



# Kör delik delmenin alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kayma dayanımına etkisi

## Effect of blind hole drilling on shear strength of single lap adhesive joints with Aluminum 5754

Ali İŞIKTAŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi, Edremit MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, [ali.isiktas@balikesir.edu.tr](mailto:ali.isiktas@balikesir.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1532-4465>

### MAKALE BİLGİLERİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 26 Aralık 2023  
Revizyon 9 Ocak 2024  
Kabul 15 Ocak 2024  
Online 29 Mart 2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yapıştırma dayanımı, bağlantı tasarımı, delik delme, yapıştırıcı türü

### ÖZ

Bu çalışmada, Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kayma test sonuçlarına yer verilmiştir. Kör delik delme işleminin yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla alüminyumların yüzeylerine delikler delinerek farklı tipte bağlantı konfigürasyonları oluşturulmuştur. Bağlantıdaki alüminyum parçalardan biri delikli olduğunda, Araldite® 2015 kullanılan bağlantıların hasar yükünde, her ikisi de deliksiz alüminyumlara göre %39 artış görülmüştür. Araldite® AV138 kullanılan bağlantılardaki hasar yükünde ise artış %54 olmuştur. Bağlantıdaki alüminyumlardan ikisi de delikli olduğunda, Araldite® 2015 kullanılan bağlantılardaki hasar yükünde, her ikisi de deliksiz alüminyumlara göre %98 artış görülmüştür. Araldite® AV138 kullanılan bağlantılardaki hasar yükünde ise artış %165 olmuştur. Ayrıca, Araldite® 2015 kullanılan numunelerin kayma testlerindeki uzama miktarları Araldite® AV 138 kullanılan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 26 December 2023  
Received in revised form 9 January 2024  
Accepted 15 January 2024  
Available online 29 March 2024

#### Keywords:

Adhesive strength, joint design, hole drilling, adhesive type

### ABSTRACT

In this study, shear tests results of single lap adhesive joints with Aluminum 5754 are included. To investigate the effect of blind hole drilling on adhesive bonded joints, different types of connection configurations were created by drilling holes in the surfaces of the aluminum. When holes are drilled into one of the aluminum parts in the joint, there was a 39% increase in the failure load of the joints using Araldite® 2015 compared to both without holes aluminum. The increase in the failure load on joints using Araldite® AV138 was 54%. When holes are drilled into both aluminum parts in the joint, there was a 98% increase in the failure load of the joints using Araldite® 2015 compared to both without holes aluminum. The increase in the failure load on joints using Araldite® AV138 was 165%. In addition, the elongation amounts in the shear tests of the samples using Araldite® 2015 were higher than the samples using Araldite® AV 138.

Doi: 10.24012/dumf.1410251

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Yapıştırma yöntemiyle birleştirme otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi yüksek teknolojlili endüstri alanlarında yaygın kullanılmaktadır [1-4]. Yapıştırıcı temelli birleştirme; iki veya daha fazla malzemenin sentetik esaslı bir yapıştırıcı kullanılarak bağlantının çözülemeyecek biçimde birleştirilmesi tekniğidir. Birleştirmede kullanılan malzemeler; metal, polimer, seramik, kompozit ya da bu malzemelerin kombinasyonları olabilir [5, 6]. Yapıştırma yöntemi ile yapılan bağlantıların geleneksel mekanik bağlantı yöntemlerine göre yüksek dayanım, düşük maliyet, montaj kolaylığı ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır [7, 8]. Bununla birlikte yapıştırıcı temelli bağlantılar, geleneksel yöntemlerden olan perçin, kaynak ve benzerleri gibi ergime neticesinde kristal yapıda değişikliklere neden olmadığı, gerilme yığılması oluşturmadığı için tercih sebebi olmaktadır. Yapıştırma yönteminin dezavantajları arasında birleştirme öncesi numunelerin yüzey hazırlığının gerekmesi, çevresel koşullara karşı hassasiyet ve kürlenme koşullarına bağlı olarak değişen özellikler sayılabilir.

Yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan bağlantılar çalışma esnasında çekme, kesme, soyulma ve darbe gibi farklı türden yüklere maruz kalmaktadır. Yapıştırma yöntemiyle hazırlanan bağlantılarda hasar oluşması veya zayıflaması genellikle bu yüklerin bir veya birkaç türünden kaynaklanmaktadır [9]. Yapıştırılarak oluşturulan bağlantıların kalitesini ve bağlantı mukavemetini tespit etmek için birçok farklı test kullanılmaktadır [10, 11]. Bu testler, yapıştırma bağlantısının maruz kaldığı hasar yük türüne bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli gerilmeleri ve hasar modlarını incelemektedir. Gerçekleştirilen testler, bağlantıdaki yapıştırıcı hasarının nasıl başladığını ve zamanla nasıl ilerlediğini belirlemede önemli rol oynamaktadır [12, 13]. Ayrıca, farklı yükler altında bağlantı bölgesinde oluşan gerilim dağılımının tespit edilmesi, optimum bağlantı tasarımını gerçekleştirmede ve yapıştırıcının çalışma yüklerine karşı etkin direncini tahmin etmede önemlidir [14].

Genty vd. [15] yüksek mukavemetli yapıştırıcıların bağlantı performansını tespit etmede hangi test yönteminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirlemek için bir çalışma yaptılar. Bu çalışmada, bir epoksi yapıştırıcı ile alüminyum 2024-T3 kullanarak hazırladıkları bağlantıda kırılmanın başlangıcını belirlemek için hazırlanan numunelere kayma ve üç nokta eğme testleri uygulamışlardır. Kayma ve üç nokta eğme testlerinde hasar başlangıcının yapışma kırılması şeklinde olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde yapıştırma tekniği ile yapılan birleştirmelerde farklı bağlantı türleri bulunmaktadır. Ancak, tek bindirmeli yapıştırmanın diğer bağlantı türlerine göre imalatının kolay olması nedeniyle uygulamada en çok tercih edilen bağlantıdır. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, birleştirilen malzemenin yüzey formu, bindirme alanı, bağlantı türü ve yapıştırılan bölgenin geometrisi yapışma dayanımını etkileyen parametreler arasında bulunmaktadır [16-18]. Da Silva vd. [19] yapışma yöntemiyle yaptıkları bağlantılarda yapıştırıcı kalınlığının ve malzeme yüzey hazırlığının önemini vurgularken kullandığı sünek, orta ve gevrek yapıştırıcılar ile yaptıkları testlerin neticelerini matematiksel yaklaşım ile modellemiştir. Bakka vd. [20] çeşitli yöntemler kullanarak hazırladıkları farklı yüzey

