



Farklı çentik boyutlarına sahip alüminyum levhaların alüminyum yamalarla tamiri



Repair of aluminum plates which has different sizes notch with aluminum patch

Edip Çetkin, Şemsettin Temiz

Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman

MAKALE BİLGİSİ

Geliş Tarihi: 26 Kasım 2015
Revizyon Tarihi: 08 Aralık 2015
Kabul Tarihi: 24 Mart 2016
Elektronik Yayın Tarihi: 23 Kasım 2016
Basım: 23 Aralık 2016

ÖZET

Yapıştırma ile birleştirme yöntemi, kaynak, lehim, perçin ve civata gibi farklı birleştirme yöntemlere alternatif olarak kullanılan malzemelerdir. Özellikle bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği havacılık, uzay, otomotiv, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcıların kullanımı giderek artmaktadır. Yapıştırma bağlantıları ile farklı özellik ve kalınlıklardaki malzemeler arasında düzgün bir gerilme dağılımı sağlanarak, daha ekonomik ve daha hafif olarak birleştirilebilir.

Bu çalışmada, farklı çentik geometrilerine sahip parçaların yapıştırma bağlantıları ile tamirinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2 mm kalınlık, 25 mm, 30 mm ve 35 mm genişlik, 112.5 mm uzunluğa sahip Alüminyum levhalarda çentik ağız derinliğine=2mm, 4mm, 6mm ve çentik ağızyüksekliği b= 8 mm olan çentikler açılmış, daha sonra bu çentikli numuneler, ebatları 40-25 mm, 40-30 mm, 40-35 mm olan alüminyum yamalarla tamir edilmiştir. Daha sonra elde edilen levhaların mekanik davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak yama ile tamir edilen malzemelerin hasar yüklerinin yamasız levhalardan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Yama tamiri, Alüminyum çentik, Yapıştırıcı

ABSTRACT

Bond method with adhesive are alternative joining techniques which can be used instead of different connecting methods such as bolt, rivet, weld, and solder. Especially the use of adhesives in aviation, space, automotive, building and marine industrials, for which the security of the joints needed, increases gradually. By using adhesively bonded joints, adherents which had different properties and thickness, acquiring regular stress distribution, can be joined more economically and slightly.

The aim of the study is to repair the bonding parts having different notch geometries with adhesives. For this purpose, Aluminum alloy plates have the thickness of 2mm, the width of 25 mm, 30 mm and 35 mm, the height of 112.5 mm, and notch geometries with the height of 2 mm, 4 mm, 6 mm and the width of 8 mm on these plates were used, and then these notched samples were repaired with aluminum with the dimensions of 40-25 mm, 40-30 mm, and 40-35 mm. Finally, mechanical behaviors of these samples were examined with experimental and numerical analysis. As a result, it has been observed that failure loads of aluminum alloy plates repaired with patches are higher than unpatched aluminum alloy plates

Keywords: Patch repair, Aluminum patch, Adhesive

1. Giriş

Hasarlı parçalar sınıflandırılarak belirlenmekte ve hasarın durumuna göre tamir ya da parça değişimine gidilmektedir. Hasarlı parçanın tamiri için yama, takviye, delme gibi farklı yöntemler vardır. Son yıllarda hasara uğramış makine elemanlarının tamiri için klasik tamir yöntemleri olan kaynak, lehim, perçin ve cıvata bağlantıları yerine daha ekonomik, daha hafif, daha az işçilik isteyen ve en önemlisi daha düzgün bir gerilme dağılımı elde edildiği yapıştırıcı ile bağlama yöntemi kullanılmaktadır. Yapıştırma ile tamir bağlantısını sağlayacak elemanlar sayıca azaltılmakta ve ağırlıkta da önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır. Ayrıca tamir kolaylığı ve süresi gibi avantajları da bulunmaktadır. Bu çalışmada Farklı V çentik boyutlarına sahip Al levhaların yapıştırıcı kullanılarak yama ile tamiri yapılmış ve numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Ayrıca ANSYS14.5 sonlu elemanlar paket programı yardımıyla tamir edilmiş levhaların sayısal analizi yapıp sonuçlar, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

Endüstride işçilik, zaman ve malzeme gibi unsurlar maliyeti önemli ölçüde etkilediğinden dolayı birçok sanayi alanında hasara uğramış olan makine, araç, gereç ve avadanlığın tekrar yenilenmesi yerine tamirine gidilmektedir. Sonuç olarak yapılan bu tamiratın maliyet, işçilik ve zamanın minimum olması istenmektedir. Bu amaçla günümüzde malzeme, işçilik ve zaman kaybını azaltmak için birçok çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. İki levhanın kısmi bir bölgede üst üste yapıştırıcıyla bağlanmasıyla oluşan tek bindirme bağlantıları, basit geometrileri ve testlerinin kolaylığı nedeniyle birçok bilim adamı ve araştırmacının ilgisini çekmiştir. Dolayısıyla bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar çok fazladır (1).

Eskiden olduğu gibi bugünde malzemeleri birbirine eklemek, birleştirmek ve onları bir bütün olarak kullanım süreleri içerisinde bir arada tutmak maksadıyla birçok malzeme ve teknik kullanılmaktadır. Özellikle uzun zaman periyotlarında bağlantı güvenilirliğinin gerektiği havacılık, uzay, otomotiv, altyapı sistemi, tıp, elektronik paketleme, spor, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcılar, gün geçtikçe geleneksel bağlantı yöntemleri olan cıvata, perçin, lehim ve kaynağın yerini almaktadır (2).

Günümüzde sistemlerin enerji tüketimini azaltmak için birçok sebep vardır. Yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi de sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Sistem elemanlarını birleştirmek için

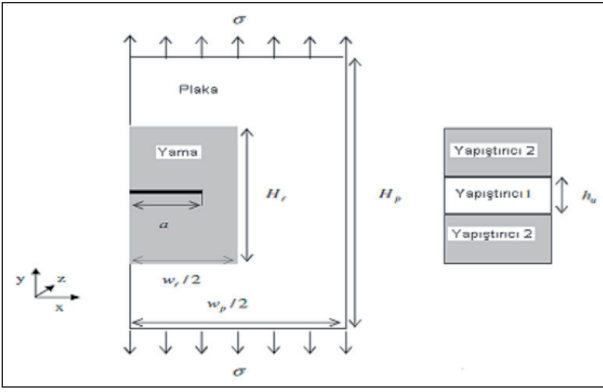
kullanılan cıvata, perçin ve kaynak yerine daha hafif bir bağlantı şekli olan yapıştırıcıların kullanımı sistemleri daha hafif hale getirmiştir (2).

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan bu hal meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir (3).

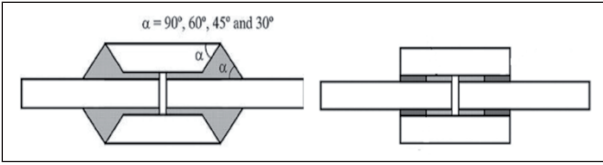
Demirgen, farklı bindirme uzunluklarında galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaların yapıştırma performansı incelenmiştir. Bunun için TEROSTAT 9120 ve 9220 kodlu yapıştırıcılar kullanmıştır. Ayrıca bilgisayar destekli sonlu elemanlar programı (ANSYS) ile bu yapıştırma bağlantısının modelini oluşturup doğrulama deneyleri yapmıştır. Araştırma sonucunda, bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırılmış plakaların Mukavemet değerlerinde lineer bir artış gözlemlenmiş, çekme deneylerinde kopmaların bağlantıların orta bölgesinde oluştuğunu tespit etmiştir. Ayrıca TEROSTAT 9220 yapıştırıcı ile birleştirilen plakaların mukavemeti TEROSTAT 9120 yapıştırıcısına nazaran daha yüksek mukavemete sahip olduğunu tespit etmiştir. Analizler sonucunda gerilme değerlerinin yapıştırıcı bölgesinde maksimum seviyede olduğunu görmüştür. Deneysel verilerle uyumlu sayısal sonuçlar elde etmiştir (4).

Fekirini vd., üzerinde çatlak olan bir tabakanın tamiri için farklı kayma modülüne sahip olan iki yapıştırıcı kullanarak sonlu elemanlarla analizini yapmışlardır. Kullandıkları yapıştırıcının birincisinde çatlak olan bölgede gerilme transferini sağlanması hedeflenmiş ikincisinde ise birinci yapıştırıcının hasara uğramasını engellenmesi hedeflenerek çatlak bölgesinin dışında kullanmışlardır (Şekil 1). Sonlu elemanlarla yapmış oldukları analiz sonucunda çatlak bölgesinde bu tip bir yapıştırma sisteminin kullanılmasının yorulma ömrünün önemli ölçüde iyileştirdiğini gözlemlenmişlerdir (5).

