

BASİT BİNDİRMELİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA BİNDİRME BÖLGESİ UÇ AÇI DEĞİŞİMİNİN BAĞLANTI MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

İsmail SARAÇ *

Alınma: 24.01.2020; düzeltme: 25.03.2020; kabul: 29.03.2020

Öz: Yapıştırma bağlantılı tasarımlarda, kritik bölge olan yapıştırıcı bölgesine kayma gerilmesi etki edecek şekilde tasarım yapılması bağlantı mukavemeti açısından tavsiye edilmektedir. Genel olarak, yapıştırma bağlantılarında soyulma gerilmeleri hasarın oluşmasında birinci derecede etkili olmaktadır. Çekme yükü uygulanmış basit bindirmeli bağlantılarda, bindirme uçlarında dönme etkisiyle soyulma gerilmeleri oluşmaktadır. Basit bindirmeli bağlantıların tasarımı yapılırken soyulma gerilmesinin etkisini en aza indirecek şekilde tasarım yapmak bağlantı mukavemetini arttırmak açısından önemlidir. Yapılan bu çalışmada, yapıştırılan malzemelere ait bindirme uçlarını farklı açılarda tasarlanmanın bağlantı mukavemetine etkisini araştırmak amacıyla altı farklı uç açılı (90° , 75° , 60° , 45° , 30° ve 15°) basit bindirme bağlantı modelleri bir sonlu elemanlar analiz programı olan Ansys’de oluşturulmuş ve bağlantıların uygulanan çekme yükü altında lineer olmayan gerilme ve hasar analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda referans modele göre (90° uç açılı model), açılı modellerde bağlantı mukavemetinde artış görülmüştür. Referans modele göre, 15° uç açılı modelde %29,1 oranında bir mukavemet artışı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırma bağlantısı, Sonlu elemanlar analizi, Hasar analizi, Soyulma gerilmesi

Numerical Investigation Of The Effect Of The Overlap End Angle Change On The Joint Strength In Simple Overlap Bonding Joints

Abstract: In adhesive bonded joints, it is recommended to design the bonding region, which is the critical zone, so that the shear stress acts. In general, the peel stresses in the adhesive joints are primarily effective in causing failure. In simple overlap joints with tensile load applied, peel stresses occur in the overlap ends by the effect of rotation. When designing simple overlap joints, it is important to design so as to minimize the effect of peel stress. In this study, in order to investigate the effect of designing the overlapping ends of the bonded materials at different angles on the joint strength, simple overlap connection models with six different tip angles (90° , 75° , 60° , 45° , 30° and 15°) were created in Ansys finite element analysis program and nonlinear stress and failure analysis was performed under the applied tensile load of the joints. As a result of the analysis, it was seen that the bond strength increased in angled models compared to the reference model (90° end angle model). According to the reference model, a strength increase of 29.1% was detected in the 15° end angle model.

Keywords: Adhesive joint, Finite element analysis, Failure analysis, Peeling stress

* Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 68100, Merkez, Aksaray.
İletişim Yazarı: ismailsarac@aksaray.edu.tr

1. GİRİŞ

Endüstride kaynak, perçin, lehim, sıkı geçme ve cıvata gibi geleneksel bağlantı elemanlarının yanı sıra birleştirme elemanı olarak yapıştırıcıların kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Yapıştırıcı ile birleştirmenin diğer bağlantı türlerine göre, değişik tip malzemeleri birleştirme, daha düzgün gerilme dağılımı, birbiri üzerinde çalışan parçaların mikro hareketleri sonucu oluşabilecek fretting korozyonu ve iki farklı metalin birleştirilmesi durumunda ortaya çıkabilecek galvanik korozyonu engellemesi, gerekli durumlarda sızdırmazlık sağlanması, dinamik yüklemelerde darbeleri sönmüleyebilmesi ve yapıları daha hafif hale getirmesi gibi üstün özellikleri bulunmaktadır (Şekercioğlu, 2018).

Yapıştırma bağlantıları, özellikle enerji tasarrufunun ön plana çıktığı otomotiv ve havacılık alanında geleneksel birleştirme yöntemlerine göre sağladığı daha hafif yapılar nedeniyle tercih edilmektedir. Bütün bu avantajlarının yanında yapıştırma bağlantılarının mukavemetini etkileyen pek çok faktör bulunduğu için klasik bağlantı yöntemlerine göre bağlantı mukavemeti hakkında kesin bir şey söylemek zordur. Yapıştırma bağlantılarının mukavemetini doğrudan etkileyen faktörlerden birisi bağlantı geometrisidir.

Yapıştırma bağlantılarında en çok kullanılan bağlantı geometrisi basit bindirmeli bağlantılardır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde basit bindirmeli bağlantılarda, soyulma ve kayma gerilmelerinin bindirme uç bölgelerinde yoğunlaşarak hasar oluşumunda etkin rol oynadığı bir çok çalışmayla gösterilmiştir.