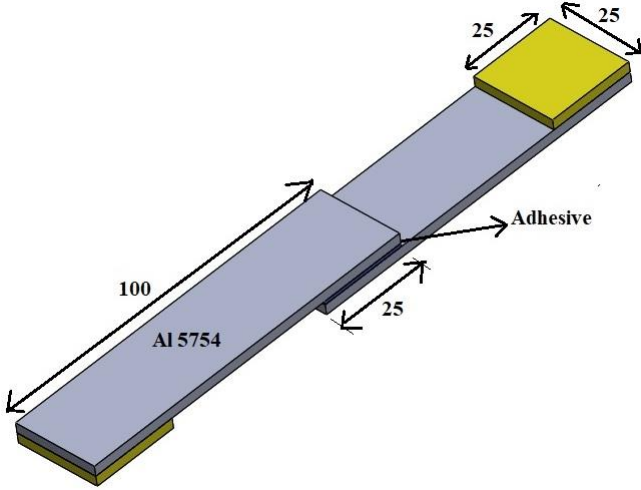
pürüzlülüğündeki titanyum, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemelerin, PA 66 kompozit malzemesi ile bir araya getirerek oluşturdukları hibrit yapılı tek bindirmeli yapışma bağlantılarının kayma dayanımları araştırmışlar ve elde ettikleri en yüksek değerdeki kayma dayanımlarını raporlamışlardır. Alfano vd. [21] çalışmalarında paslanmaz çelik ve alüminyumun sadece yüzey temizliğinin yapılması ve farklı parametrelerde lazer işleme ile yüzeylerin modifiye edilmesini incelemiştir. Yapılan testlerin neticesinde, alüminyum yüzeylerine uygulanan lazer işleme ile yapışmanın kısmen iyileştirilebildiği, paslanmaz çelik yüzeylerde ise önemli oranda gelişme sağlandığı görülmüştür. Maressa vd. [22] Ti6Al4 malzemesi üzerinde yaptıkları yüzey deseni çalışmasında, farklı yüzey deformasyon türlerinin yapıştırma bağlantı mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, yarım küre şeklinde çukurlar açılmış, kumlanmış, ızgara formunda işlenmiş ve karma desenli yüzeylerin yapışma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Ölçülen pürüzlülük değerlerinde, pürüzlülük sıralamasının azdan çoğa işlenmemiş, kumlanmış, çukurcuklu, ızgara formundaki yüzey ve karmaşık yüzey şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Yapışma mukavemetinin ortalama pürüzlülük değeri ile doğru orantılı olmadığını, ayrıca tüm lazerle işlenen yüzeylerin diğer düz ve kumlanmış yüzeylere göre en az 8 kat daha iyi bağlantı dayanımı oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Endüstriyel uygulamalarda, metal malzemelerin yüzeylerine delik delme işlemi farklı biçimlerde uygulanmaktadır. Dolu delik delme ve kör delik delme en çok tercih edilenler arasındadır. Metal malzemelere delik açılması, delik etrafında gerilme yığılmasına yol açarak çentik etkisi oluşturmaktadır. Bu durumu en aza indirmek amacıyla çalışmada alüminyum yüzeylere kör delikler açılarak yapışma alanının artırılması amaçlanmıştır. Yapıştırma yöntemi ile yapılan birleştirmelerde, farklı bağlantı modellerinin kullanılmasıyla yapışma dayanımı değişmektedir. Bu bağlamda Pinto vd. [23] alüminyum alaşımı ile oluşturdukları tek bindirmeli bağlantılarında, farklı modifikasyonlarda boydan boya delik delinmesinin bağlantı mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Bindirme bölgesindeki deliklerin simetrik yer değiştirilmesinin bağlantı mukavemetine belirgin bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Zielecki vd. [24] tek bindirmeli bağlantılarında kullandıkları S235JR çeliklerin uç kısımlarına açtıkları çentik ve deliklerin yapıştırma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Testlerde, parçaların ön kısmındaki yapıştırıcıyla doldurulan çentiklerin bağlantı mukavemetini önemli ölçüde iyileştirirken, delik çap ve yerlerindeki değişikliklerin bağlantı dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

İleri sürdüğümüz çalışmada, Al 5754 malzemesi ile oluşturulan tek bindirmeli yapışma bağlantılarının kayma dayanımları raporlanmıştır. Alüminyum 5754 kullanılarak hazırlanan tek bindirmeli bağlantılarda, alüminyum yüzeylerine kör delik delmenin yapıştırma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, farklı konfigürasyonlarda oluşturulan bağlantıların dayanımı test edilmiş ve elde edilen deney sonuçları karşılaştırılarak, tek bindirmeli bağlantılarda farklı türde bağlantıların etkisi incelenmiştir.

## Materyal ve metot

Bu çalışmada, alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli bağlantıların birleştirilmesinde Araldite® 2015 ve AV138/HV998 epoksi yapıştırıcılar kullanılmıştır. Alüminyum 5754, yüksek mukavemet ve korozyon direncinin yanı sıra mükemmel darbe ve aşınma direncine sahip temperlenmiş bir alüminyum alaşımıdır. Al 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantısındaki numune ölçüleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tek bindirmeli bağlantı geometrisi

Numunelerin hazırlaması sürecinde ilk olarak, 3 mm kalınlığındaki alüminyum 5754 levhalar giyotin tezgâh kullanılarak 25x100 mm ölçülerine kesilmiştir. Deneylerde kullanılan alüminyum numunelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de, kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilmiştir. Tek bindirme bağlantılarının oluşturulmasında kullanılan Araldite® 2015 ve AV138/HV998 epoksi yapıştırıcıların mekanik özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum 5754-H111 mekanik özellikleri

Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Birim uzama (%)
212.9	135.2	15