Marquesand da Silva, çift takviyeli yapıştırma bağlantısında yamaların uç kısımlarında meydana gelen gerilmeleri azaltmak için yama iç kısmına ve yapıştırıcı uç kısımlarına belirli açılar vermişlerdir. Yapmış oldukları sayısal çalışmada farklı yapıştırıcılar kullanmışlar (Şekil 2) doğrulama deneyleri yapmışlardır. Yama uçlarında aç 45° olduğunda uç kısımlarda gerilmelerin azaldığını ve daha Fazla yük taşıdığını tespit etmişlerdir. Uç kısımlara



Şekil 1: Çatlak içeren yamalı levha.



Şekil 2: Farklı çift takviyeli bağlantı konfigürasyonları.

açı verilerek oluşturulan yamaların sert yapıştırıcılarla daha iyi uyum sağladığını gözlemlemiştir. Yama ve parça arasında farklı iki yapıştırıcı kullanılmasının gerilmeleri önemli oranda düşürdüğünü tespit etmişlerdir (6).

ÇİTİL, Ş. 2012, Hasarlı bölgenin tamir edilmesinde ortası boş ve dolu olarak klasik ve kapakları gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantısının deneysel ve sayısal olarak gerilme analizi yaparak mekanik davranışları incelemiştir. Analizlerde kapakları dışarıda ortası boş ve ara elemanlı bağlantı numuneleri karşılaştırıldığında, ortası boş yapıştırma bağlantılarının daha fazla yük çektiği görülmüştür. Kapakları gömülü ortası boş ve ara elemanlı bağlantı numuneleri karşılaştırıldığında ise, ortası boş yapıştırma bağlantılarının daha fazla yük çekmekte, ara elemanlı yapıştırma bağlantıları ise daha düşük yük çektiği gözlemlenmiştir. Her iki durumda da kapakları dışarıda ve kapakları gömülü ortası boş ve ara elemanlı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarında kapaklar gömülü yada kapaklar dışarıda yapıştırma bağlantılarında eğer kapak ara bölgelerinde boşluk oluşmuşsa ara bölgeye herhangi bir ara eleman konulmadan tamir edilmesi daha uygun olduğu gözlemlenmiştir (7).

Temiz, Ş. (2006), AA2024-T3 Alüminyum levhalarına çift takviyeli birleştirme yöntemi kullanılarak dört nokta eğme yüklemesine maruz sonlu eleman analizini yapmıştır. Bağlantının bindirme uçlarında oluşan

gerilme yığılmalarını düşürmek için farklı yapıştırma konfigürasyonunu denemiş ve bağlantının uçlarına fazla şekil değiştiren esnek yapıştırıcı ve bağlantı ortalarına da sert yapıştırıcı konularak elde edilen bağlantının tek tip yapıştırıcı ile yapılan bağlantıya göre yaklaşık %50 civarında fazla yük taşıdığı tespit etmiştir (8).

M. Bezzerrouki, (2008), Yapmış oldukları çalışmada tek taraflı ve çift taraflı yamalar ile çatlaklı yapının onarımını amaçlamışlardır. Çatlak ucundaki gerilme yoğunluk faktörünü sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplamışlardır. Sonuçta yapışkan yırtılma modülü artışı alüminyum tabakadan kompozit yamaya gerilme transferini sağladığını, yapıştırıcı kalınlığının düşmesi ve yama kalınlığının artması iki yapışkan bandlı tek taraf kompozit yamalı onarım için verimli olduğunu görmüşlerdir. Yapışkan yırtılma gerilmesi dağılım analizinde çift yapışkana göre ve çift taraf kompozit yamalı onarım ile karşılaştırıldığında yüksek gerilmeler gözlemlenmiştir(9).

Aydın, M. vd. (2007), Yapmış oldukları çalışmada tek tesirli bindirme bağlantılarında yapıştırma bağlantısının kürleşmesi esnasında basınç değişikliğinin etkilerini araştırdılar. Bunun için esnek ve basınç hassasiyetli yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantıları oluşturmuşlar, oluşturulan numuneler kürleşme boyunca değişik basınç uygulamışlardır. Kürleşme esnasında uygulanan basıncın esnek karakterli yapıştırıcılar için bağlantı üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu tespiti yapmışlardır (10).

Çelik, A. vd, yaptıkları çalışmada, çentikli kompozit levhaların hasar davranışları statik çekme testleriyle deneysel olarak araştırılmıştır. Sekiz tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit levhalar kullanılmıştır. Levhaya kenarlarından ve ortasından açılan çentiklerin ve fiber takviye açısı değişiminin levhanın çekme mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Fiber takviye açısının etkileri (0o)8, (15o)8, (30o)8, ve (45o)8, tabaka dizilimine sahip levhalar için araştırılmıştır. Çentik türü değişimi ise levha ortasında radyal delik (Tip 1), levha kenarında yarım daire çentik (Tip 2), levha merkezinde dairesel delik (Tip 3) ve levha kenarında u çentik (Tip 4) olmak üzere 4 farklı çentik türü için incelenmiştir. Fiber takviye açısına bağlı olarak tüm çentik türleri için hasar yüklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak çentik türü değişiminin hasar yükleri üzerinde oldukça etkili olduğu deneysel çalışma sonuçlarından görülmektedir (11).

2. Yöntem

Ekstrem kullanım alanlarında olağanüstü performans sağlayan, deniz suyu ve endüstriyel kimyasal ortamlara karşı son derece dayanıklı AA-5754 alüminyum alaşım malzemesi, yapıştırılan malzeme olarak kullanılmıştır. AA-5754 alüminyum alaşımının kaynak kabiliyeti ile yorulma dayanımı yüksek, deniz suyu korozyonuna dayanıklı ve yumuşak temper formunda soğuk işlenebilirliği iyi olması gibi özelliklerinden dolayı gemi inşaat sektöründe, kimyasal cihazlarda, depolama tanklarında, basınçlı kaplarda, katlanabilir köprülerde, kaynaklı kamyon gövdelerinde, askeri araç gövde ve zırhlarında kullanımı yaygındır. AA-5754 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir (12).

Yapıştırıcı malzeme olarak DP-460 kullanılmıştır. Bu malzemenin epoksi ve hızlandırıcı olmak üzere iki adet bileşeni vardır. Hacimsel olarak epoksi/hızlandırıcı oranı 2/1 olduğunda yapıştırıcı yüksek dayanım göstermektedir. Bu oranı sağlamak için özel helozoik uçlar kullanılır. Bu yapıştırıcı malzeme, helezonik uçlar ve özel silikon tabancası ile beraber EGEANT aracılığıyla İzveç merkezli 3M firmasından temin edilmiştir.

Lineer olmayan sonlu eleman yöntemiyle gerilme analizi yapabilmek için, çalışmada kullanılan yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin tek eksenli yük altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışları bilinmelidir. Bu amaca yönelik olarak, yapıştırıcı (DP460) ve yapıştırılan malzemedan (AA-5754) üretilen numuneler hazırlanmış ve bu numuneler çekme deneyine tabi tutularak, Şekil 3 ve 4’te verilen gerilme-şekil değiştirme davranışları tespit edilmiştir (13). Elde edilen mekanik özellikleri Tablo 2 ve 3’te verilmiştir.

Çift taraflı bindirme bağlantısını oluşturmak için yama malzemesi olarak 2 mm kalınlığında ve 40mm uzunluğunda AA-5754 malzemesi kullanılmıştır. Alüminyum levhalar YÜNSEL firmasından temin edilmiştir. Kullanılacak yama boyutlarına göre kesim işlemi yapılmıştır. Yamasız çentikli numunelere ait deneysel ve sayısal sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir.

2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan Alüminyum levha ve yamaların boyutları sırasıyla Şekil 5 ve 6’da gösterilmiştir. Çift taraflı yama ile tamir edilmiş çentikli levhaların deneysel ve sayısal sonuçları ise Tablo 5’te verilmiştir.

DP460 yapıştırıcı malzeme kullanılarak elde edilen çift taraf yamalı bindirme bağlantıları Şekil 7 ve 8’de şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 1: AA-5754 alaşımının kimyasal bileşimi.

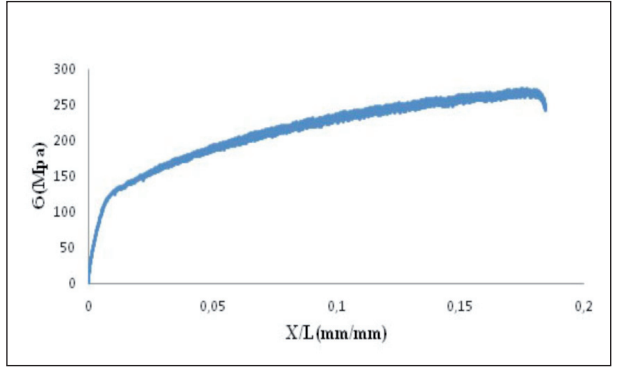
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0.4	0.4	0.1	0.5	2.6-3.6	0.2	0.3	0.15	0.15	Kalan

Tablo 2: Alüminyum malzemesinin mekanik özellikleri.