Aydın (2003), yaptığı çalışmada, çekme yükü altındaki basit bindirmeli bağlantılarda farklı malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğu şartlarında bağlantıların mekanik özelliklerini esnek ve yüksek mukavemetli yapıştırıcı kullanarak deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sonuçta esnek yapıştırıcının yüksek malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğunda mukavemeti yüksek olan yapıştırıcının kullanıldığı bağlantılar kadar yük taşıyabildiğini göstermiştir.

Solmaz (2008), farklı bindirme uzunlukları ve uç açıları, yüksek dayanımlı ve düşük dayanımlı iki farklı özellikteki yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları tek tesirli bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini çekme yükü altında deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Sonuçta düşük dayanımlı yapıştırıcı kullanılarak birleştirilen bağlantıların bindirme uzunluğundaki artış ve uç açısı değişimiyle yüksek dayanımlı yapıştırıcı kullanılan bağlantılar kadar yük taşıyabileceğini göstermiştir.

Temiz ve diğ. (2005), film tipi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğu değişiminin bağlantı mukavemetine etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları analizler sonucunda bindirme uçlarındaki soyulma gerilmelerinin hasar oluşumunda etkili olduğunu göstermişlerdir.

Jairaja ve Naik (2019), tek tesirli yapıştırma bağlantı geometrisi kullanarak ürettikleri yapıştırma bağlantılarında, bindirme uçlarında sünek özellikte, bindirme merkez kısmında ise gevrek özellikte yapıştırıcı kullanmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları deneysel ve sayısal analizler sonucunda, çift yapıştırıcılı bağlantıların tek yapıştırıcılı bağlantılara göre dayanımının arttığını belirtmişlerdir.

Hasheminia ve diğ. (2019), farklı tip malzemeleri kullanarak oluşturdukları tek tesirli yapıştırma bağlantılarında bağlantı mukavemetini etkileyen faktörleri deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir.

Reddy ve diğ. (2019), aynı ve farklı tip malzemeleri kullanarak oluşturdukları basit bindirme bağlantılarında deneysel ve sayısal hasar analizi yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları analizler sonucunda aynı tip malzeme kullanılarak yapılan deneylerde hasarın yapıştırıcı tabakasında meydana geldiğini, farklı tip malzeme kullanılarak yapılan deneylerde ise hasarın yapıştırıcı-malzeme ara yüzeyinde oluştuğunu belirtmişlerdir.

Akpınar (2014), çekme yüküne maruz basit bindirmeli bağlantı, tek basamaklı bağlantı ve üç basamaklı bağlantı geometrisinde oluşturduğu yapıştırma bağlantılarının mekanik

özelliklerini deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Sonuç olarak basit bindirmeli bağlantılara göre tek ve üç basamaklı bağlantılarda bindirme uçlarındaki gerilme yığılmalarının azaldığı ve bunun neticesinde ise bağlantı mukavemetinin arttığını tespit etmiştir.

Banea ve diğ. (2018), benzer ve farklı malzemeler kullanılarak üretilmiş basit bindirmeli bağlantıların mekanik özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Özellikle yapısal yapıştırıcı kullanılmış nispeten kısa bindirmeli bağlantılarda bağlantı mukavemetinin yapılandırılan malzeme kombinasyonundan bağımsız olarak yapıştırıcı mukavemetiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda, bindirme uçlarında yapılan değişikliklerin bu bölgelerdeki gerilme yığılmalarını azaltarak bağlantı mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir.

Solmaz ve Turgut (2011), yaptıkları deneysel ve nümerik çalışmada tek tesirli bindirme bağlantılarında bindirme uzunluğu ve bindirme bölgesi iç uç açısı değişiminin bağlantı mukavemetine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak bindirme uzunluğu artışı ve açı artışının bağlantı dayanımını arttırdığını bulmuşlardır.

Çalık (2016), yaptığı çalışmada basit bindirmeli bağlantılarda yapılandırılan malzeme bindirme uçlarındaki şekil değişikliklerinin, bağlantı dayanımına etkisini sonlu elemanlar analizleriyle araştırmıştır. Çalışma sonucunda yapılandırılan malzemelerde bindirme uç bölgelerindeki şekil değişikliklerinin soyulma ve kayma gerilmelerini azaltarak bağlantı dayanımını önemli oranlarda arttırdığını tespit etmiştir.

Pinto ve diğ. (2014), yaptıkları çalışmada, tek tesirli bindirme bağlantılarının bindirme bölgesi uç kısımlarındaki malzeme kalınlığının azaltılması sonucu, soyulma gerilmelerinin etkisinin azaldığını ve bunun sonucunda bağlantı mukavemetinin arttığını deneysel ve sayısal olarak tespit etmişlerdir.