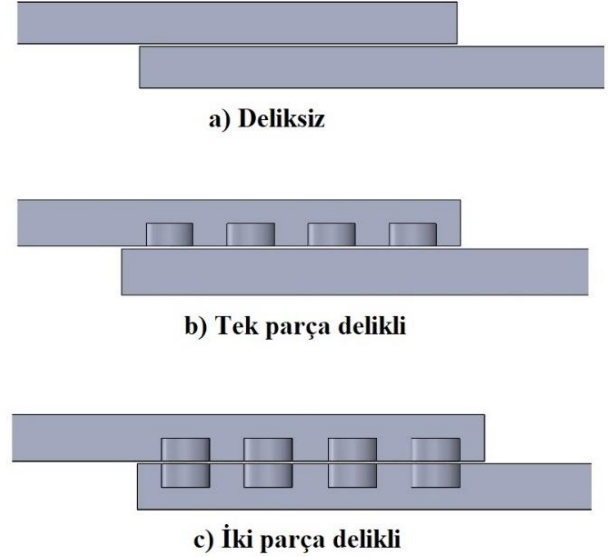
Tablo 2. Alüminyum 5754-H111 kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
0.201	0.235	0.036	0.200	2.807	0.027	0.021	0.025

Tablo 3. Yapıştırıcıların (Araldite® AV138 ve 2015) mekanik özellikleri [25]

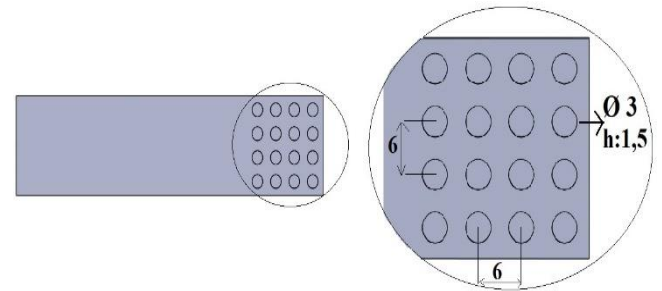
Özellik	AV138	Araldite® 2015
Elastiklik modülü E (GPa)	4.89 ± 0.81	1.85±0.21
Poisson oranı $\nu$	0.35	0.33
Çekme dayanımı $\sigma_f$ (MPa)	39.45 ± 3.18	21.63 ± 1.61
Kayma modülü G (GPa)	1.81	0.70

Kör delik delme işleminin yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla alüminyum parçaların bindirme yüzeylerine sabit çapta delik delme işlemi uygulanmıştır. Şekil 2’de gösterildiği gibi üç farklı tipte bağlantı konfigürasyonu oluşturulmuştur.



Şekil 2. Farklı konfigürasyonlara sahip bağlantıların şematik görünümü

Cnc freze tezgâhı kullanılarak alüminyum plakaların tek bir yüzeyine 3 mm çapında 16 adet kör delik delinmiştir (Şekil 3). Delme işlemlerinde, ilk önce 2.8 mm matkap daha sonra 3 mm çapında rayba kullanılmıştır. Deliklerin derinliği 1.5 mm yani yapıştırılan alüminyum malzeme kalınlığının yarısı kadardır. Bağlantılarda iyi bir yapışma elde etmek için parçalar delme işleminden sonra temizlenmiştir.



Şekil 3. Alüminyum yüzeyindeki delik ölçüleri

Alüminyum numune yüzeyleri yapıştırma işlemi öncesi P120 numaralı silikon karbid zımpara kâğıdı ile pürüzlendirilmiştir. Zımparalama işlemlerinde, alüminyum yüzeylerinde biriken metal partikülleri temizlemek için yüzey temizleyici solvent kullanılmıştır. Zımparalama işlemi sonrası numunelerin pürüzlülük ölçümü yapılmış ve Ra:1,3 ± 0.1  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir.

Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, birleştirilen alüminyum plakalar arasındaki yapıştırıcı kalınlığının tüm numunelerde eşit olması deney sonuçlarının doğru analiz edilmesinde önem arz etmektedir. Bu amaçla, alüminyum plaka yüzeylerine eşit kalınlıkta yapıştırıcı uygulanabilmesi için kalıp kullanılmıştır. Tek bindirmeli bağlantılarda, alüminyum plakalar Araldite® 2015 ve AV138 epoksi yapıştırıcıları kullanılarak birleştirilmiştir. Her iki yapıştırıcı da oda sıcaklığında kürleşebilen iki bileşenli bir yapısal yapıştırıcıdır. İki bileşenli yapıştırıcılardan Araldite® 2015 ağırlıkça 1/1 oranında, AV138 ise 4/10 (sertleştirici/yapıştırıcı) oranında homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan yapıştırıcı karışımları alüminyum yüzeylerine bir tabaka şeklinde uygulanmıştır. Yapıştırma işlemi sonrası plakalar kalıba yerleştirilmiş ve sabit basınç altında oda sıcaklığında 24 saat kürleşmeye bırakılmıştır. Kullanılan yapıştırma kalıbı sayesinde, tüm tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında alüminyumlar arası 0.2 mm kalınlığında yapıştırıcı elde edilmiştir. Son adım olarak, numunelerin çekme cihazındaki çenelere aynı ekseninde bağlanabilmesi için tablolar 25x25 mm ölçülerinde kesilip numunelere yapıştırılmıştır. Birleştirme işlemi sonrası hazırlanan numuneler Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Yapıştırma işlemi sonrası numuneler