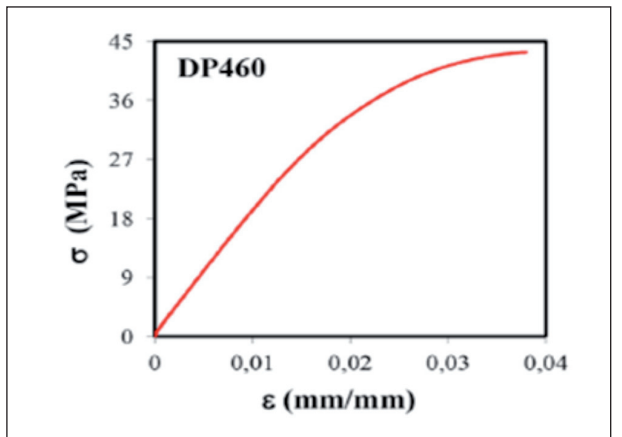
Elastisite Modülü	78.586GPa
Kayma Modülü	25.9GPa
Poisson Oranı	0.324
Akma Dayanımı	140 MPa
Çekme Dayanımı	272.0561MPa

Tablo 3: Yapıştırıcı malzemesinin mekanik özellikleri (12).

Elastisite Modülü	2077.1MPa
Poisson Oranı	0.38
Çekme Dayanımı	44.616 MPa



Şekil 3: Yapıştırılan malzemenin (AA-5754) gerilme-şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 4: Yapıştırıcı malzemenin (DP460) gerilme-şekil değiştirme diyagramı (13).

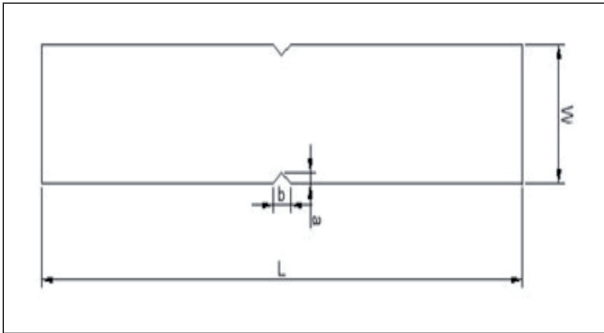
Tablo 4: Yamasız çentikli AL levhaların deneysel, sayısal ve geometrik değerleri.

Çentik derinliği (a)	Çentik yüksekliği (b)	Plaka kalınlığı (t)	Plaka genişliği (W)	Al plaka boyu (L)	F_D	F_N
2	8	2	25	112,5	8593,75	10490
4	8	2	25	112,5	6612,5	8060
6	8	2	25	112,5	5341,4	6905
2	8	2	30	112,5	10659,4	13206
4	8	2	30	112,5	8657,8	10218
6	8	2	30	112,5	7253,9	8928
2	8	2	35	112,5	12530,2	15617
4	8	2	35	112,5	10264	12488
6	8	2	35	112,5	9345,8	10983

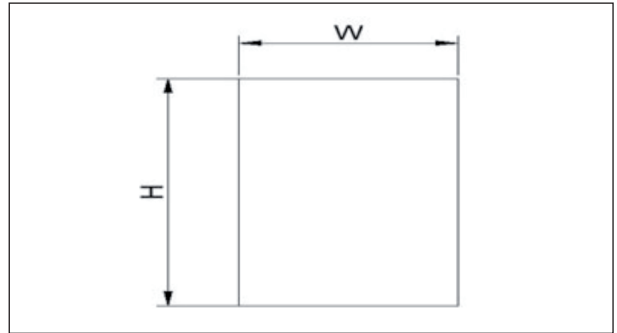
Tablo 5: Yamalı çentikli AL levhaların deneysel, sayısal ve geometrik değerleri.

Çentik derinliği (a)	Çentik yüksekliği (b)	Plaka kalınlığı (t)	Plaka genişliği (W)	Yama yüksekliği (H)	Al plaka boyu (L)	F_D	F_N
2	8	2	25	40	112,5	10257	6650
4	8	2	25	40	112,5	10100	6650
6	8	2	25	40	112,5	9925	6650
2	8	2	30	40	112,5	11750	7902
4	8	2	30	40	112,5	11513	7902
6	8	2	30	40	112,5	11416	7902
2	8	2	35	40	112,5	13515	9198
4	8	2	35	40	112,5	13191	9198
6	8	2	35	40	112,5	13132	9198

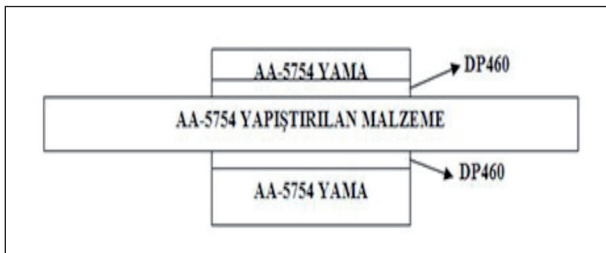
F_D : Deneysel kopma yükü, F_N : Sayısal kopma yükü



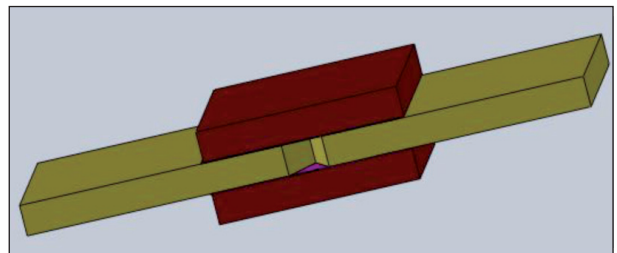
Şekil 5: Çentik açılmış AL levha boyutları.



Şekil 6: AL yama boyutları.



Şekil 7: Çift taraf yamalı bindirme bağlantıları.



Şekil 8: Çift taraf bindirmeli üç boyutlu hali.

2.2. Sayısal Analiz

Sayısal çalışma sonlu elemanlar metodunu kullanarak çözüm yapan ANSYS 14.5 programında yapılmıştır. Sayısal çözüm iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada problemin sonlu elemanlar modeli yapılıp ve sınır şartları verilmiştir. İkinci aşamada ise yük kademeli verilip gerilme analizi yapılmıştır.

2.2.1. Sonlu Elemanlar Modeli

Sayısal çalışmanın gerçekleştirildiği ANSYS 14.5 paket programında Tablo 4 ve 5'te verilen geometrik parametrelerin programa girilmesi ile yamasız ve çift taraftan yamalı yapıştırma bağlantısının gerçeğe en uygun üç boyutlu katı bir tam modeli oluşturulmuştur. Ayrıca Şekil 8'de modellenin SolidWorks'da çizilen 3D çizimi verilmektedir. Katı modellenin sonlu elemanlara bölünmesi işlemi için ANSYS programında probleme ve malzemelere uygun olarak tanımlanmış eleman tipleri kullanılmıştır. Alüminyum plakalar ve yapıştırıcı için Solid 185 sekiz düğümlü üç boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Gerilme yığımların yüksek olduğu çentik bölgesi daha yoğun ağ yapısı ile oluşturulmuştur. Modellemeye ait, bağlantı şekli, sonlu eleman mesh detayları ve sınır şartları Şekil 9'de verilmiştir. Plakanın ve yapıştırıcının mekanik özellikleri ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanan numunelerden elde edilerek sayısal çözümlemede kullanılmıştır.

2.2.2. Yükleme ve Gerilme Analizi

Sayısal analizde uygulanan yükler kademeli şekilde artırılarak uygulanmıştır. Uygulanan kademeli yüklemeye bağlı olarak sayısal modellemeye ait hasar yükleri belirlenmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılarak Nonlineer gerilme analizleri yapılmıştır. Yapıştırılan malzeme (AA-5754) üzerindeki Şekil 10'da verilen kritik öneme sahip gerilme hatları belirlenmiş ve seçilen kritik hatları üzerindeki σ_x , σ_y , τ_{xy} ve σ_{eqv} gerilme dağılımları incelenmiştir.

2.3. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi

Bütün çekme deneyleri bilgisayar kontrollü Shimadzu AG-X 250 kN Universal Testcihazı ile 1 mm/dk sabit çekme hızında yapılmıştır. İlk önce yamasız numunelerin daha sonra da alüminyum yamalarla oluşturulan çift taraflı bindirme bağlantılarının çekme testleri yapılmıştır. Her numuneden üçer adet yapıştırılıp testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üçer adet yapılan testlerin ortalaması alınarak grafikler çizilmiştir. Numunelerin taşıdıkları deneysel ve nümerik yüklerin karşılaştırılması Tablo 4 ve 5'de gösterilmiştir.

Hasar kriteri olarak Von-Mises kriteri kullanılmıştır. Bu kritere göre sünek malzemelerde kopma; kayma gerilmesi kritik bir değere ulaştığında malzemede kopma meydana gelir.

