerilmeleri [5]

Kompozit tabaka	Bindirme uzunluğu (mm)	Kayma hasar gerilmesi(MPa)
0/0	30	12.3
0/0	60	10.6
+45/-45/0	30	13.4
+45/-45/0	60	7.5

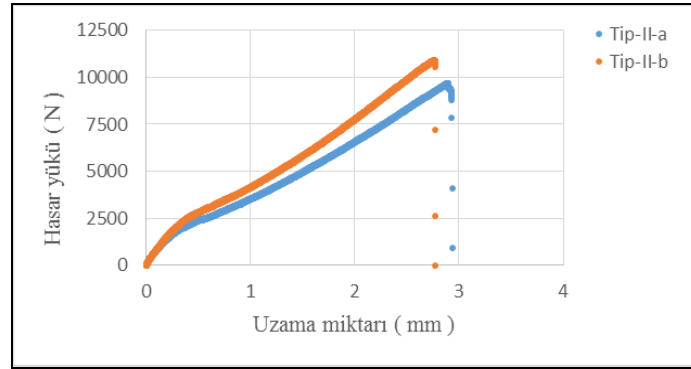
Yapıştırma bağlantılarında bindirme uzunluğunun statik mukavemete etkisi soyulma gerilme değerlerindeki değişiklikler ile ilgilidir [5].

Tablo 3’te verilen değerler nanopartikül katkılı ve katkısız olma durumuna göre incelendiğinde; 20 mm bindirme boyunda yapılan deneyler sonucunda, % 2 Al₂O₃ katkılı numunelerin ortalama hasar yükü % 0.5 oranında azalmıştır. 25 mm bindirme boyunda yapılan deneylerde % 2 Al₂O₃ katkılı numunelerin ortalama hasar yükü % 5 oranında artmıştır. 30 mm bindirme boyunda yapılan deneylerde ise % 2 Al₂O₃ katkılı numunelerin ortalama hasar yükü % 8 oranında azalmıştır.

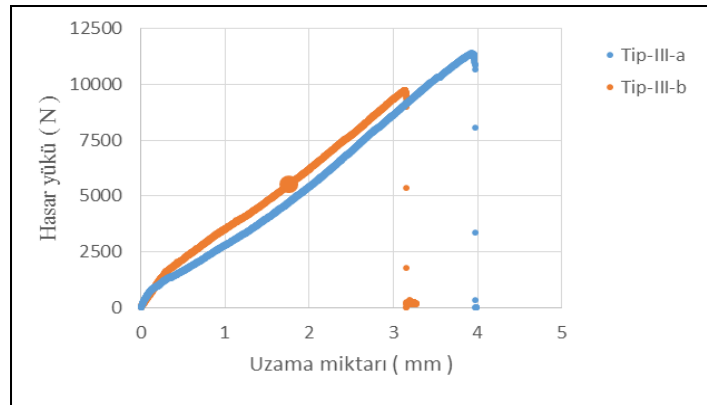
Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de verilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri incelendiğinde, yapıştırıcıya % 2 Al₂O₃ ilave edilmesi her üç bindirme mesafesinde de bağlantının yer değiştirme kapasitesini düşürmüştür. Aşağıda Tablo 5’te üç bindirme mesafesi için katkılı ve katkısız durumlar için ortalama uzama miktarları verilmiştir.



Şekil 6. 20 mm Bindirme Boyunda, Nanopartikül Katkılı ve Katkısız Numunelerin Kuvvet-Uzama Eğrileri



Şekil 7. 25 mm Bindirme Boyunda, Nanopartikül Katkılı ve Katkısız Numunelerin Kuvvet-Uzama Eğrileri



Şekil 8. 30 mm Bindirme Boyunda, Nanopartikül Katkılı ve Katkısız Numunelerin Kuvvet-Uzama Eğrileri

Tek tesirli bindirme bağlantılarında hasar; bindirme bölgesinin her iki uçundan başlayarak merkeze doğru ilerlemektedir. Bunun sebebi tek tesirli bindirme bağlantılarının geometrisindeki eksantriklik bindirme bölgesinin uçlarında soyulma gerilmelerini oluşturmaktadır [15].

Tablo 5 incelendiğinde, 30 mm bindirme boyunda nanopartikül ilavesinin bağlantının uzama kapasitesini % 26 oranında, 20 mm bindirme boyunda nanopartikül ilavesinin bağlantının uzama kapasitesini % 12 oranında düşürdüğü görülmektedir. Yer değiştirme kapasitesindeki düşüş, bağlantının uçlarında meydana gelen gerilmeler şekil değiştirme enerjisi tarafından absorbe edilemeyerek hasarın nanopartikül katkısız duruma göre daha erken başlamasına sebep olmuştur. Şekil 6 ve Şekil 8'de verilen kuvvet-yer değiştirme grafiklerinde de bu durum görülmektedir. 25 mm bindirme boyunda nanopartikül ilavesi bağlantının uzama kapasitesini % 4 oranında düşürmüştür, hâlbuki bağlantının hasar yükü % 5 oranında artmıştır. Görüleceği gibi 25 mm bindirme boyunda nanopartikül ilavesiyle bağlantının uzama kapasitesinin, 20 ve 30 mm bindirme boylarına göre daha az oranlarda düşüş göstermesi bağlantının hasar mukavemetinin artması olarak kendini göstermiştir (Şekil 6).