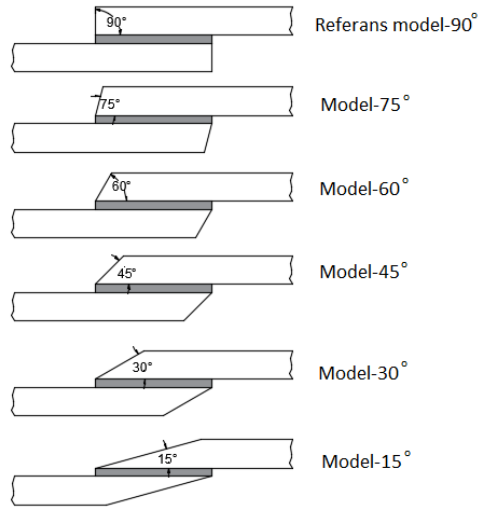
Kırkayak (2019), tek tip ve iki farklı yapıştırıcı kullanarak modellediği, tek tesirli yapıştırma bağlantılarında bindirme uç bölgelerinde gerilme yığılmalarının iki farklı tip (hibrit) yapıştırıcı kullanıldığında azaldığını ve bunun sonucunda bağlantı mukavemetinin arttığını yaptığı sayısal çalışmada göstermiştir.

Basit bindirmeli bağlantılarda, bindirme uçlarında gerilme yığılmalarını azaltmak için kullanılan yöntemlerden birisi de yapılandırılan malzemelerin uç kısımlarında açılı işleyerek pah oluşturmaktır.

Çalık (2016), tarafında yapılan sayısal bir çalışmada, basit bindirmeli bağlantılarda, yapılandırılan malzemelerin bindirme uçları açılı (45°) olarak modellenmiş ve referans olarak belirlenen bindirme uçları düz (90°) olan modelle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modellere uygulanan çekme yükü sonucunda, açılı modelin bindirme uçlarında oluşan soyulma ve kayma gerilmelerinin referans modele göre sırasıyla, 13,9% ve 10,7% oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise; Ansys sonlu elemanlar paket programı kullanılarak oluşturulan basit bindirmeli bağlantılarda yapılandırılan malzemelerin bindirme uçları farklı açılarda modellenerek çekme yükü altında nonlineer gerilme ve hasar analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar referans modelle karşılaştırılmıştır.

2. SONLU ELEMANLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

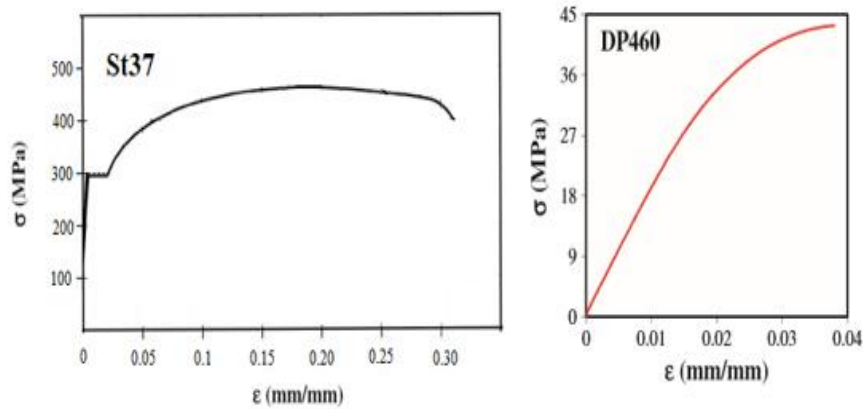
Farklı bindirme uç açılına sahip modeller, ANSYS (2019 R3) sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin uç açıları Şekil 1'de gösterildiği gibi 90° (referans model), 75°, 60°, 45°, 30° ve 15° olarak alınmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla bindirme uzunlukları bütün modellerde eşit alınmıştır. Basit bindirmeli bağlantı modellerinde yapıştırıcı olarak DP460 epoksi yapıştırıcı ve yapılandırılan malzeme olarak ise St37 genel yapı çeliği kullanılmıştır. DP460 epoksi yapıştırıcı ve St37 genel yapı çeliğine ait Tablo 1'de verilen mekanik özellikler programa tanımlanmıştır. Lineer olmayan sonlu elemanlar analizleri, geometrik nonlineerlik ve malzemelerin (DP460 ve St37) tek eksenli çekme testleri sonucu elde edilen ve Şekil 2'de gösterilen nonlineer davranışları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1:
Farklı uç açılı modeller

Tablo 1. DP460 ve St37 mekanik özellikleri (Akpınar,2014; Malag ve Kukielka, 2007)