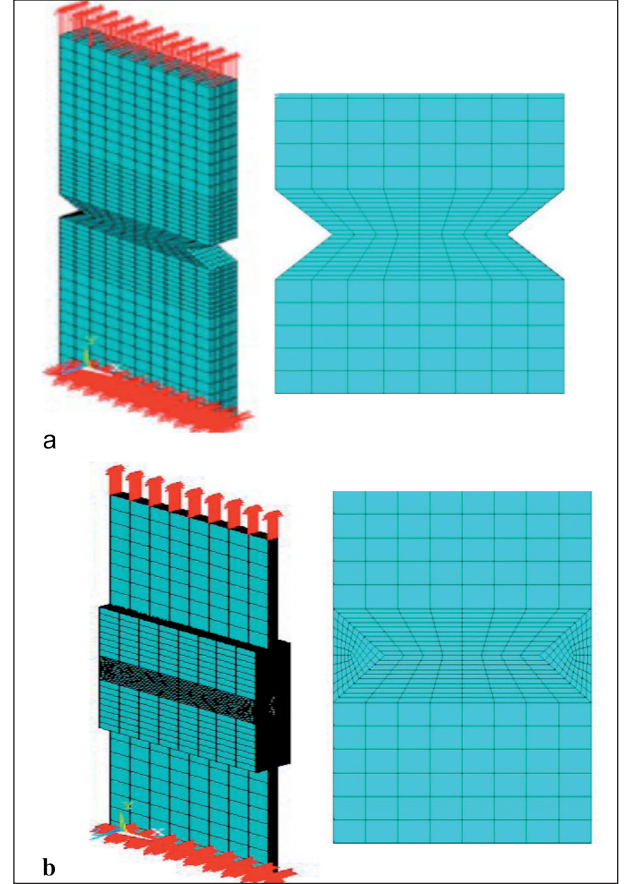
Semboller:

σ_x : X eksenindeki gerilmeler

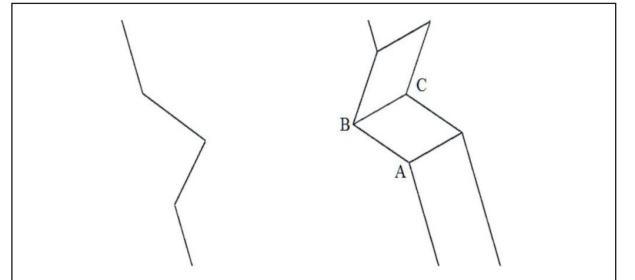
σ_y : Y eksenindeki gerilmeler

τ_{xy} : XY düzlemindeki kayma gerilmeleri

σ_{eqv} : Vonmises eşdeğer gerilmesi



Şekil 9: Sayısal analizde modellenen ağ yapıları, sınır şartları ve kuvvetler; (A) Yamasız, (B) Yamalı.



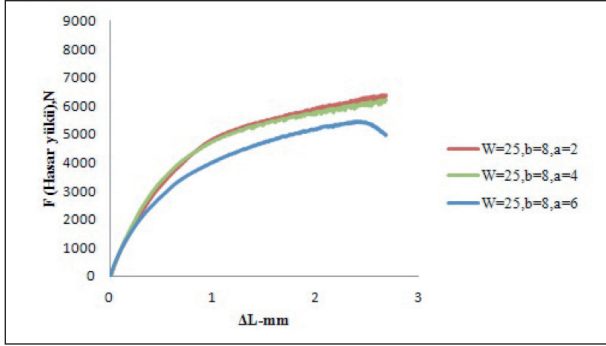
Şekil 10: Nümerik analizde incelenen AB ve BC gerilme hatları.

3. Bulgular

3.1. Deneysel Sonuçlar

3.1.1. Yamasız numunelerde çentik ağzının hasar yükleri üzerindeki etkisi

Şekil 11, 12 ve 13'te görüldüğü gibi levhanın genişliği (W) ve çentik yüksekliği (b) sabit tutulup çentik ağzı

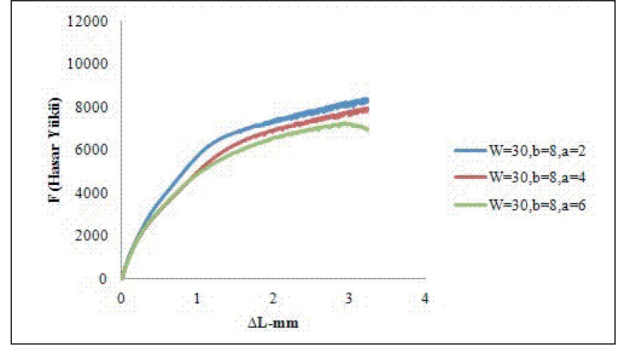


Şekil 11: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=25 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.

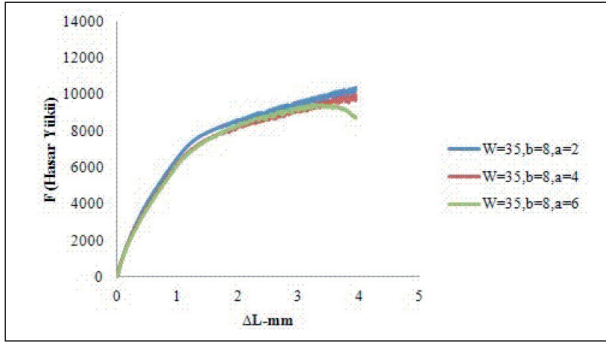
derinliği (a) değiştirildiğinde çentik ağzı derinliği büyük olanın hasar yükünün daha düşük olduğu görülmektedir.

3.1.2. Yamasız numunelerde levha genişliğinin (W) hasar yükleri üzerindeki etkisi

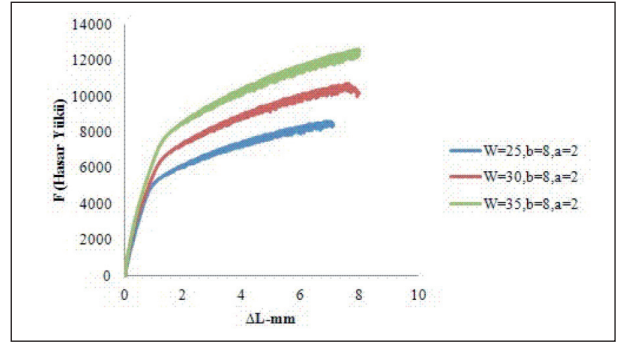
Şekil 14, 15 ve 16'da çentik ağzı derinliği (a) ve çentik yüksekliği (b) sabit tutulup plakanın genişliği (W) değişken alındığında, plaka genişliği(W) büyük olanın



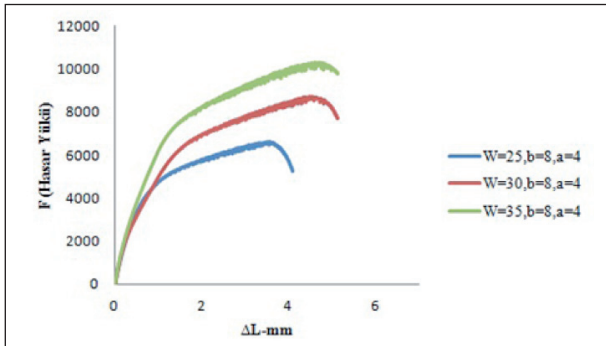
Şekil 12: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=30 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



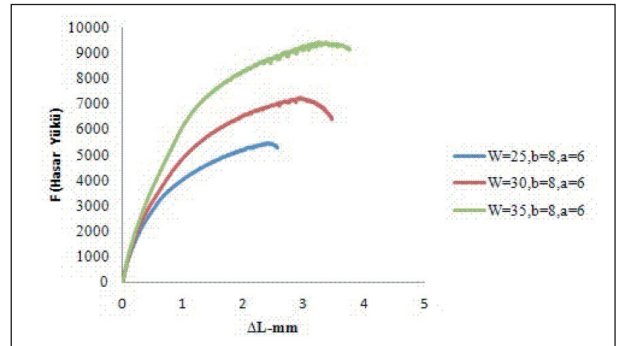
Şekil 13: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=35 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 14: b=8 mm, a=2 mm, W=25 mm, W=30 mm ve W=35 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 15: b=8 mm, a=4 mm, W=25 mm, W=30 mm ve W=35 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 16: b=8 mm, a=6 mm, W=25 mm, W=30 mm ve W=35 mm yamasız AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.

daha yüksek dayanıma sahip olduğu yani hasar yükünün fazla olduğu görülmektedir.

3.1.3. Yamalı numunelerde çentik ağız derinliğinin hasar yüklerine etkisi

Şekil 17, 18 ve 19'da AA-5754 alüminyum levhaların yama ile tamiri sonucunda elde edilen hasar yükleri değişimleri gösterilmektedir. Levha genişliği (W) ve çentik yüksekliği (b) sabit tutulup çentik ağız derinliği (a) değişken alındığında, çentik ağız derinliği büyük olanın hasar yükünün daha düşük yani daha düşük dayanım göstermektedir. Ancak yüzdesel olarak bakıldığında en fazla artışın %85.8 ile b=8 mm, a=6 mm ve W=25 mm çentik büyüklüğüne sahip plakada olduğu görülmektedir.