Tablo 5. Bağlantıların Ortalama Uzama Miktarları

Tip	Bindirme boyu (mm)	Katkı türü	Ortalama uzama miktarı (mm)
Tip-I-a	20	Katkısız	2.5
Tip-I-b	20	Al ₂ O ₃	2.21
Tip-II-a	25	Katkısız	3.12
Tip-II-b	25	Al ₂ O ₃	2.99
Tip-III-a	30	Katkısız	3.87
Tip-III-b	30	Al ₂ O ₃	2.86

4. SONUÇLAR

Yapılan bu deneysel çalışmada; epoksi yapıştırıcı içerisinde % 2 oranında Al_2O_3 nanopartikül katkı ve katkısız epoksi yapıştırıcı kullanılarak tek tesirli bindirme bağlantıları üretilmiş, 20, 25 ve 30 mm farklı bindirme boyları için çekme deneyleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Bindirme mesafesinin artması yapıştırma alanını arttırdığından dolayı bağlantıların hasar yükünün artmasına sebep olmuştur. Ayrıca bindirme mesafesinin artışı aynı zamanda bağlantıların kayma hasar gerilmesini azaltmıştır.
- Yapıştırıcıya % 2 oranında Al_2O_3 nanopartikül ilave edilmesiyle 20 mm ve 30 mm bindirme boylarında bağlantıların hasar yükünü azaltmıştır. Ancak 25 mm bindirme boyunda ise % 5 oranında artmıştır.
- % 2 Al_2O_3 nanopartikül ilave edilmiş bağlantıların uzama kapasitesi azaltmıştır.

Konuyla ilgili farklı nanopartiküller ve bu farklı nanopartiküllerin oranlarıyla ilgili daha fazla araştırma yapılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için maddi destek veren Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğüne teşekkürü bir borç biliriz (Proje No: **BTÜBAP-2016-Doktor-2**)

KAYNAKLAR

- [1] Kodakoğlu, L., Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapıştırma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1996
- [2] Temiz, Ş., Yapışma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2009
- [3] Şahin, A., Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Mukavemetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2011
- [4] Adin, H., *vd.*, Onarımda Kullanılan Darbe Dayanımlı İki Bileşenli Yapıştırıcılar, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Türkiye, 2011
- [5] Ferreira, J.A.M., *et al.*, Fatigue Behaviors of Composite Adhesive Lap Joints, *Composites Science and Technology*, 62(2002), pp. 1373-1379
- [6] Meguid, S.A., Sun, Y., On The Tensile and Shear Strength of Nano-Reinforced Composite Interfaces, *Materials and Design*, 25(2004), pp. 289-296
- [7] Quaresimin, M., Ricotta, M., Fatigue Behaviour and Damage Evolution of Single Lap Bonded Joints in Composite Material, *Composites Science and Technology*, 66(2006), pp. 176-187
- [8] Zhai, L., *et al.*, The Effect of Nanoparticles on The Adhesion of Epoxy Adhesive, *Materials Letters*, 60(2006), pp. 3031-3033
- [9] Zhai, L., *et al.*, Effect of Nano- Al_2O_3 on Adhesion Strength of Epoxy Adhesive and Steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28(2007), pp. 23-28
- [10] Jen, Y.M., Ko, C.W., Evaluation of Fatigue Life of Adhesively Bonded Aluminum Single-Lap Joints Using Interfacial Parameters, *International Journal of Fatigue*, 32(2010), pp. 330-340
- [11] Srivastava, V.K., Effect of Carbon Nanotubes on The Strength of Adhesive Lap Joints of C/C and C/C-SiC Ceramic Fibre Composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(2011), pp. 486-489
- [12] Mactabi, R., *et al.*, Monitoring The Integrity of Adhesive Joints During Fatigue Loading Using Carbon Nanotubes, *Composites Science and Technology*, 78(2013), pp. 1-9
- [13] Kang, M.H., *et al.*, Fatigue Life Evaluation and Crack Detection of the Adhesive Joint with Carbon Nanotubes, *Composite Structures*, 108(2014), pp. 417-422
- [14] Khashaba, U.A., *et al.*, Development of CFRE Composite Scarf Adhesive Joints With SiC and Al_2O_3 Nanoparticle, *Composite Structures*, 128(2015), pp. 415-427
- [15] Akpınar, S., Alüminyum Oksit ve Titanyum Dioksit Takviyeli Yapıştırıcılarla Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2016), 2, pp. 244-252