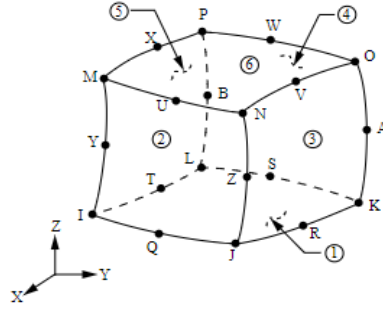
Properties	Materials	
	St37	DP460
E (MPa)	200.000	2.077
ν	0,3	0,38
R _e (MPa)	235	38,4
R _m (MPa)	375	44,6
E _{tan} (MPa)	610	500



Şekil 2:
St 37 ve DP460 σ - ϵ eğrileri (Kossakowski ve Wcislik, 2018; Özel ve diğ., 2014)

Oluşturulan modelleri elemanlara ayırma işlemi yapılan analizin doğruluğunu etkileyen çok önemli bir aşamadır. Eleman boyutu azaldıkça genellikle şekil değiştirme miktarları

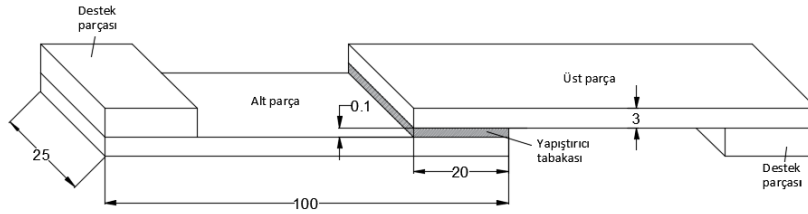
artmaktadır bundan dolayı şekil değiştirme miktarlarının stabil olduğu eleman boyutunun tespit edilmesi gerekmektedir. Yapılan yakınsama işlemleri sonucunda eleman boyutu bütün modellerde 3 olarak alındı. Sonlu elemanlar modellemesinde, Şekil 3'te gösterilen, 3 serbestlik dereceli ve 20 düğüm noktalı solid 186 elemanı kullanılmıştır.



Şekil 3:

Solid 186 eleman (<https://ansyshelp.ansys.com>)

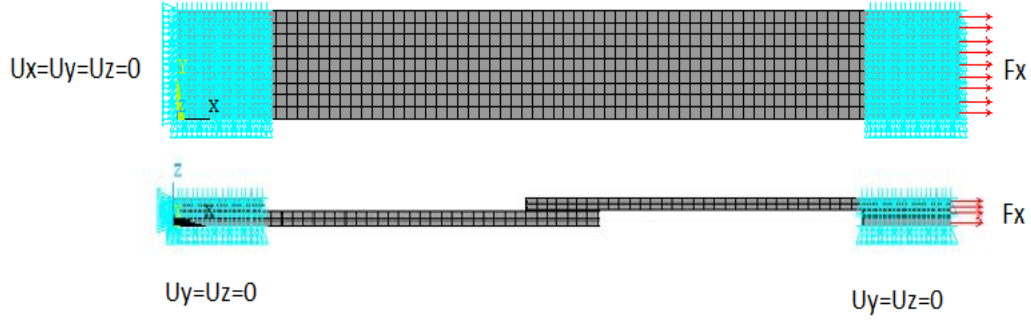
Oluşturulan bütün modellerde bindirme bölgesi uzunluğu 20 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm, yapıştırılan malzeme uzunluğu, genişliği ve kalınlığı sırasıyla 100 mm, 25 mm ve 3 mm olarak sabit alınmıştır. Basit bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, deneysel çalışmalar incelendiğinde, numuneleri çekme cihazlarına eş merkezli bağlayabilmek için numunelerin cihaza bağlandığı kısımlara destek parçaları eklenmektedir. Benzer şekilde bu çalışmada yapılan modellemelerde uç kısımlarda Şekil 4'te gösterildiği gibi destek parçaları oluşturulmuştur.



Şekil 4:

Basit bindirmeli bağlantı geometrik özellikleri

Sınır şartları Şekil 5'te gösterildiği gibi programa tanımlanmıştır. Oluşturulan basit bindirme bağlantı modellerinin hepsine $F_x = 9150$ N çekme yükü uygulanmıştır. Yapıştırma bağlantılarının sayısal hasar yüklerini tespit etmek için Ansys programı içerisinde tanımlı olan hasar kriterleri içerisinde yer alan maksimum gerilme teorisi kullanılmıştır. Bu teoriye göre, oluşan gerilmeler lokal eksenlerde çekme, basma ve kayma gerilmesi bileşenlerine ayrılmaktadır. Bu gerilme bileşenlerinden birisi normal veya kayma mukavemetini aşarsa malzemede hasarın olduğu kabul edilmektedir. St37 için çeki ve bası durumları için normal gerilme mukavemet değerleri ± 375 MPa, kayma gerilmesi mukavemet değeri 187,5 MPa, DP460 epoksi yapıştırıcı için çeki ve bası durumları için normal gerilme mukavemet değerleri $\pm 44,6$ MPa, kayma gerilmesi mukavemet değeri 33,35 MPa (Aydın ve diğ., 2015) olarak programa tanımlanmıştır.



Şekil 5:
Basit bindirmeli bağlantı sınır şartları

3. ANALİZ SONUÇLARI ve TARTIŞMA

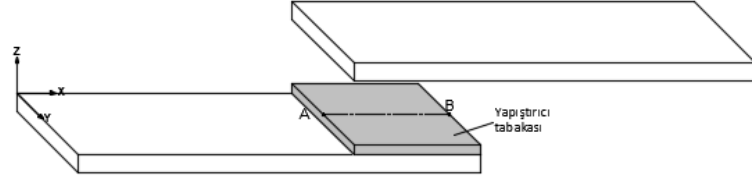
Bu çalışmada, Ansys sonlu elemanlar paket programı kullanılarak oluşturulan basit bindirmeli bağlantılarda, yapıştırılan malzemelerin bindirme uçları farklı açılarda modellenerek çekme yükü altında nonlineer gerilme ve hasar analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar referans modelle karşılaştırılmıştır. Basit bindirmeli bağlantılarda hasar analizi kritik bölge olan yapıştırıcı tabakası için yapılmıştır. Yapılan hasar analizinde maksimum gerilme hasar kriteri kullanılmıştır. Analiz sonucunda her model için Tablo 2’de gösterilen hasar indeksleri bulunmuştur. Hasar indeksi nümerik hasar yüklerini tespit edebilmek için kullanılan basit bir sayıdır. Sonlu elemanlar hasar yükleri yapıştırma bağlantılarına uygulanan yüklerin hasar indekslerine bölünmesiyle bulunmuştur. Örneğin Model-15° için sonlu elemanlar hasar yükü Tablo 2’ye göre $9150/0,98091=9328$ N olmaktadır.

Tablo 2. Modellerin hasar indeksleri ve sonlu elemanlar hasar yükleri

Modeller	Uygulanan yük(N)	Hasar indeksi	Sonlu elemanlar hasar yükü (N)
Ref. model-90°	9150	1,26631	7225
Model-75°	9150	1,23953	7381
Model-60°	9150	1,18078	7749
Model-45°	9150	1,03962	8801
Model-30°	9150	0,99274	9217
Model-15°	9150	0,98091	9328

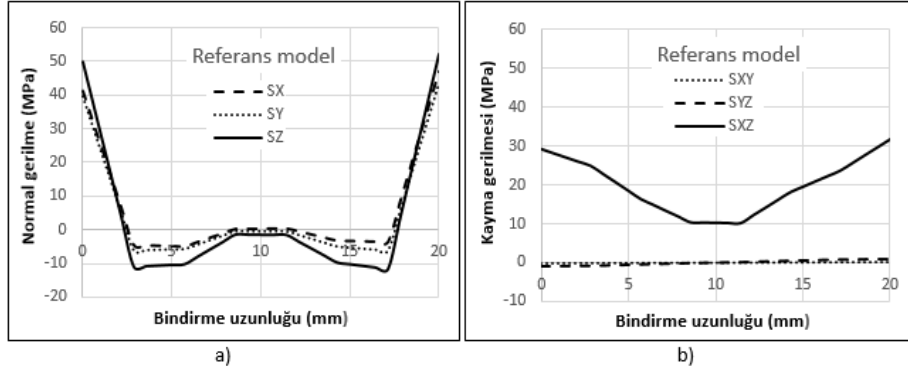
Basit bindirmeli bağlantılarda, çekme yükü altında yapılan gerilme analizleri sonucunda görüldüğü gibi bindirme uçlarında oluşan gerilme yığılmaları hasarın bindirme uçlarından başlamasına sebep olmaktadır. Tablo 2’de gösterildiği gibi referans modele göre diğer modellerde hasar yükü artmıştır. Bunun sebebi bindirme uçlarındaki gerilme yığılmalarının azalmasıdır. Maksimum sayısal hasar yükü model-15°’de 9328 N olarak bulunmuştur. Mukavemet artışı referans modele göre, model-75°, model-60°, model-45°, model-30° ve model-15°’de sırasıyla %2,1, %7,2, %21,8, %27,5 ve %29,1 olarak gerçekleşmiştir. Sonlu elemanlar gerilme analizleri, yapıştırma bağlantılarında kritik bölge olan yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeyinde, yapıştırıcı tabakasında gerçekleştirilmiştir. Basit bindirmeli yapıştırma bağlantılarında bağlantının eksantrikliğinden dolayı, bindirme bölgesinde oluşan moment etkisiyle bindirme uçlarında oluşan soyulma gerilmelerinin (σ_z) ve kayma gerilmelerinin (τ_{xz}) hasar oluşumunda diğer gerilmelere göre daha etkili olduğu ve yapıştırma bağlantı tasarımlarında mümkün olduğu kadar soyulma gerilmelerinin etkisini azaltmak önemli oranda bağlantı mukavemetini arttırdığı literatürde belirtilmektedir. Bu çalışmada, yapıştırılan

malzemelerin bindirme uçlarındaki açı değişiminin, gerilme dağılımına etkisini anlamak amacıyla, bütün modellerdeki yapıştırma tabakasındaki Şekil 6'da belirtilen A-B hattında yer alan düğüm noktalarındaki normal ve kayma gerilme dağılımları Şekil 7-12'de verilen grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 7-12'de verilen grafiklerde elde edilen gerilme dağılımları, karşılaştırma yapabilmek amacıyla bütün modeller için 9150 N göre bulunmuştur. Grafikler incelendiğinde yapıştırılan malzemenin bindirme ucundaki yatay eksenle yapılan açı azaldıkça bindirme uçlarındaki normal gerilmeler azalırken kayma gerilmelerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Özellikle hasar oluşumunda etkili olan soyulma gerilmesi (σ_z), referans modeldeki maksimum değeri 55 MPa olarak hesaplanırken, model-15°'de yaklaşık olarak 13 MPa'a kadar düşmüştür. Bütün modellerde τ_{xz} kayma gerilmesi maksimum değeri alırken, τ_{xy} ve τ_{yz} kayma gerilmeleri sifıra yakın çıkmıştır. Bindirme uçlarındaki açı değişimi özellikle hasar oluşumunda çok etkili olan soyulma gerilmelerinin etkisini azaltarak bindirme bölgesinde daha homojen bir gerilme dağılımının oluşmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda ise bağlantı mukavemeti artmıştır.



Şekil 6.

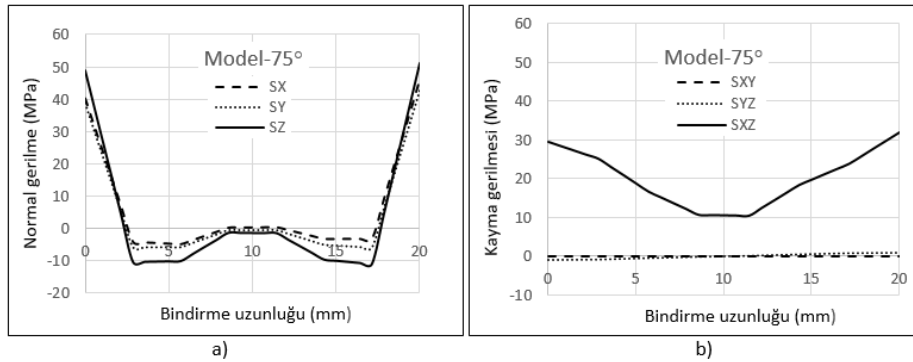
Gerilme analizinin yapıldığı hat



Şekil 7.

Referans model A-B hattı gerilme dağılımı

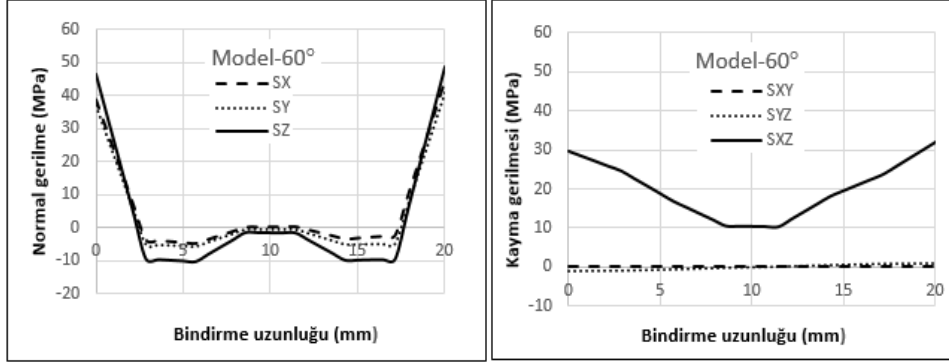
a. Normal gerilme dağılımı b. Kayma gerilme dağılımı



Şekil 8.

Model-75° A-B hattı gerilme dağılımı

a. Normal gerilme dağılımı b. Kayma gerilme dağılımı



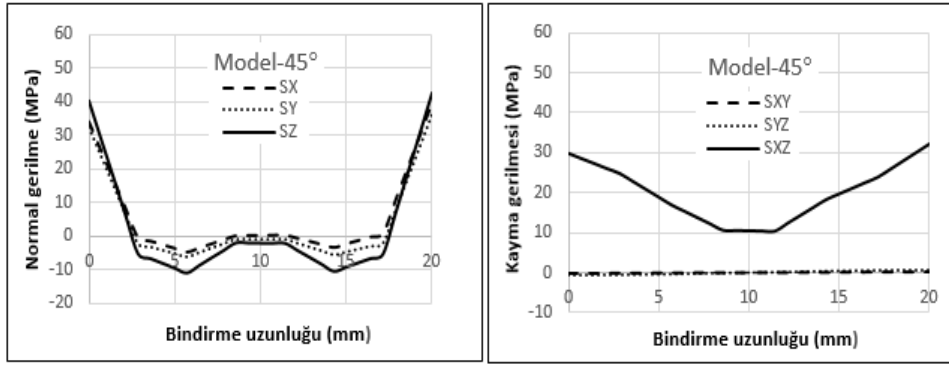
a)

b)

Şekil 9.

Model-60° A-B hattı gerilme dağılımı

a. Normal gerilme dağılımı b. Kayma gerilme dağılımı



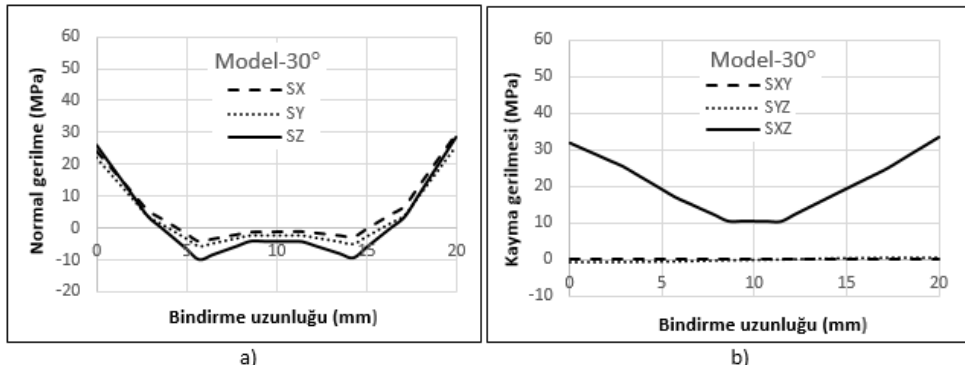
a)

b)

Şekil 10.

Model-45° A-B hattı gerilme dağılımı

a. Normal gerilme dağılımı b. Kayma gerilme dağılımı



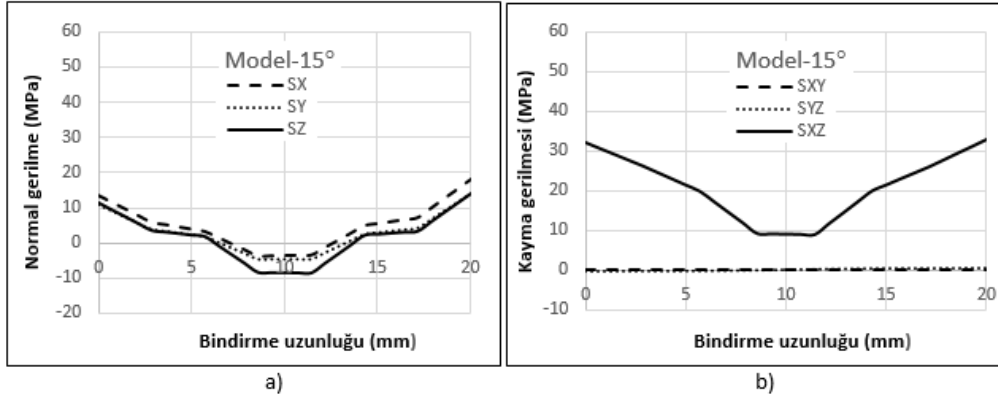
a)

b)

Şekil 11.

Model-30° A-B hattı gerilme dağılımı

a. Normal gerilme dağılımı b. Kayma gerilme dağılımı



Şekil 12
Model-15° A-B hattı gerilme dağılımı
a. Normal gerilme dağılımı **b.** Kayma gerilme dağılımı

4. GENEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, yapıştırılan malzemelere ait bindirme uçlarını farklı açılarda tasarlanmanın bağlantı mukavemetine etkisini araştırmak amacıyla altı farklı uç açılı (90° , 75° , 60° , 45° , 30° ve 15°) basit bindirme bağlantı modelleri bir sonlu elemanlar analiz programı olan Ansys’de oluşturulmuş ve bağlantıların uygulanan çekme yükü altında lineer olmayan gerilme ve hasar analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıda verilen genel sonuçlar bulunmuştur.

Yapıştırılan malzemenin bindirme ucundaki yatay eksenle yapılan açı azaldıkça bindirme uçlarındaki normal gerilmeler azalırken kayma gerilmelerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bunun sonucunda bindirme uçlarındaki gerilme yığılmaları azalmıştır.

Bütün modellerde τ_{xz} kayma gerilmesi maksimum değeri alırken, τ_{xy} ve τ_{yz} kayma gerilmeleri sıfıra yakın çıkmıştır.

Bindirme uçlarındaki açı değişimi özellikle hasar oluşumunda çok etkili olan soyulma gerilmelerinin etkisini azaltarak bindirme bölgesinde daha homojen bir gerilme dağılımının oluşmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda ise bağlantı mukavemeti artmıştır.

Oluşturulan modeller arasında karşılaştırıldığında en fazla en fazla mukavemet artışı referans modele göre %29,1 oranıyla model- 15° ’de hesaplanmıştır.

Uç açısının mukavemet artışına etkisi, model- 45° , model- 30° ve model- 15° ’de model- 60° ve model- 75° ’ye oranla daha fazla gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

1. Akpınar, S. (2014) The strength of the adhesively bonded step-lap joints for different step Numbers, *Composites Part B*, 67, 170–178. doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.06.023
2. ANSYS, The general purpose finite element software (ANSYS 19 R3) *Swanson Analysis Systems, Inc.*, Houston, Texas.
3. Aydın, M.D. (2003) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek eksenli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi, *Doktora Tezi*, Erzurum.
4. Aydın, M.D., Akpınar, S., Özel, A., Erdoğan, S. (2015) Kayma yüküne maruz yapıştırma bağlantılarından yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Mühendis ve Makine*, 56(668), 48-55.

5. Banea, M.D., Rosioara, M., Carbas, R.J.C., da Silva, L.F.M. (2018) Multi-material adhesive joints for automotive industry, *Composites Part B*, 151, 71–77. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.06.009
6. Çalık, A. (2016), Effect of adherend shape on stress concentration reduction of adhesively bonded single lap joint, *Engineering Review*, 36, 29-34. doi.org/10.12989/acd.2018.3.2.133
7. Hasheminia, S.M., Park, B.C., Chun, H.J., Park, J.C., Chang, H.S. (2019), Failure mechanism of bonded joints with similar and dissimilar material, *Composites Part B*, 161, 702–709. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.016
8. <https://ansyshelp.ansys.com>, Erişim Tarihi: 16.01.2020, Konu: Solid 186 Element.
9. Jairaja, R., Naik, G.N., (2019). Single and dual adhesive bond strength analysis of single lap joint between dissimilar adherends. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 92, 142–153. doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.04.016
10. Kırkayak, L. (2019), Yapıştırma bağlantılı kompozitlerde yapıştırma geometrisinin gerilme dağılımına etkisi, *Pamukkale Üniv Muh Bilim Derg*, 25(1), 27-33.
11. Kossakowski, P.G., Wcislik, W. (2018), Numerical simulation of material damage for structural steels S235JR and S355J2G3, *Advances in Computational Design*, 3(2), 133-146.
12. Malag, L., Kukielka, L. (2007), Hybrid method to determinate the states of deformation and stress in material during the tensile test, *Proc. Appl. Math. Mech.* 7, 2090025–2090026. DOI 10.1002/pamm.200701099
13. Ozel, A., Yazıcı, B., Akpınar, S., Aydın, M.D., Temiz, Ş. (2014), A study on the strength of adhesively bonded joints with different adherends, *Composites Part B*, 62, 167-174. doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.03.001
14. Pinto, A.M.G., Ribeiro, N.F.Q.R., Campilho, R.S.D.G., Mendes, I.R. (2014), Effect of Adherend Recessing on the Tensile Strength of Single Lap Joints, *The Journal of Adhesion*, 90, 649–666. doi.org/10.1080/00218464.2013.766132
15. Redya, N.S., Jinaga, U.K., Charukua, B.R., Penumakala, P.K., Prasad, A.V.S. (2019), Failure analysis of AA8011-pultruded GFRP adhesively bonded similar and dissimilar joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 90, 97–105. doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.02.004
16. Solmaz M.Y, Turgut A. (2011), An experimental and numerical study on the effects of taper angles and overlap length on the failure and stress distribution of adhesivelybonded single lap joints, *Math Comput Appl*, 16, 159–70. doi.org/10.3390/mca16010159
17. Solmaz, M.Y. (2008), Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, Elazığ.
18. Şekercioğlu, T. (2018), Makine Elemanları Hesap Şekillendirme, *Birsen yayın evi*, 96-97.
19. Temiz Ş, Özel A, Aydın M.D. (2005), The effect of adherend thickness on the failure of adhesively bonded single lap joints, *J Adhes Sci Technol*, 19(8), 705–18. doi.org/10.1163/1568561054890499