3.1.4. Yamalı numunelerde levha genişliğinin hasar yükleri üzerindeki etkisi

Levhanın genişliği (W) 25 mm, 30 mm ve 35 mm olarak alındığında hasar yüklerin levha genişliğinin artışına bağlı olarak artmaktadır. Bunu sebebi yapışma yüzeyinin artmasındandır. Şekil 20, 21 ve 22'e bakıldığında hasar yüklerin yapışma yüzeyine bağlı

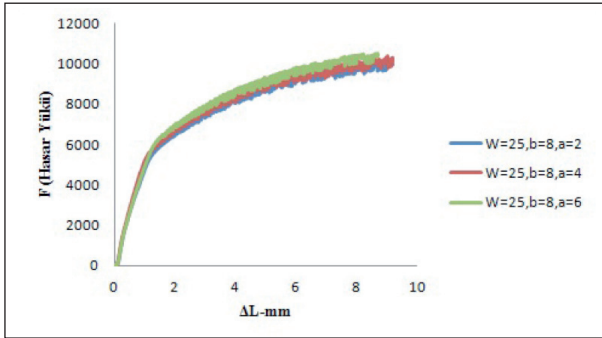
olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca tamir sonucu elde edilen yamalı numunelerin yamasız durumlarına göre hasar yüklerinin arttığı Tablo 4 ve 5'den kolaylıkla görülebilmektedir.

3.2. Nümerik Sonuçlar

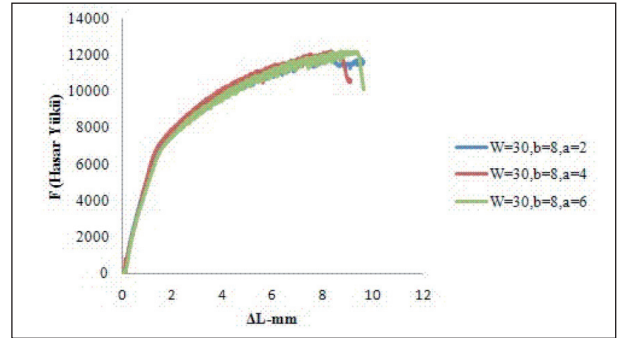
3.2.1. b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve W=25mm yamasız numunelerden, AA-5754 yapııştırılan malzeme üzerindeki BC hattı boyunca elde edilen gerilme dağılımları

b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve W=25mm geometrik büyüklüğüne sahip AL levhanın BC hattı boyunca meydana gelen Vonmises eşdeğer gerilmeleri mukayese edildiğinde 8x6 (çentik ağız yüksekliği ve çentik ağız derinliği) çentik geometrisine sahip levha da daha fazla gerilmelerin meydana geldiği görülmektedir.

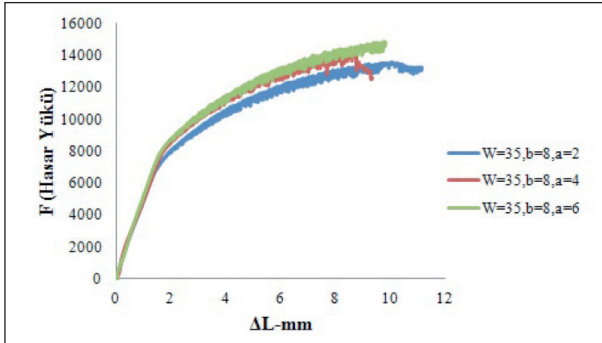
BC hattının X ve Y düzlemindeki gerilmeleri incelendiğinde 8x6 (çentik ağız yüksekliği ve çentik ağız derinliği) çentik geometrisine sahip levhaların X ve Y düzlemlerinde daha büyük gerilmelerin meydana geldiği görülmektedir.



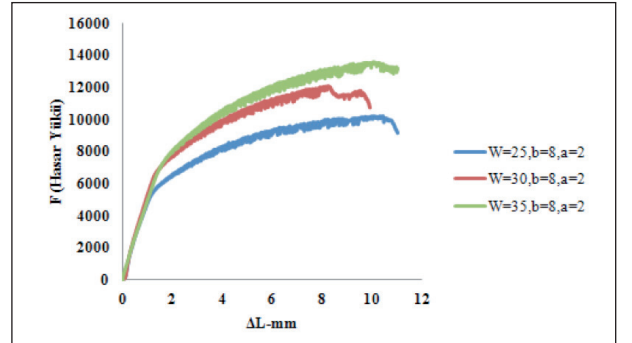
Şekil 17: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=25 mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 18: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=30 mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 19: b=8 mm, a=2 mm, a=4 mm, a=6 mm ve W=35 mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.

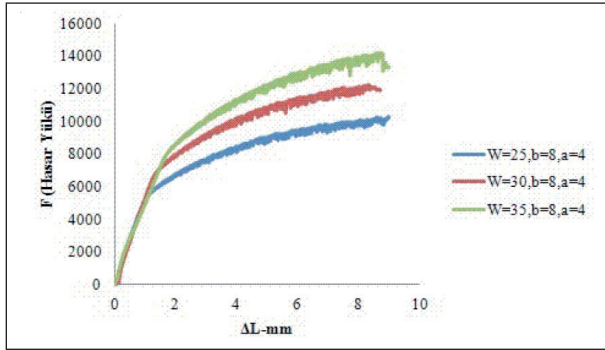


Şekil 20: b=8mm, a=2mm, W=25mm, W=30mm ve W=35mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.

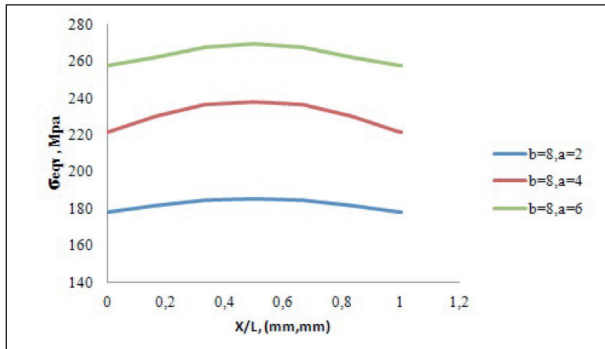
BC hattının orta noktasında σ_x , σ_y ve σ_{eqv} gerilmelerin maksimum değere ulaşıldığı görülmektedir. Aynı şekilde BC kritik hattının başlangıç ve bitiş noktaların orta noktaya göre simetrik olduğundan (Şekil 10'dan BC kritik hat gösterilmektedir.) aynı gerilmeler meydana gelmektedir.

3.2.2: b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve w=25mm yamasız numunelerden AA-5754 yapıştırılan malzeme üzerindeki AB Hattı boyunca elde edilen gerilmeler:

Sayısal çözümlemede ele alınan diğer kritik hat olan AB üzerindeki gerilme değerlerine bakıldığında (Şekil 23, 24 ve 25) gerilmelerin kritik hattın başlangıç noktasında minimum değere sahip olduğu kritik hattın bitiş noktasına doğru ise maksimum değere ulaşıldığı görülmektedir. Y ekseninde yükleme yapıldığından (Şekil 9'da yükle eksenini belirtmektedir.) bu ekseninde meydana gelen gerilmelerin daha büyük olduğu görülmektedir. Çentik etkilerine bakıldığında 8x6 çentik geometriğine sahip levhanın çentik keskinliği diğer çentik geometrilerine göre daha büyük olduğundan aynı yüklemeler neticesinde daha büyük gerilmelerin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 21: b=8mm, a=4mm, W=25mm, W=30mm ve W=35mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



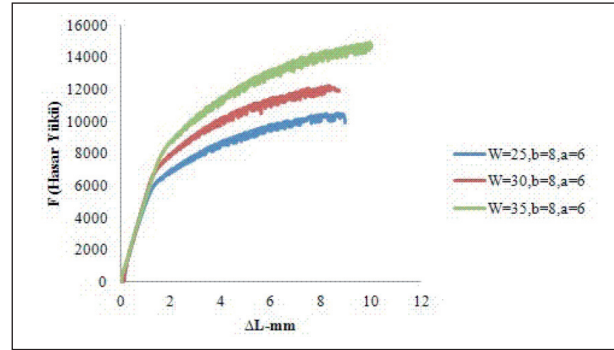
Şekil 23: b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve W=25mm yamasız AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca elde edilen σ_{eqv} gerilme dağılımları

3.2.3. b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve W=35mm yamasız numunelerden, AA-5754 yapıştırılan malzeme üzerindeki BC hattı boyunca elde edilen gerilme dağılımları

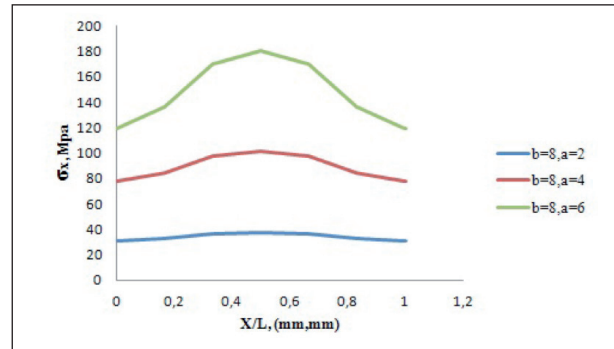
Aynı yüklemelere maruz bırakılan levhaların genişliği W=25mm ve W=35mm alınıp (Şekil 26, 27, 28, 29 ve 30) AB ve BC hattı üzerindeki gerilme dağılımlarına bakıldığında, levha genişliğinin artışı levhalar üzerindeki gerilmeyi azalttığı görülmektedir. 8x6 geometriğine sahip levhaların çentik keskinliğinden dolayı en büyük gerilmelere maruz kalmaktadır.