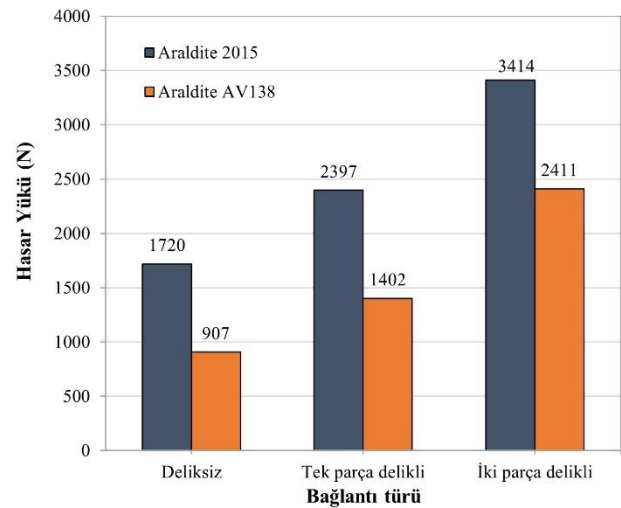
Hazırlanan tek bindirmeli yapıştırma bağlantı numunelerine Şekil 5'te gösterildiği gibi eksenel yönde kayma testleri uygulanmıştır. Tek bindirme bağlantılarının kayma testleri ASTM D5868-01 standartları uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kayma testleri oda sıcaklığında 1 mm/dk yükleme hızında Zwick Roell Z020 test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin görüntüsü Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Tek bindirmeli bağlantıların kayma testi

## Bulgular ve Tartışma

Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında kör delik delmenin yapıştırma dayanımına etkisini araştırmak amacıyla eksenel yönde kayma testleri yapılmıştır. Tek bindirmeli bağlantıların oluşturulmasında Araldite® 2015 ve AV138 epoksi yapıştırıcıları kullanılmış ve hasar yükleri grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır. Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli bağlantılarda, yüzeye kör delik uygulanmasının yapışma dayanımına etkisi Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6. Tek bindirmeli bağlantılarda kör delik uygulamasının yapışma dayanımına etkisi

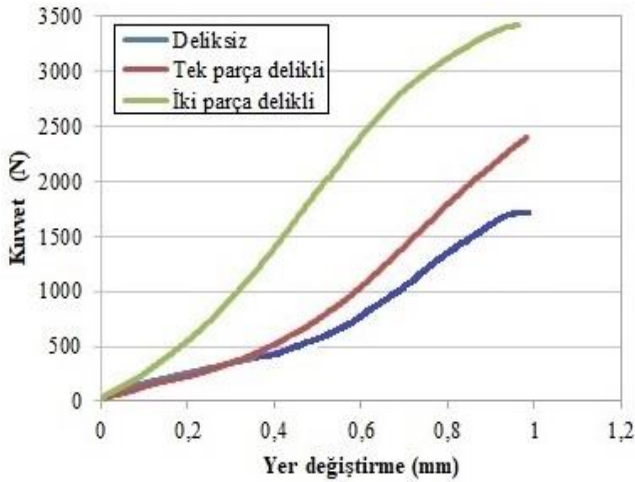
Bağlantıdaki alüminyumlar deliksiz olduğunda, Araldite® 2015 ve AV138 yapıştırıcı kullanıldığında hasar yükleri sırası ile 1720 N ve 907 N çıkmaktadır. Bağlantıdaki alüminyumlardan biri delikli olduğunda, 3 mm çapındaki kör



delikler yapıştırma alanının artmasını sağlamaktadır. Alüminyum yüzey alanındaki bu artış, Araldite® 2015 kullanılan bağlantılardaki hasar yükünü 1720 N'dan 2397 N'a çıkararak %39 daha yüksek dayanım elde edilmesini sağlamıştır. Araldite® AV138 kullanılan bağlantılardaki hasar yükü ise 907 N'dan 1402 N'a çıkararak %54 artış olmuştur (Şekil 6).