3.2.4. b=8mm, a=2mm, w=25mm, w=30mm ve w=35mm yamasız numunelerden, AA-5754 yapıştırılan malzeme üzerindeki BC hattı boyunca elde edilen gerilme dağılımları

Levha genişliği değişken alınıp çentik geometrisini sabit alındığında levha genişliği artışına bağlı olarak levhanın yüklemelere karşı daha dirençli olduğu ve bunun neticesinde levha genişliği büyük olanda daha düşük gerilmelerin oluştuğu Şekil 31'den görüle bilmektedir.



Şekil 22: b=8mm, a=6mm, W=25mm, W=30mm ve W=35 mm yamalı AA-5754 alüminyum levhalar için hasar yükü değişimleri.



Şekil 24: b=8mm, a=2mm, a=4mm, a=6mm ve W=25mm yamasız AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca elde edilen σ_x gerilme dağılımları

3.2.5. $b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $w=25\text{mm}$, $w=30\text{mm}$ ve $w=35\text{mm}$ yamalı numunelerden, AA-5754 yapıştırılan malzeme üzerindeki BC ve AB hattı boyunca AL den elde edilen gerilme dağılımları

$b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $W=25\text{mm}$, $W=30\text{mm}$ ve $W=35\text{mm}$ yamalı levhaların (Şekil 32 ve 33) AB ve BC hattı üzerindeki gerilme dağılımları yamasız durumuna (Şekil 30 ve 31) göre daha düşük çıkmaktadır. Ayrıca yamaların levha tamiri üzerindeki olumlu bir etkide olarak da açıklanabilir.

3.2.6. $b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $w=25\text{mm}$, $w=30\text{mm}$ ve $w=35\text{mm}$ yamalı numunelerden, AA-5754 yapıştırılan malzeme üzerindeki AB hattı boyunca Yapıştırıcıdan elde edilen gerilme dağılımları

Aynı yüklemeler neticesinde yapıştırıcı tabaka üzerindeki gerilmelerin AL levhasına göre daha düşük çıktığı görülmektedir

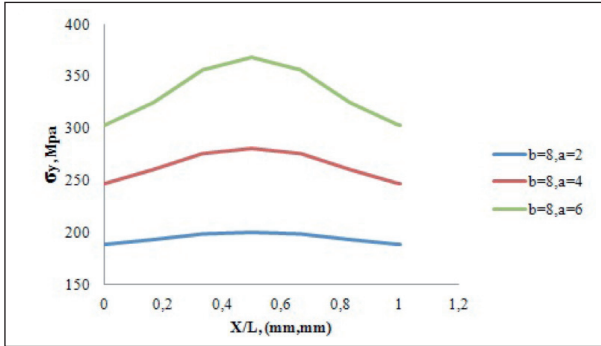
4. Sonuç ve Öneriler

Ansys paket programı yardımı ile yapılan nümerik çalışmada Von-Miseskriteri esas alınmıştır. Bu kritere

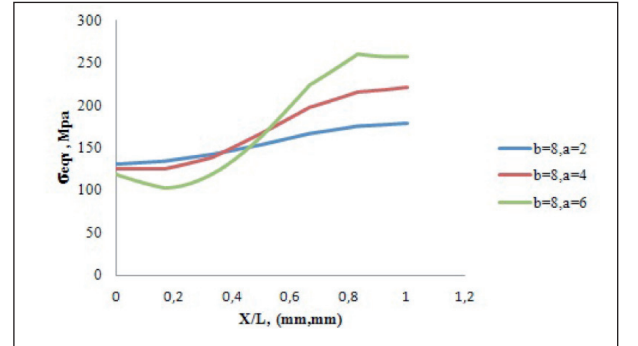
göre, nümerik olarak yapılan analizde yapıştırıcı tabakasındaki ilk eleman Von-Mises kriterine göre hasara uğrayınca bağlantının hasara uğradığı kabul edilir. Fakat deneysel çalışmalarda yapışma yüzeyi fark etmeksizin malzeme kopana kadar yük uygulanmaya devam edildiğinden hasar yüklerinin daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı Von-Miseskriteri esas alınarak yapılan çentikli malzeme tamirinin sayısal analizinde deneysel sonuçlar ile nümerik sonuçlar yakınsama göstermediği görülmüştür.

Yapılan deneysel tamir çalışmalarında yapıştırma alanının artmasıyla tamir işleminin başarılı olduğu görülmüştür. Çentik faktörleri açısından bakıldığında; Plaka genişliği(w) artırıldığında hasar yükünün arttığı fakat yüzdesel olarak tamir etme başarısı $w=25\text{mm}$ daha yüksek olduğu görülmüştür.

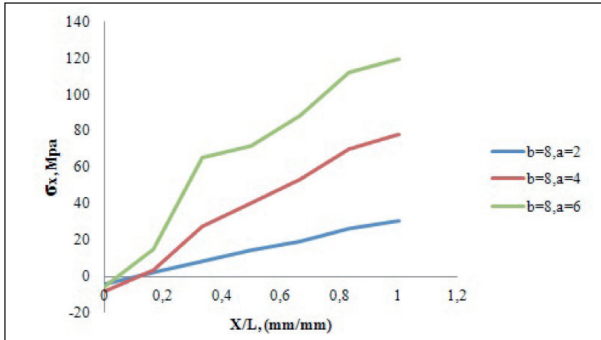
Çentik ağız derinliği (a) arttıkça yamasız durumlarda hasar yükünün azaldığı fakat alüminyum yama ile yapılan tamir işleminde yüzdesel olarak en iyi performansın çentik ağız derinliği en yüksek olan (6mm) da elde edilmiştir.



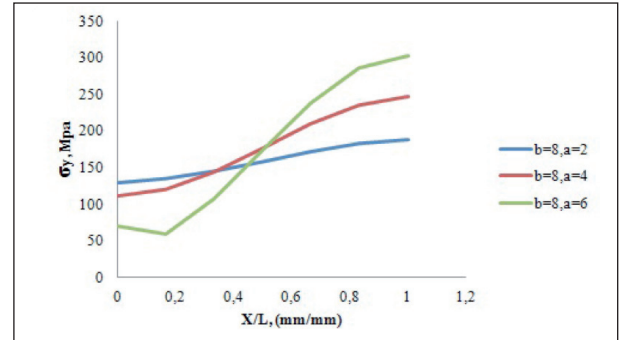
Şekil 25: $b=8\text{mm}$, $a=2\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $a=6\text{mm}$ ve $W=25\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca elde edilen σ_y gerilme dağılımları.



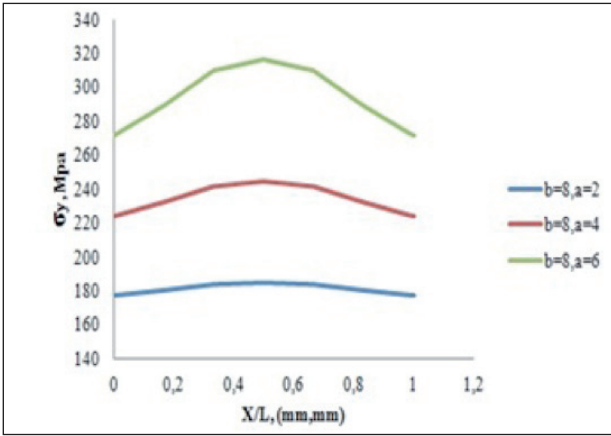
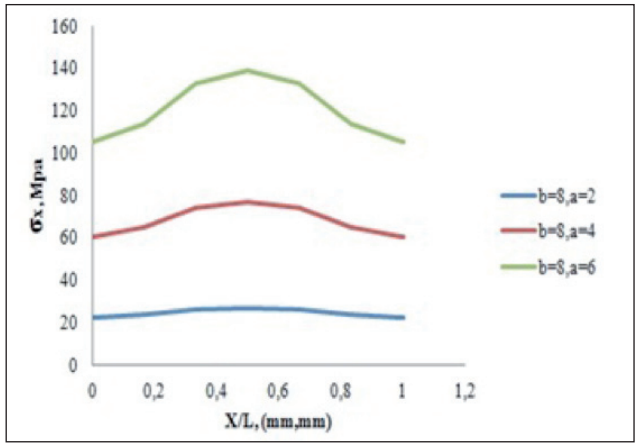
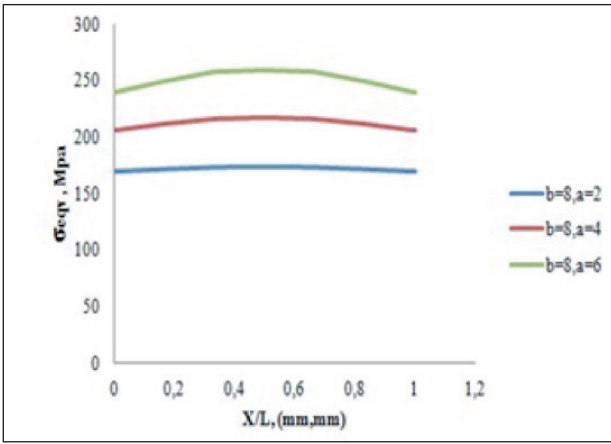
Şekil 26: $b=8\text{mm}$, $a=2\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $a=6\text{mm}$ ve $W=25\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanın AB hattı boyunca elde edilen σ_{eqv} gerilme dağılımları.



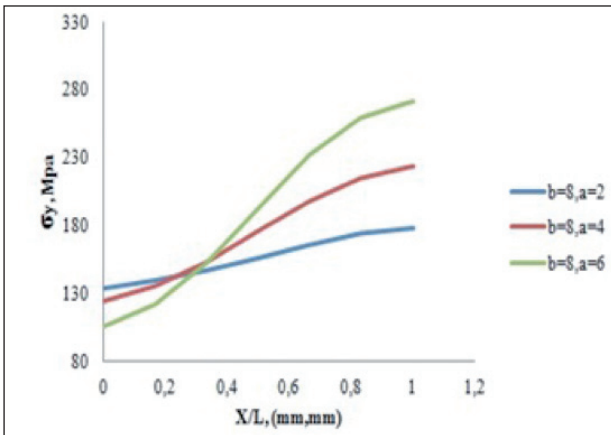
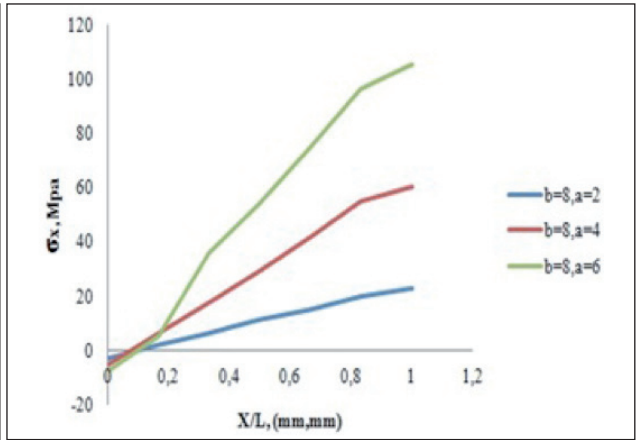
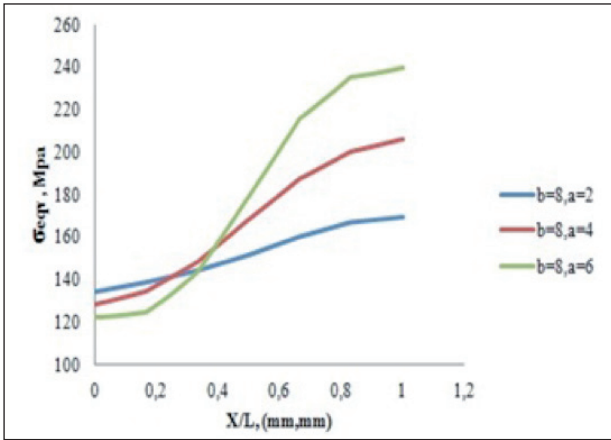
Şekil 27: $b=8\text{mm}$, $a=2\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $a=6\text{mm}$ ve $W=25\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanın AB hattı boyunca elde edilen σ_x gerilme dağılımları



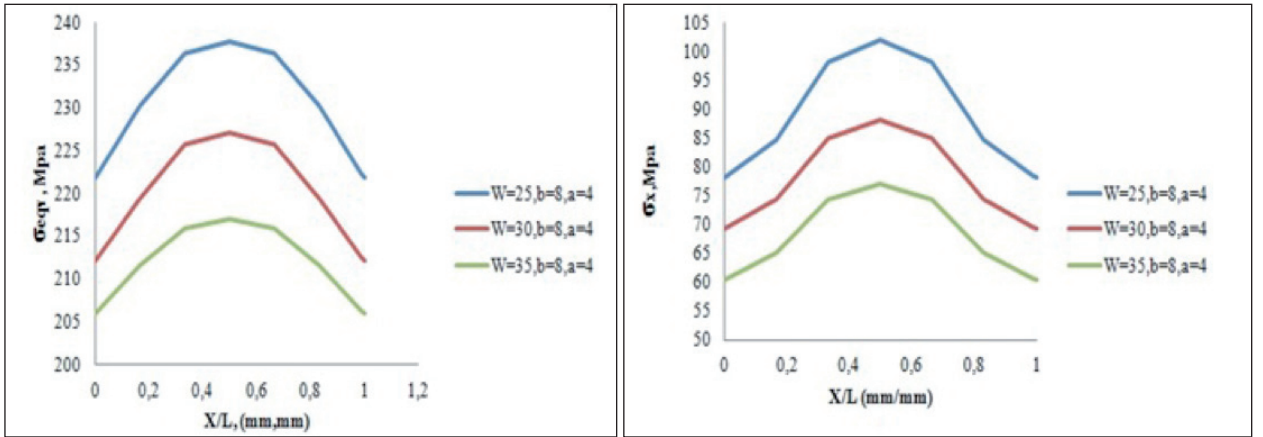
Şekil 28: $b=8\text{mm}$, $a=2\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $a=6\text{mm}$ ve $W=25\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanın AB hattı boyunca elde edilen σ_y gerilme dağılımları



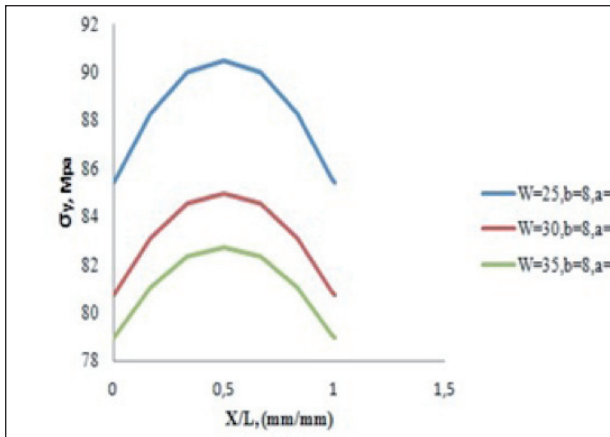
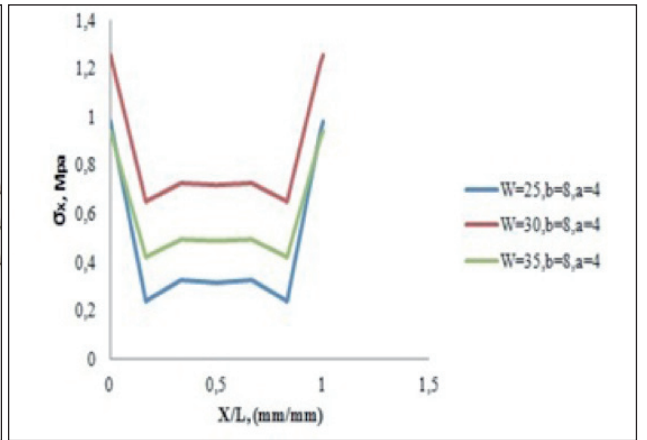
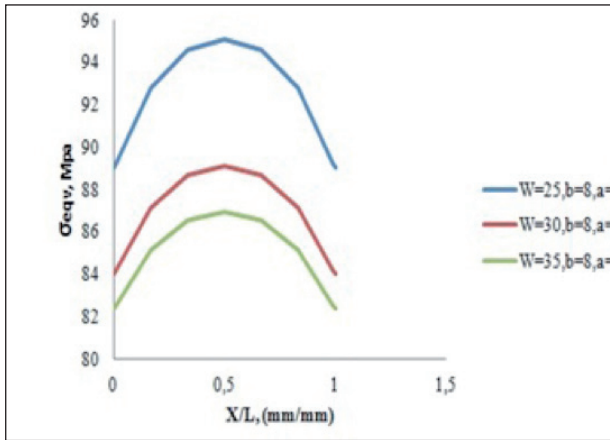
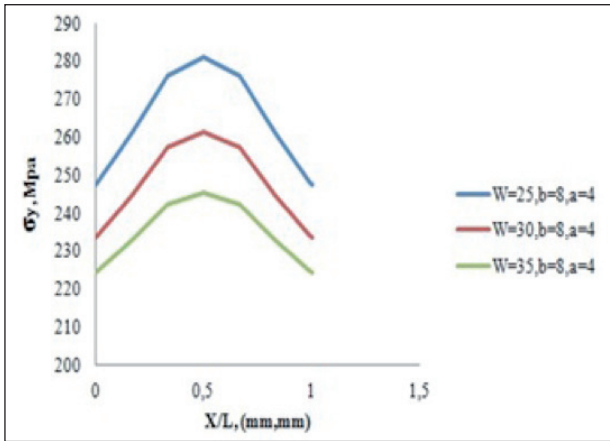
Şekil 29: $b=8$ mm, $a=2$ mm, $a=4$ mm, $a=6$ mm ve $W=35$ mm yamasız AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca elde edile σ_{eqv} , σ_x ve σ_y gerilme dağılımları.