Bağlantıdaki alüminyumlardan ikisi de delikli olduğunda, 3 mm çapındaki kör delikler yapıştırma alanının daha fazla artmasını sağlamaktadır. Alüminyum yüzey alanındaki bu artış, Araldite® 2015 kullanılan bağlantılardaki hasar yükünü 1720 N'dan 3414 N'a çıkararak %98 daha yüksek dayanım elde edilmesini sağlamıştır. Araldite® AV138 kullanılan bağlantılardaki hasar yükü ise 907 N'dan 2411 N'a çıkararak %165 artış olmuştur (Şekil 6). Bu durum, tek bindirmeli bağlantılarda bindirme bölgesindeki yapıştırıcının temas ettiği alanın artmasıyla yapışma mukavemetinin artması olarak açıklanabilir. Deliksiz, tek parça delikli ve iki parça delikli olarak hazırlanan bağlantıların kayma testlerinde, Araldite® 2015 sağladığı bağlantı mukavemeti ile Araldite® AV 138'e göre daha yüksek kayma dayanımına sahiptir.

Araldite® 2015 yapıştırıcıyla hazırlanan tek bindirmeli yapıştırma bağlantıların kayma test sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği Şekil 7'de verilmektedir.

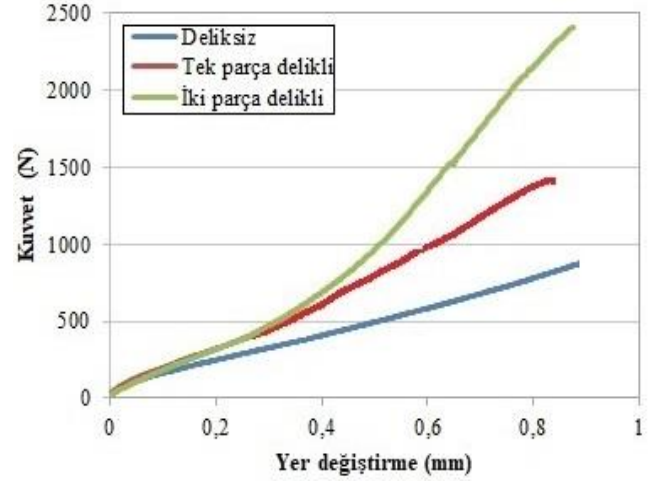


Şekil 7. Araldite® 2015 yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantıların kuvvet-yer değiştirme grafiği

Şekil 7'de Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli bağlantılarda Araldite® 2015 yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantıların kuvvet yer değiştirme eğrileri incelendiğinde, bağlantı türleri sırasıyla deliksiz, tek parça delikli ve iki parça delikli olarak değişmesiyle, yapıştırma bağlantılarının kuvvet değeri artmaktadır. Literatürdeki yapıştırma yöntemiyle yapılan birleştirmelerde, yapıştırma alanının artırılması ile bağlantı dayanımında gelişme olduğu belirtilmektedir [22, 23]. Grafikte, kuvvet-yer değiştirme eğrisinin alt kısmında kalan alan, yapıştırma bağlantısının emilen enerjisini temsil etmektedir. Buna göre, her iki parçanın delikli olduğu bağlantılarda emilen enerji, diğer deliksiz ve tek delikli bağlantılarda emilen enerjiden daha yüksek olduğu söylenebilir. Araldite® 2015 sünek bir yapıştırıcı olduğu için

kuvvet-yer değiştirme grafiğinde uzama değeri, Araldite® AV 138'e göre daha yüksektir.

Araldite® AV138 yapıştırıcıyla hazırlanan tek bindirmeli yapıştırma bağlantıların kayma test sonuçlarından elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Araldite® AV138 yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantıların kuvvet-yer değiştirme grafiği

Şekil 8'de Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli bağlantılarda Araldite® AV138 yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantıların kuvvet yer değiştirme eğrileri incelendiğinde, bağlantı türleri sırasıyla deliksiz, tek parça delikli ve iki parça delikli olarak değişmesiyle, yapıştırma bağlantılarının yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Araldite® AV 138 kırılğan bir yapıştırıcı olduğu için kuvvet-yer değiştirme grafiğinde uzama miktarı, Araldite® 2015'e göre daha düşüktür.

## Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, farklı yapıştırıcı kullanılması ve kör delik uygulamasının yapışma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre:

- Alüminyum 5754 ile oluşturulan tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı türünün değişmesi ve yüzeylere kör delik uygulamasının yapılması yapışma dayanımına önemli oranda etki etmektedir.
- Araldite® 2015 kullanılan bağlantıdaki alüminyumlar deliksiz olduğunda, hasar yükü 1720 N çıkmaktadır. Bağlantıdaki alüminyumlardan biri delikli olduğunda, hasar yükü 2397 N'a çıkararak %39 daha yüksek dayanım elde edilmiştir. Alüminyumların ikisi de delikli olduğunda ise hasar yükü 3414 N'a çıkararak %98 artış meydana gelmiştir.
- Araldite® AV 138 kullanılan bağlantıdaki alüminyumlar deliksiz olduğunda, hasar yükü 907 N çıkmaktadır. Bağlantıdaki alüminyumlardan biri delikli olduğunda, hasar yükü 1402 N'a çıkararak %54 daha yüksek dayanım elde edilmiştir. Alüminyumların ikisi

de delikli olduğunda ise hasar yükü 2411 N'a çıkararak %165 artış meydana gelmiştir.

- Deliksiz, tek parça delikli ve iki parça delikli olarak hazırlanan bağlantıların kayma testlerinde, Araldite® 2015 kullanılan numunelerin kayma dayanımı Araldite® AV 138'e göre daha yüksek çıkmıştır.
- Araldite® 2015 kullanılan numunelerin kayma testlerindeki uzama miktarları Araldite® AV 138 kullanılan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.
- Tek bindirmeli bağlantılarda, delikler yapıştırıcı ile doldurulmuş olup bu durum hafif gerilimli bu bölgede yapıştırıcının ankraj etkisini arttırmaktadır.
- Farklı yapıştırıcı ve bağlantı türlerindeki kayma testlerinde, tüm numuneler bağlantının yapıldığı yapışma bölgesinden hasar alarak kopmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: 2023/90.

## Kaynaklar

- [1] M. Soleymani, M. Tahani, and P. Zamani, "On the influence of resin pocket area on the failure of tapered sandwich composites," *Advances in Structural Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 42-51, 2021.
- [2] R. M. Nejad, D. G. Moghadam, M. Hadi, P. Zamani, and F. Berto, "An investigation on static and fatigue life evaluation of grooved adhesively bonded T-joints," *Structures*, vol. 35, pp. 340-349, 2022.
- [3] D. Rosendo, G. Viana, R. Carbas, E. Marques, and L. Da Silva, "Effect of temperature and moisture on the impact behaviour of adhesive joints for the automotive industry," *Journal of Applied and Computational Mechanics*, vol. 7, no. 3, pp. 1488-1500, 2021.
- [4] J. Kupski and S. T. De Freitas, "Design of adhesively bonded lap joints with laminated CFRP adherends: review, challenges and new opportunities for aerospace structures," *Composite Structures*, vol. 268, p. 113923, 2021.
- [5] D. Shore, J. Wilson, A. Matthews, A. Yerokhin, "Adhesive bond strength of PEO coated AA6060-T6," *Surface and Coatings Technology*, vol. 428, p. 127898, 2021.
- [6] B. Nečasová, P. Liška, and J. Šlanhof, "Analysis of temperature effect on deformation behaviour and bond strength of adhesive joints with steel and composite substrates," In *Industrial Applications of Adhesives: 1st International Conference on Industrial Applications of Adhesives*, 2021, pp. 107-125.
- [7] M. D. Banea, L. Da Silva, and R. D. Campilho, "The effect of adhesive thickness on the mechanical behavior of a structural polyurethane adhesive," *The Journal of Adhesion*, vol. 91, no. 5, pp. 331-346, 2015.
- [8] A. Tutunchi, R. Kamali, and A. Kianvash, "Adhesive strength of steel-epoxy composite joints bonded with structural acrylic adhesives filled with silica nanoparticles," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 195-206, 2015.
- [9] L. Sun, C. Li, Y. Tie, Y. Hou, and Y. Duan, "Experimental and numerical investigations of adhesively bonded CFRP single-lap joints subjected to tensile loads," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 95, p. 102402, 2019.
- [10] S. Bayramoglu, K. Demir, and S. Akpinar, "Investigation of internal step and metal part reinforcement on joint strength in the adhesively bonded joint: Experimental and numerical analysis," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 108, p. 102613, 2020.
- [11] K. Gültekin, S. Akpinar, A. Özel, and G. A. Öner, "Effects of unbalance on the adhesively bonded composites-aluminium joints," *The Journal of Adhesion*, vol. 93, no. 9, pp. 674-687, 2017.
- [12] J.B. Sauvage et al., "Using the 3-point bending method to study failure initiation in epoxide-aluminum joints," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 75, pp. 181-189, 2017.
- [13] E. Ç. Kavdir and M. D. Aydin, "The experimental and numerical study on the mechanical behaviours of adhesively bonded joints," *Composites Part B: Engineering*, vol. 184, p. 107725, 2020.
- [14] Ş. Çitil, "Experimental and Numerical Investigation of Adhesively Bonded Curved Lap Joints under Three-Point Bending," *Mechanics*, vol. 24, no. 6, 2018.
- [15] S. Genty, J.B. Sauvage, P. Tingaut, and M. Aufray, "Experimental and statistical study of three adherence tests for an epoxy-amine/aluminum alloy system: Pull-Off, Single Lap Joint and Three-Point Bending tests," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 79, pp. 50-58, 2017.
- [16] F. Kadioglu, E. Avil, M. E. Ercan, and T. Aydogan, "Effects of different overlap lengths and composite adherend thicknesses on the performance of adhesively-bonded joints under tensile and bending loadings," In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 369, no. 1, p. 012034.
- [17] F. Zou, J. Dang, T. Chen, Q. An, and M. Chen, "Evaluation of typical hole-making strategies on mechanical behavior of CFRP/Ti single-lap bolted joints," *Composite Structures*, vol. 305, p. 116511, 2023.
- [18] F. Gamdani, R. Boukhili, and A. Vadean, "Tensile strength of open-hole, pin-loaded and multi-bolted single-lap joints in woven composite plates," *Materials & Design*, vol. 88, pp. 702-712, 2015.
- [19] L. F. Da Silva, G. Critchlow, and M. A. Figueiredo, "Parametric study of adhesively bonded single lap joints by the taguchi method," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 22, no. 13, pp. 1477-1494, 2008.
- [20] M. Bakkal, H. Osmanoğlu, and M. S. Bodur, "Effect of surface treatments on the interfacial strength for

metal/composite hybrid joints," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University.*, vol. 37, no. 2, pp. 1033-1046, 2022.

[21] M. Alfano et al., "Surface patterning of metal substrates through low power laser ablation for enhanced adhesive bonding," *The Journal of Adhesion.*, vol. 90, no. 5-6, pp. 384-400, 2014.

[22] P. Maressa, L. Anodio, A. Bernasconi, and A. G. Demir, "Effect of surface texture on the adhesion performance of laser treated Ti6Al4V alloy," *The journal of adhesion.*, vol. 91, no. 7, pp. 518-537, 2015.

[23] A. Pinto, R. Campilho, I. R. Mendes, S. Aires, and A. Baptista, "Effect of hole drilling at the overlap on the

strength of single-lap joints," *International Journal of Adhesion and Adhesives.*, vol. 31, no. 5, pp. 380-387, 2011.

[24] W. Zielecki, K. Łabno, R. Perłowski, Ł. Bąk, and T. Katrňák, "Experimental Research on the Influence of Structural Modifications of Adherends on the Load-Bearing Capacity of Lap Joints of S235JR Steel Sheets," *Advances in Mechanical and Materials Engineering.*, vol. 40, no. 1, pp. 5-13, 2023.

[25] N. G. Barbosa., R. D. Campillo, F. J Silva, and R. D. Moreira "Comparison of different adhesively-bonded joint types for mechanical structures," *Applied Adhesion Science.*, vol. 6, no. 15, pp. 1-19, 2018.