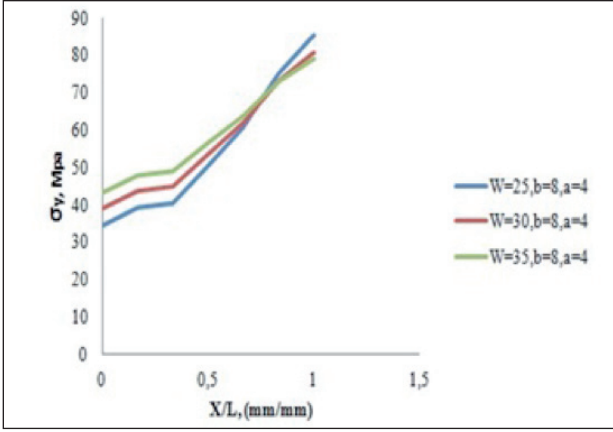
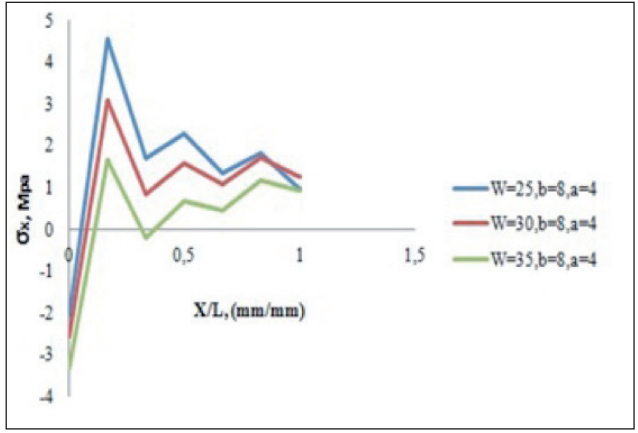
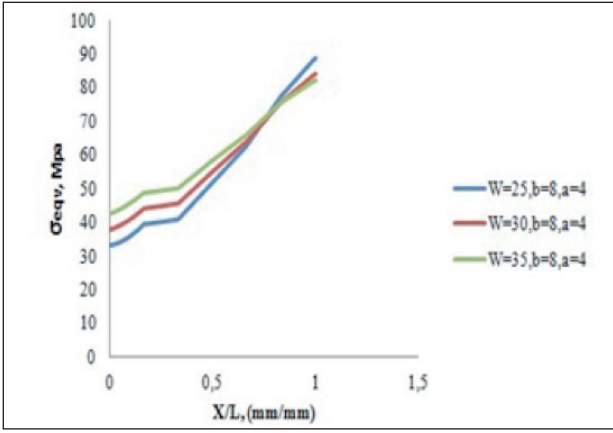
Şekil 30: $b=8$ mm, $a=2$ mm, $a=4$ mm, $a=6$ mm ve $W=35$ mm yamasız AA-5754 alüminyum levhanın AB hattı boyunca elde edile σ_{eqv} , σ_x ve σ_y gerilme dağılımları.



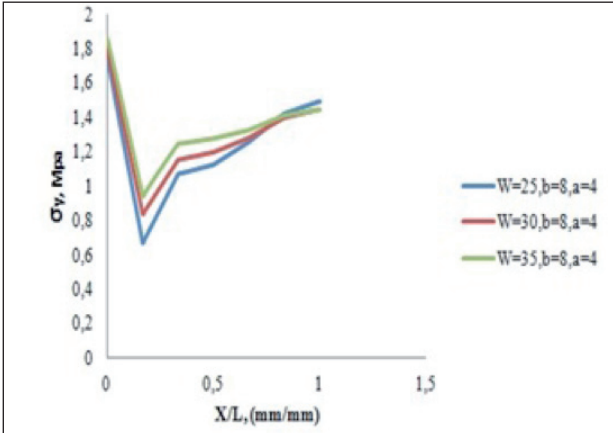
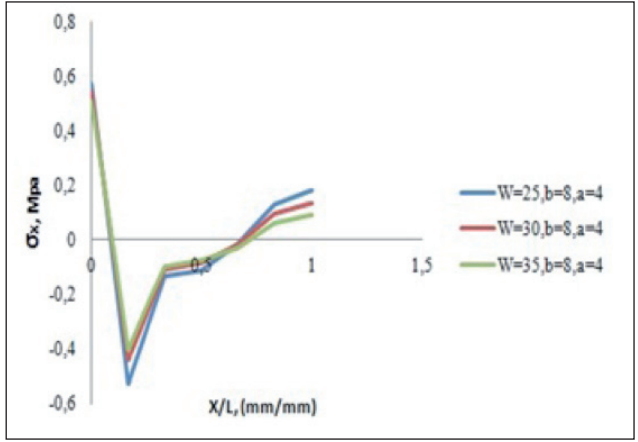
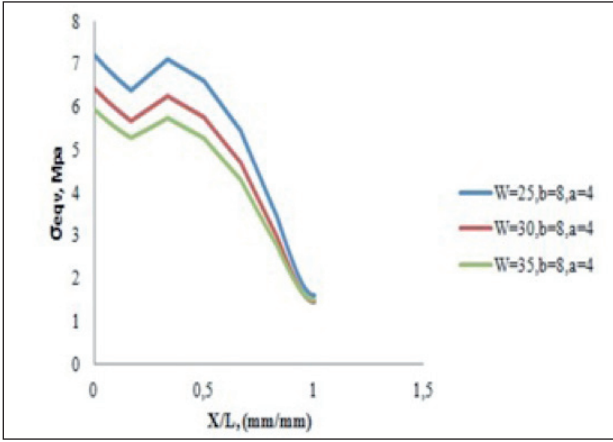
Şekil 31: $b=8\text{mm}$, $a=2\text{mm}$, $W=25\text{mm}$, $W=30\text{mm}$ ve $W=35\text{mm}$ yamasisız AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca elde edilen σ_{eqv} , σ_x , σ_y gerilme dağılımları.



Şekil 32: $b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $W=25\text{mm}$, $W=30\text{mm}$ ve $W=35\text{mm}$ yamalı AA-5754 alüminyum levhanın BC hattı boyunca AL'den elde edilen σ_{eqv} , σ_x , σ_y gerilme dağılımları.



Şekil 33: $b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $W=25\text{mm}$, $W=30\text{mm}$ ve $W=35\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanın AB hattı boyunca AL'den elde edile σ_{eqv} , σ_x , σ_y gerilme dağılımları.



Şekil 34: $b=8\text{mm}$, $a=4\text{mm}$, $W=25\text{mm}$, $W=30\text{mm}$ ve $W=35\text{mm}$ yamasız AA-5754 alüminyum levhanının AB hattı boyunca yapıştırıcı tabakadan elde edile σ_{eqv} , σ_x , σ_y gerilme dağılımları.

Kaynaklar

1. Çitil, Ş. 2012 Ortası Boş Ve Ara Elemanlı Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
2. Temiz, Ş. 2003 Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
3. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyle, Prof. Dr. Selahattin ANIK, Birsen Yayın Evi, 1999 / İstanbul
4. Demirgen, T, (2007). Metal Yapıştırma Bağlantı Performansının Bilgisayar Destekli Modelleme ile İncelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
5. Fekirini H., Bachir Bouiadjra B., Belhouari M., Boutabout B., Serier B., 2007. Numerical analysis of the performances of bonded composite repair with two adhesive bands in aircraft structures. Composite Structures 82, 84–89
6. da Silva, L. F. M., Marques, E. A. S. 2008. Joint Strength Optimization of Adhesively Bonded Patches, J. Adhesion 84, 915–934.
7. Çitil, Ş., (2010). “Kapakları Gömülü Çift Takviyeli Yapıştırma bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
8. Temiz, S., 2006. Application of bi-adhesive in double-strap joints subjected to bending moment. J. Adhesion Sci. Technol. 20, 1547–1560.
9. Bezzerrouki, M., Bachir Bouiadjra, B., Ouinas, D. SIF for Cracks Repaired with Single Composite Patch Having Two Adhesive Bands and Double Symmetric One in Aircraft Structures. Computational Materials Science, 44 : 542-546 (2008).
10. Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A., 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi, Proceedings of 8th International Fracture Conference.
11. Çelik, A., 2015, Turan, K., Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının incelenmesi. Dicle üniv. Mühendislik dergisi, cilt-6 sayı:2,73-82
12. https://en.wikipedia.org/wiki/5754_aluminium_alloy
13. Aydın, M.D., Experimental and theoretical investigation of mechanical properties of the adhesive bonded single lap joint, PhD Thesis, Dept. of Mechanical Eng., University of Atatürk (2003).

Bilgilendirme

Bu yayın Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme Biriminin (BATÜBAP) 2013-MMF-8 nolu projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz