

**Atf İçin:** Uzun M, Akçadağ B, 2022. Sikloid, Episikloid, Evolvent, 45° Eğri Yüzeylerin Yapıştırılması ve Mekanik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Araştırılması. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 990-1002.

**To Cite:** Uzun M, Akçadağ B, 2022. Bonding of Cycloid, Epicycloid, Involute, 45° Curved Surfaces and Investigation of Mechanical Properties by Finite Element Method. Journal of the University Institute of Science and Technology, 12(2): 990-1002.

## Sikloid, Episikloid, Evolvent, 45° Eğri Yüzeylerin Yapıştırılması Ve Mekanik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Araştırılması

Mahir UZUN<sup>1\*</sup>, Bahar AKÇADAĞ<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, farklı yüzey geometrisine sahip sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğriler matematiksel formüller yardımıyla Solidworks programında modellenmiştir. Oluşturulan eğri yüzeyli uç uca yapıştırılan yapıştırma bağlantı modellerinin ANSYS analiz programında mesh işlemi yapılmıştır. Bu işlemten sonra bağlantı numunelerinin çekme ve eğme sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Analizler esnasında yapıştırılan malzeme olarak St52 yapı çeliğinin malzeme özellikleri tanımlanmıştır. 45 derece eğri yüzeye sahip numunelerde, yapıştırıcı bağlantıların hasar yükü bulunmuş ve daha sonra bu hasar yükü referans alınarak diğer eğri yüzeye sahip numunelere de sırasıyla uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum eğme dayanımına sahip olan eğri yüzeyin, 45 derece eğri yüzey olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eğri yüzey, çekme analizi, eğme analizi, yapıştırıcı, sonlu elemanlar, hasar yükü

### Bonding of Cycloid, Epicycloid, Involute, 45° Curved Surfaces and Investigation of Mechanical Properties by Finite Element Method

**ABSTRACT:** In this study, cycloid, epicycloid, involute and 45 degree curves with different surface geometries were modeled in Solidworks program with the help of mathematical formulas. Meshing process was performed with the ANSYS analysis program of the curved surface models created. After this process, tensile and bending finite element analysis of the test samples were made. During the analyses, the material properties of the St52 structural steel were defined as the test sample. In the samples with 45 degree curved surface, the damage load of the adhesive interface was found and then this damage load was applied to the other curved surface samples, respectively. As a result of the analysis, it was determined that the curved surface with the maximum tensile and maximum bending strength is a 45 degree curved surface.

**Keywords:** Curved surface, tensile analysis, bending analysis, adhesive, finite elements, damage load

<sup>1</sup>Mahir UZUN ([Orcid ID: 0000-0002-0907-6875](https://orcid.org/0000-0002-0907-6875)), Bahar AKÇADAĞ ([Orcid ID: 0000-0001-8597-3351](https://orcid.org/0000-0001-8597-3351)), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mahir UZUN, e-mail: mahir.uzun@inonu.edu.tr

Bu çalışma Bahar AKÇADAĞ'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

## GİRİŞ

Yapıştırma yönteminin; diğer birleştirme yöntemleriyle kıyaslandığında, kolay uygulanması, malzemenin kristal yapısında farklılığa neden olmaması, malzemede gerilme yığılması oluşturmaması gibi pek çok avantaja sahip olduğu bilinmektedir. Literatürde yapıştırıcılarla yapılan birçok çalışmada, yapıştırıcı çeşitlerinin kıyaslanması, yapıştırılan yüzeylerin karşılaştırılması, malzemeyi açılı yapıştırmanın çekme mukavemetine etkisi, farklı bindirmenin çekme mukavemetine etkileri, farklı yapıştırıcının yapışmaya etkisi, farklı uç açılarının bağlantının mukavemetine etkisi, yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi gibi pek çok çalışma mevcuttur. Yapılan bir çalışmada farklı yapısal yapıştırıcılar literatürdeki alternatifleriyle karşılaştırılmış ve kayma gerilmesi analizi yapılmıştır. Hangi yöntemin mekanik özellikleri belirlemede etkili olduğu araştırılmıştır. Thick Adherend Shear Test (TAST) yönteminin, yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir (Aydın ve ark., 2015). Borularda eğrisel yüzey oluşturulup yapıştırıldıktan sonra iç basınca maruz bırakılarak düz yüzey ve açılı yüzeyler karşılaştırılmıştır. Eğrisel yüzeylerde eğrilik yarıçapı, boru cidar kalınlığı ve bindirme uzunluğunun mukavemet üzerinde etkisi incelenmiştir. Eğrisel yüzeylerde yayın uzunluğu arttıkça yapıştırıcının uygulandığı yüzeyin alanı ve iç basınç artmıştır (Çitil ve Bozkurt, 2017). Yapıştırılan malzemenin bindirme uçlarını farklı açılarda (90, 75, 60, 45, 30 ve 15 derece) tasarlayıp bu açılarının bağlantının mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, kullanılan altı farklı uç açılı modelin ANSYS'de gerilme ve hasar analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda modeller karşılaştırıldığında en fazla mukavemet artışı %29,1 oranıyla model 15 derecede tespit edilmiştir (Saraç, 2020). Farklı türden yapıştırıcılar kullanılmış, yapıştırıcıların içerisine titanyum oksit ve alüminyum dioksit karıştırılıp elde edilen tek tesirli bindirme bağlantılarının mekanik özellikleri çeki yükü altında deneysel olarak incelenmiştir. Hasar yükü arttıkça kuvvet şekil değiştirme eğrileri olumlu etki göstermiştir (Akpınar, 2016). Elastik modülleri farklı olan yapıştırıcılar belirli yapıştırma türlerinde hibrit olarak bir araya getirildikten sonra oluşturulan yapıştırılmalı bağlantının bindirme bölgesindeki soyulma ve kayma gerilmelerine olan etkileri incelenmiştir. Hibrit olarak bir araya getirilen yapıştırılmalı bağlantıların soyulma ve kayma gerilmelerinde önemli azalma görülmüştür (Kırkayak, 2019). Hasara uğrayan galvanizli çelik boruların tamir edilmesinde çelik, alüminyum ve kompozit olmak üzere üç farklı yama malzemesi kullanılarak yapıştırıcı üzerinde nasıl bir mekanik davranış sergileyeceği araştırılmıştır. Sonuç olarak hasara uğrayan galvanizli boruların tamirinde; malzemenin cinsi, yama kalınlığı ve bindirme açısı önemli etki gösterirken, bindirme uzunluğunun çok fazla etkisinin olmadığı gözlenmiştir (Çitil, 2017). Epoksi ve akrilik bazlı yapıştırıcılar incelenmiştir. Yapıştırıcılar kıyaslandığında çekme mukavemeti maksimum olan 42 MPa ile akrilik bazlı yapıştırıcı Erde GTS olarak tespit edilmiştir (Aydın ve ark., 2011). Bir başka çalışmada ise yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deneysel yöntemler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bir yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilirken; uygun yöntemin seçimi o yapıştırıcının şekil değiştirme oranına, uygun numunelerin elde edilebilirliğine ve ölçümde kullanılan aparatlara bağlıdır (Aydın ve ark., 2004). Cam elyaf kompozit malzemelerin alüminyum plaka ile yapıştırılmasında kullanılan farklı yapıştırıcı türlerinin mekanik özellikler üzerine olan etkisi, deneysel olarak araştırılmıştır. Karbonkleber CG-49 tipi epoksi yapıştırıcı bağlantılarının daha yüksek mukavemetli olduğu belirlenmiştir (Çakır ve Kınay, 2016). Çok duvarlı karbon nanotüp ilave edilmiş, epoksi yapıştırıcıda nanotüp oranının ve yüzey pürüzlülüğünün yapışma mukavemetine etkisi belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda yapışma mukavemetinde artış sağlandığı tespit edilmiştir (Aydın ve Fertelli, 2018). Bazı yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaç

edinilmiştir. Çekme deneyi sonucunda yapıştırıcıların mekanik değerleri bulunmuştur. Burada yapıştırıcıların elastik şekil değişimi gösterdikleri görülmüştür (İşcan ve ark., 2012). Yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerini tespit edebilmek için analizler yapılmıştır. Çeki yüküne maruz bırakılarak test edilmiştir. Sonuç olarak gerilmeler açısından 2 boyutlu ve 3 boyutlu çözümler arasında büyük farklılıklar olduğu ve deneylerden elde edilen sonuçların 3 boyutlu çözümlerden elde edilen sonuçlara daha yakın olduğu gözlemlenmiştir (Akpınar ve Aydın, 2012). Epoksi yapıştırıcıların içerisine karbon nanopartikül parçalarının eklenmesiyle oluşturulan yapıştırma bağlantılarında, nanopartikül oranının pürüzlü yüzeylerdeki yapışma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda nanopartiküllerin belirli bir orana kadar yapışma dayanımına olumlu etki gösterdiği, sonrasında ise bu etkilerinin azaldığı görülmüştür (Aydın, 2019). Bindirme bağlantılarının kenarlarında oluşan yapıştırıcı birikintilerinin uç açılara bağlı olarak mukavemete etkisi incelenmiştir. Sonuçta aynı yükleme şartları için dalgalı bindirmenin daha avantajlı olacağı görülmüştür (Solmaz ve Yıldırım, 2018). Çift takviyeli yamaları gömülü olan yapıştırma bağlantılarının eğilmeye maruz kalması sonucundaki davranışı ve yapıştırma bağlantılarındaki parça kalınlığına etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak parça kalınlığı arttıkça gerilmelerin azaldığı görülmüştür (Ayaz ve Temiz, 2012). Epoksi yapıştırıcının içine %2 oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikül katkısız epoksi yapıştırıcıyla kullanılarak tek tesirli bindirme bağlantıları oluşturulmuş ve bu bağlantıların mekanik özellikleri çekme yükü altında 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme boylarında deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak bindirme boylarının artması, yapıştırma alanını arttırdığından dolayı bağlantıların hasar yükünün artmasına sebep olmuştur. Bindirme boylarının artışı aynı zamanda bağlantıların kayma hasar gerilmesini azaltmıştır (Saraç ve ark., 2016).

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğrisel yapışma yüzeylerine sahip levhalar Solidworks programında tasarlanmıştır. Bu eğrilere sahip yüzeyler yapıştırıldıktan sonra mekanik özelliklerinden çekme ve üç nokta eğme dayanımı, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS paket programı ile belirlenmiş ve kıyaslanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada öncelikle sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğriler matematiksel bağıntılar yardımıyla Solidworks paket programı kullanılarak modellenmiştir.

Sikloid eğri denklemi;

$$x = r(t - \sin t) \quad (1)$$

Episikloid eğri denklemi;

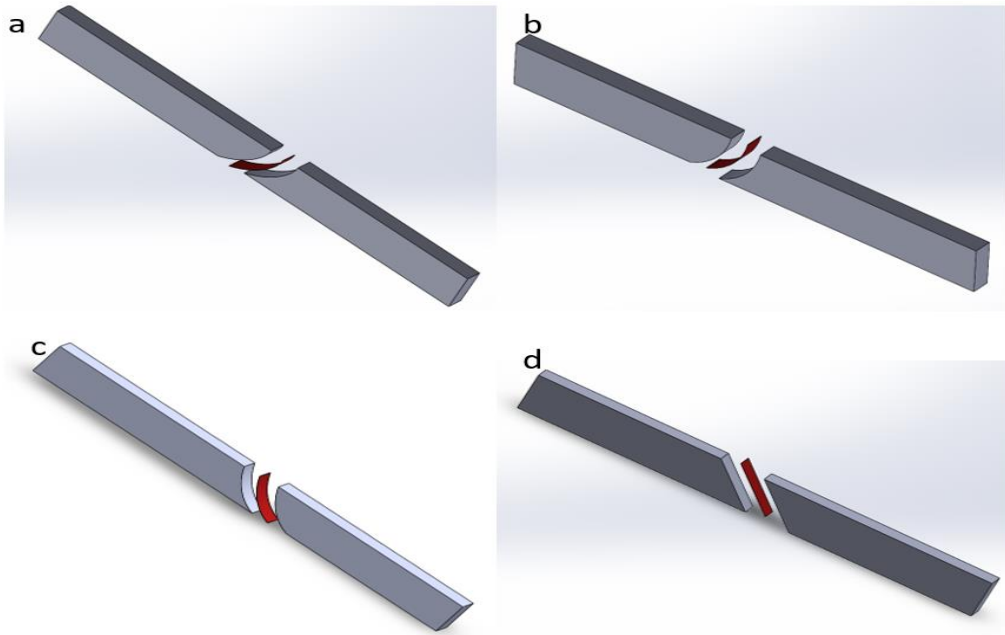
$$x = r(k + 1)\cos t - r\cos(k + 1)t \quad (2)$$

Evolvent eğri denklemi ;

$$x = r(\cos t + (t - a)\sin t) \quad (3)$$

şeklindedir. 1, 2 ve 3 nolu denklemlerde  $x$ ,  $x$  kordinatındaki apsisi (mm),  $r$  yarıçap değerini,  $0 \leq t \leq 2\pi$  koşuluna bağlı olarak  $t$  hareket eden noktanın açısai değerini (derece),  $k$  katsayıyı,  $a$  orjine (0,0) olan uzaklığı ifade eder.

Denklem 1 kullanılarak Solidworks paket programında sikloid eğri oluşturulmuş, daha sonra bu eğri kullanılarak sikloid parça ile yapıştırıcı modeli oluşturulmuş ve bunlar birleştirilerek analiz parçası simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Aynı şekilde sırasıyla Denklem 2 yardımıyla episikloid yüzeyli analiz parçası (Şekil 1 b), Denklem 3 kullanılarak da evolvent eğri yüzeyli analiz parçası (Şekil 1c) ile birlikte 45 derece eğri yüzeye sahip analiz parçası (Şekil 1d) simülasyonları oluşturulmuştur.



Şekil 1. Modellenmiş analiz parça simülasyonları

Solidworks paket programında, modeli oluşturulan eğri yüzeyli uç uca yapıştırılmış yapıştırma bağlantılarının ANSYS programında analizlerinin yapılabilmesi için mesh işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mesh işlemi yapılırken, farklı mesh teknikleri denenerek mesh kalitesi açısından en uygun meshin edge sizing olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Analizler yapılırken deney numuneleri olarak St52 yapı çeliğinin mekanik özellikleri ANSYS kütüphanesinden alınmıştır (Çizelge 1). Yapıştırıcı türü olarak metallerin yapıştırılmasında oldukça verimli, hızlı mukavemet yapısına sahip 3M markasına ait Dp8405 nolu akrilik yapıştırıcı kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. St52 Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri

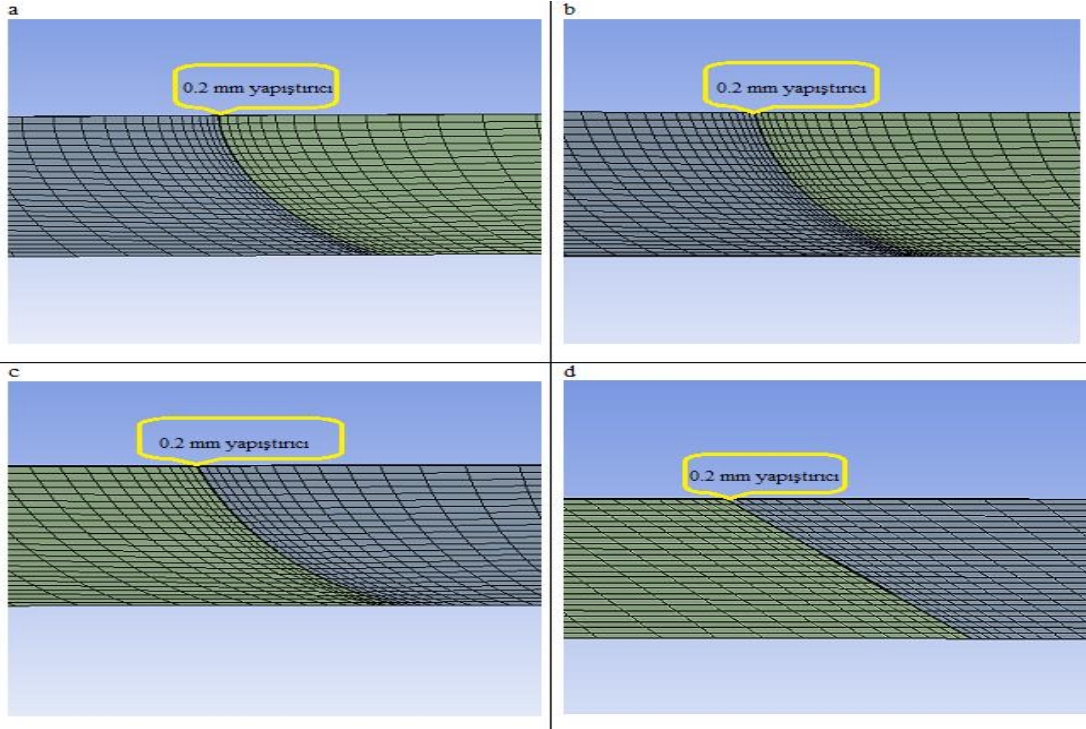
ÖZELLİKLER	
Yoğunluk	7 850 kg m <sup>-3</sup>
Young Modülü	2E+5 MPa
Poisson Oranı	0.3
Bulk Modülü	16 667E+5 MPa
Kayma Modülü	76 923E+4 MPa

Çizelge 2. Dp8405 Yapıştırıcınının Mekanik Özellikleri

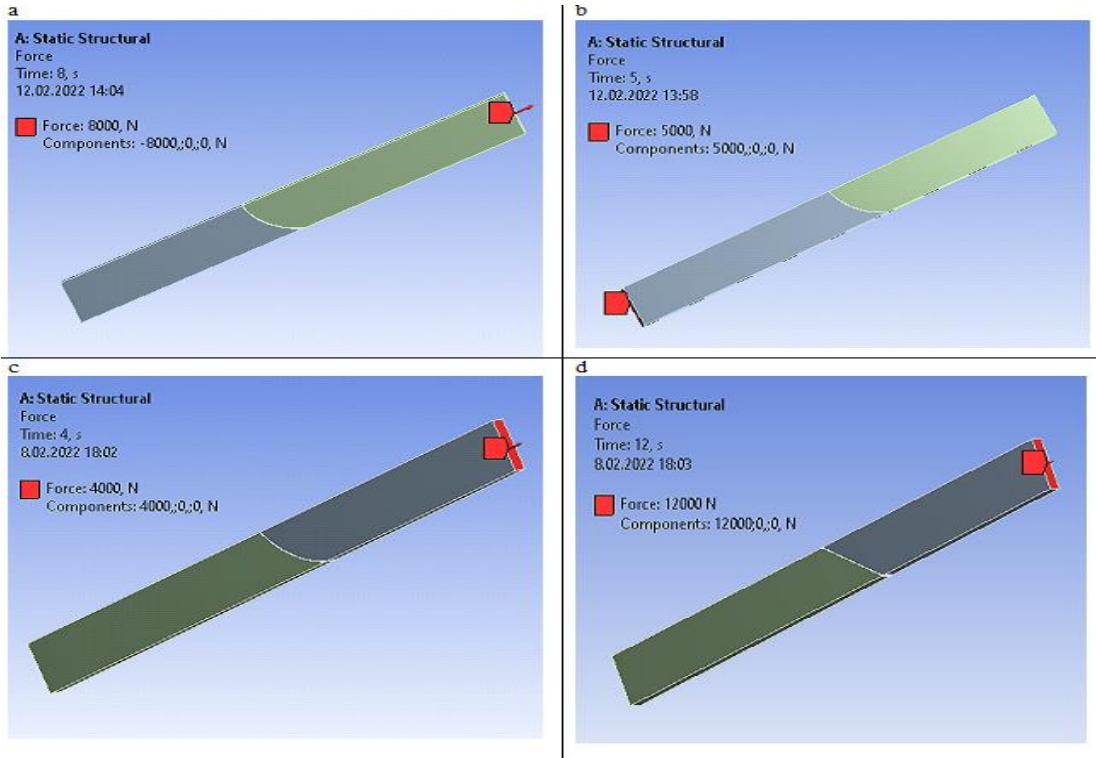
ÖZELLİKLER	
Yoğunluk	1 030 kg m <sup>-3</sup>
Young Modülü	62E+02 MPa
Poisson Oranı	0.3
Bulk Modülü	51 667E+02 MPa
Kayma Modülü	23 846E+02MPa

Çekme analizleri için sikloid (Şekil 2a), episikloid (Şekil 2b), evolvent (Şekil 2c) ve 45 derece eğri (Şekil 2d) yüzeylere sahip modellerde, mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra analiz için gerekli olan sınır şartları tek tek tanımlanmış ve kuvvet step (time) şeklinde girilerek yapıştırıcı üzerinde akma gerilmesi 16,5 MPa'a yakın olan yük, hasar yükü olarak alınmıştır (Şekil 3).



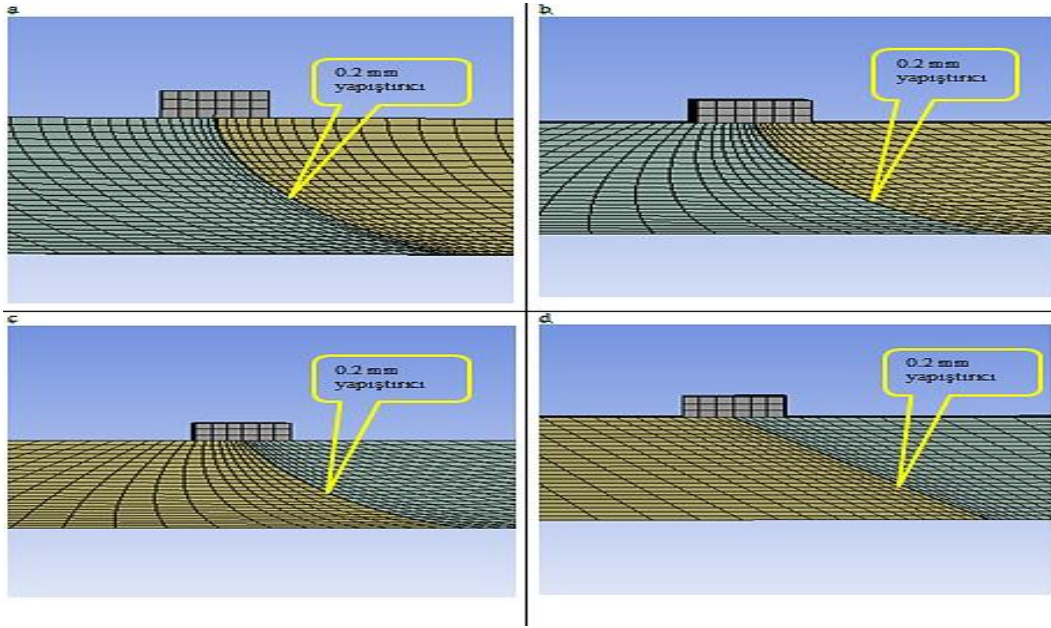


Şekil 2. Eğri yüzeyli parça mesh modelleri

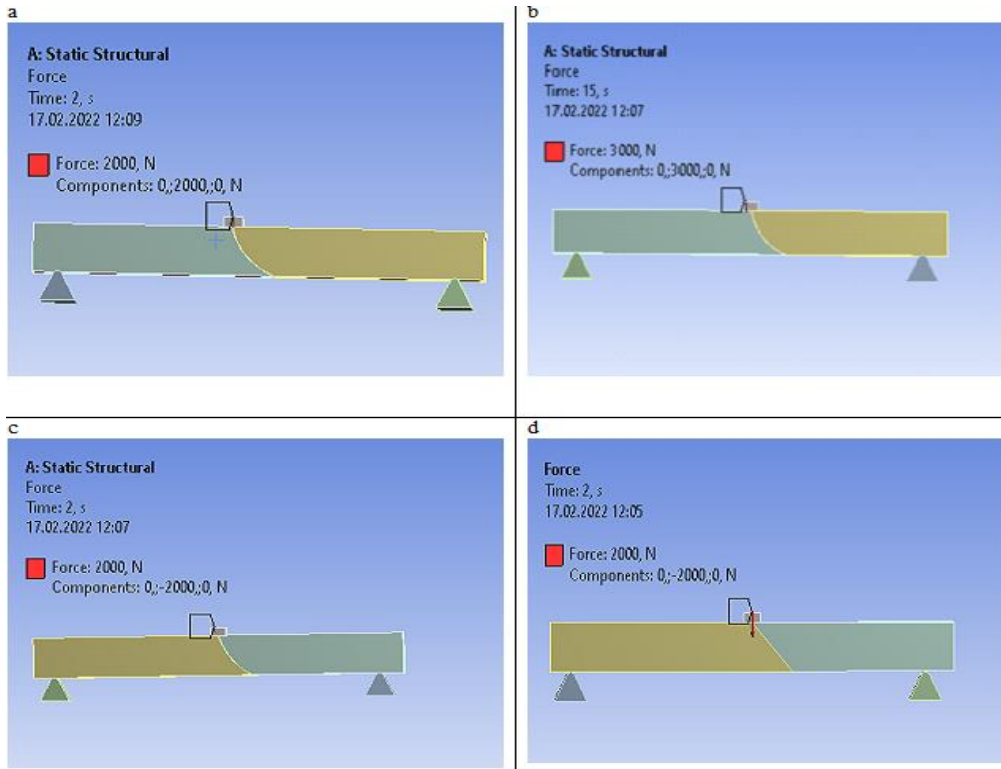


Şekil 3. Sınır şartları belirlenmiş ANSYS eğri yüzeyli çekme parça modelleri

Üç nokta eğme analizi için benzer sikloid (Şekil 4a), episikloid (Şekil 4b), evolvent (Şekil 4c) ve 45 derece (Şekil 4d) eğri yüzeylerde şekilde mesh optimizasyonu yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra gerekli olan sınır şartları tanımlanmış, analiz kuvveti step şeklinde girilerek yapıştırıcının akma gerilmesi 16,5 MPa'a yakın olan yük, hasar yükü olarak alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Eğri yüzeyli parça mesh modelleri

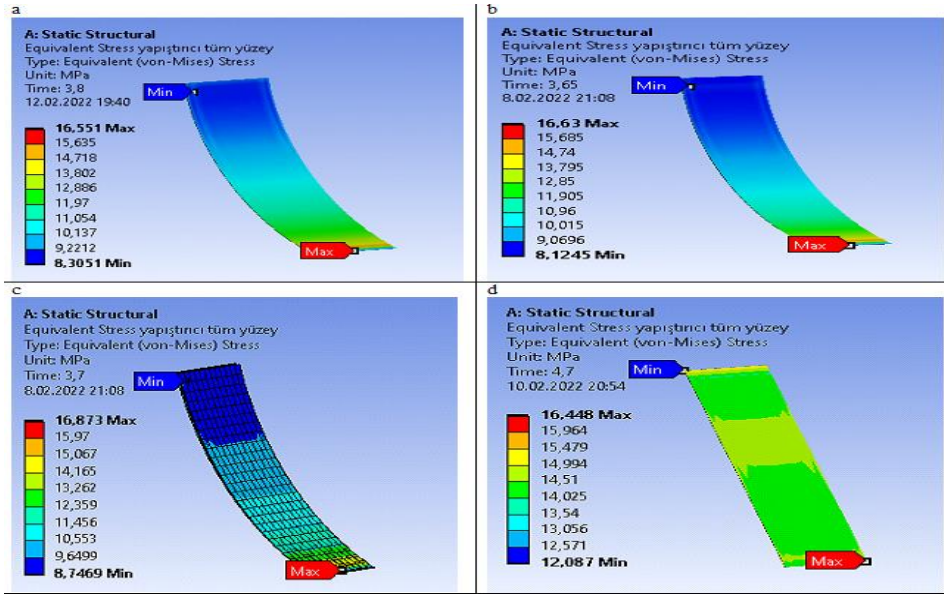


Şekil 5. Sınır şartları belirlenmiş ANSYS eğri yüzeyli üç nokta eğme parça modelleri

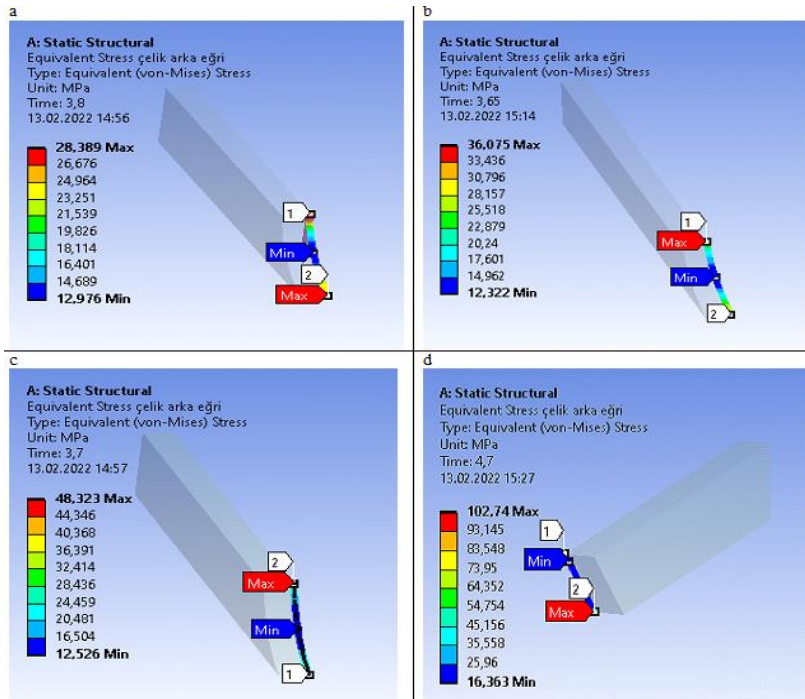
## BULGULAR VE TARTIŞMA

ANSYS’de mesh işlemi yapıldıktan sonra sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeylere çekme analizi uygulanmıştır. Analiz neticesinde maksimum gerilmenin, yapıştırıcının arka yüzeyin alt kısmında oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Kuvvetler step şeklinde yüklenmiş, yapıştırıcı üzerindeki Von Mises gerilmesinin akma dayanımına yaklaştığı step aşaması numune için maksimum dayanım kuvveti olarak referans alınmıştır. Çekme analizi sonucunda maksimum dayanım kuvveti sikloid (Şekil 6a), episikloid (Şekil 6b), evolvent (Şekil 6c) ve 45 derece (Şekil 6d) eğri yüzeye sahip modellerde sırasıyla; 3.800 N, 3.650 N, 3.700 N ve 4.700 N olarak belirlenmiştir. Yapılan bir

çalışmada, ANSYS analiz programında ve deneysel olarak açılı yapıştırılan cam elyaf numuneleri çekme yüküne maruz bırakılmıştır. 15, 30, 45, 60, 75 derece açılı alın bağlantısı kullanılarak çekme yüküne maruz bırakılan numunede, bindirme açısı 45 dereceye çıkarıldığı zaman hasar yükünün bağlantıların tümünde azaldığı anlaşılmıştır. 45 derecelik açıda bağlantı mukavemetinin değeri en yüksek değer olarak tespit edilmiştir (Adin, 2012). Başka bir çalışmada, eğrisel ve düz bindirmeli modeller oluşturulmuş, alüminyum alaşımlı plakalar imal edilip yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Oluşturulan numuneler çekme yüküne maruz bırakıldığında, eğrisel bindirme bağlantısının düz bindirme bağlantısına kıyasla daha fazla hasar yükü çektiği tespit edilmiştir (Çitil ve Bozkurt, 2019). Aynı ve farklı tür alüminyum, çelik yapıştırma bağlantı modelleri oluşturulmuş, yapıştırma ve çekme deneyi neticesinde, eğrisel yapıştırma bağlantısında yapıştırıcının daha fazla hasar yükü çektiği görülmüştür (Çitil, 2018).



Şekil 6. Eğri yüzeyli yapıştırıcının gerilme değerleri ( sırasıyla şekil 6a, 6b, 6c, 6d)

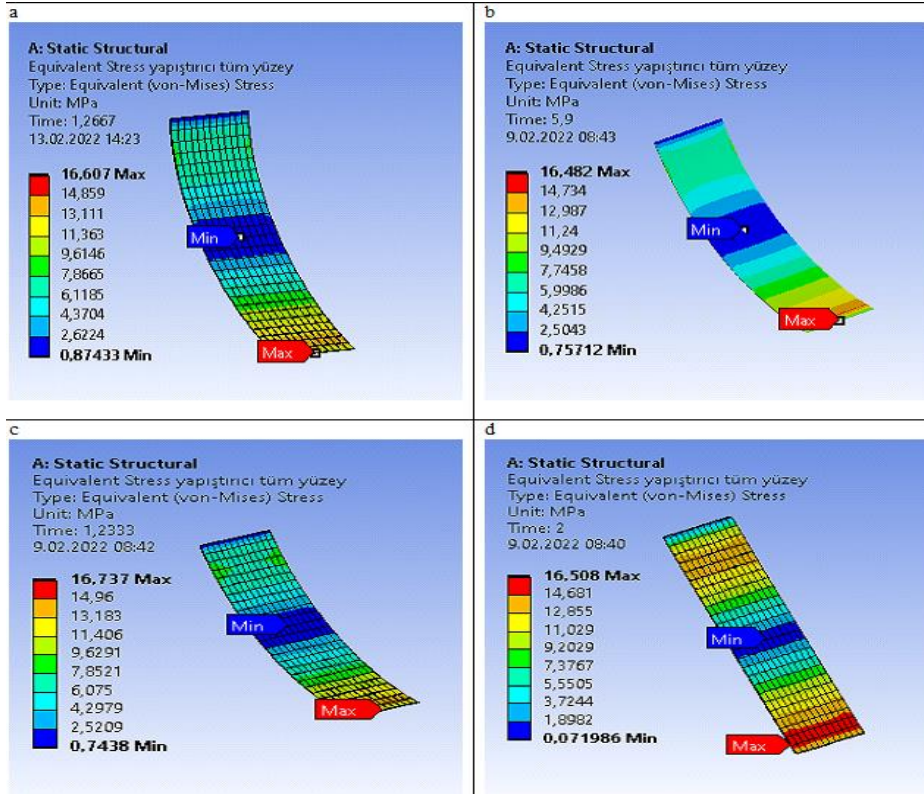


Şekil 7. Çelik numune yüzeylerinde oluşan maksimum gerilme değerleri



Bu çalışmaya ek olarak ANSYS’de sikloid yüzey (Şekil 7a) çelik için çekme analizi sonucunda maksimum gerilme 28,389 MPa olup bunun arka eğri için alt yüzeyde olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde maksimum gerilmenin episikloid (Şekil 7b) için 36,075 MPa ve arka eğri için üst yüzeyde, evolvent (Şekil 7c) için 48,323 MPa ve arka eğri için üst yüzeyde, 45 derecede (Şekil 7d) 102,74 MPa ve arka eğri için alt yüzeyde oluşmuştur.

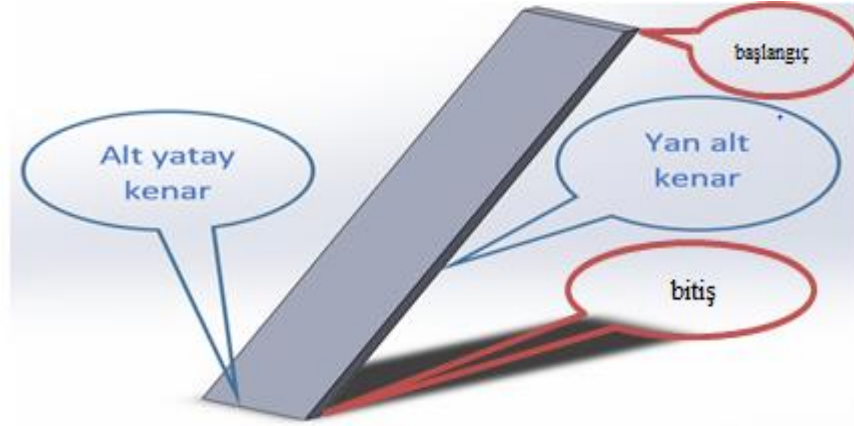
Sikloid, episikloid, evolvent ve 45 derece eğri yüzeye sahip numunelere üç nokta eğme analizi uygulanmıştır. Analizler sonucunda yapıştırıcı yüzeyindeki maksimum dayanım, arka yüzeyin alt kısmında olduğundan maksimum gerilme burada oluşmuştur. Sikloid (Şekil 8a), episikloid (Şekil 8b), evolvent (Şekil 8c) ve 45 derece (Şekil 8d) yüzeye sahip modellerde sırasıyla; 1.266 N, 1.180 N, 1.233 N ve 2.000 N olarak tespit edilmiştir.



Şekil 8. Eğri yüzeyli yapıştırıcının gerilme değerleri

Şekil 1 referans alınarak yapıştırıcı ve çelik eğri bölümleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda yapıştırıcı yan alt kenar ve alt yatay kenar boyunca Von Mises gerilme değerleri elde edilmiştir. Yan alt kenar uzunluğu 35,36 mm olup, alt yatay kenar ise 10 mm olarak alınmıştır (Şekil 9). Yapıştırıcı üzerinde gerilme değerlerinin maksimum olduğu yerler, yan alt kenar ve alt yatay kenar olduğundan bu kenarlar üzerindeki gerilme değişimi Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.

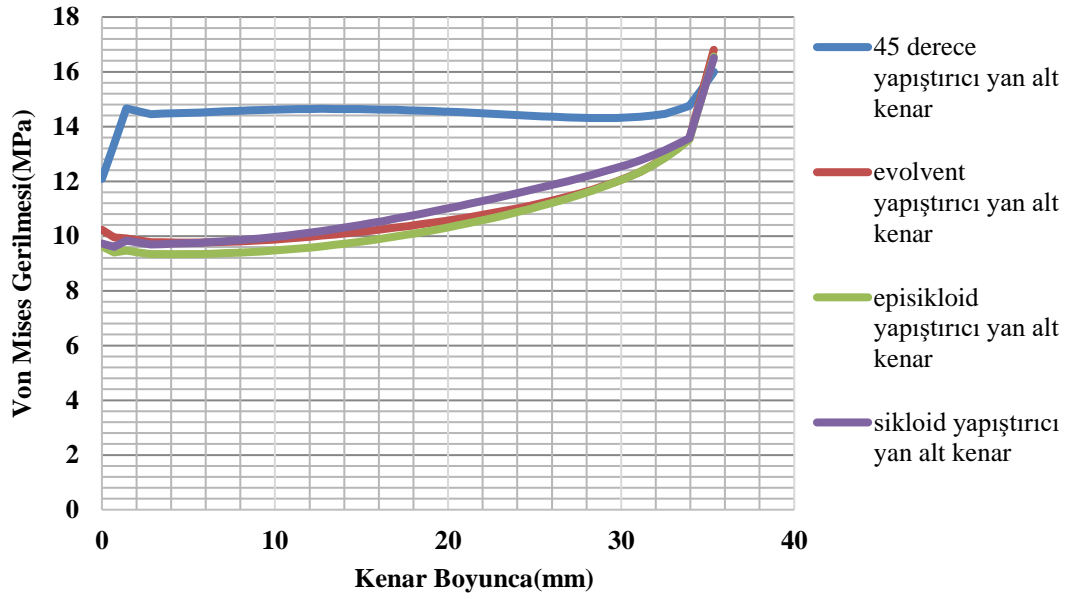




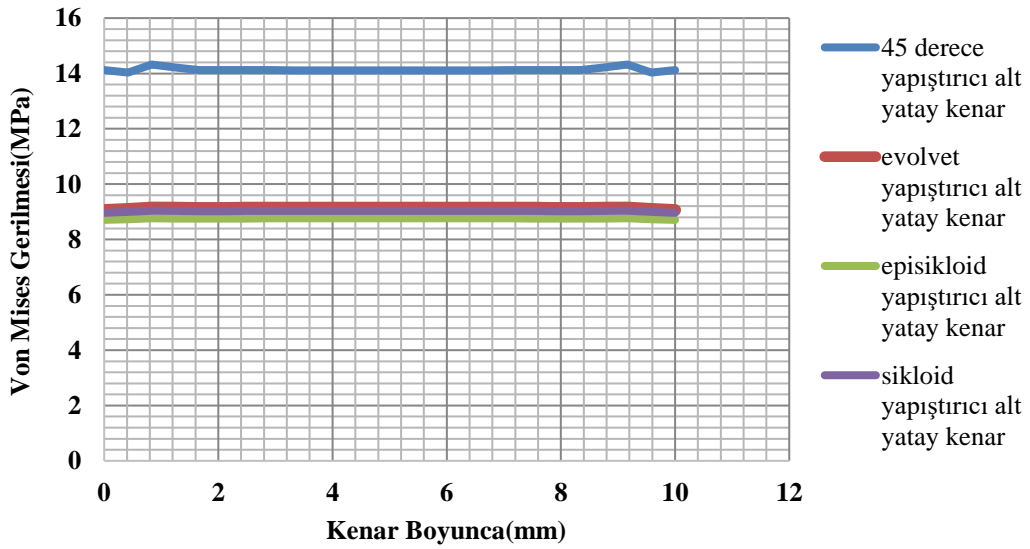
**Şekil 9.** Modellenen yapıştırıcı ara tabakası

Şekil 9’da modellenen yapıştırıcı yan alt kenar yüzeyinde eğrilere X eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında Von Mises gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Sikloid yüzey yapıştırıcı yan alt kenar gerilme değeri başlangıçta 9,7303 MPa olmuş, uç kısmında akma değerine yaklaşıp 16,507 MPa değerine yükselmiştir. Aynı şekilde episikloid eğrinin yüzey gerilme değeri başlangıçtaki 9,6226 MPa’dan uçtaki 16,558 MPa’ya, evolvent eğrinin 10,223 MPa’dan 16,804 MPa’ya, 45 derece eğri yüzeyin ise 12,087 MPa’dan 15,998 MPa’ya ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 10). Gerilmelerin eğri yüzeylerde doğrusala yakın bir artışla uç noktaya yaklaştığı ve uç noktada ani bir doğrusal artışla pik yaptığı gözlemlenirken, 45 derece eğri yüzeyde başlangıçta hızlı bir artış yaşamakla beraber uç noktaya kadar yüzey boyunca sabit kaldığı ve eğri yüzeylerdekine benzer şekilde uç noktada pik yaptığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla 45 derece numunede eğri yüzeyin yatayla yaptığı açı eşit olduğundan gerilme dağılımı tüm yüzeyde eşit olurken eğri yüzeyli parçalarda eğri boyunca yatayla olan açı arttığından her noktada yüzeye gelen kuvvetlerin bileşkesi değişirken gerilme dağılımı da buna paralel olarak değişkenlik göstermektedir. 45 derece numune en dayanıklı yüzey olduğundan sonucumuz böyle çıkmıştır.

Yapıştırıcı alt yatay kenar yüzeyinde ise eğrilere X eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında Von Mises gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Sikloid yapıştırıcı alt yatay kenar gerilme değeri başlangıçta 8,9637 MPa olup, 9,038 MPa değerine kadar yükselip tekrar başlangıç değerine ulaşmıştır. Episikloid eğri yüzeyde başlangıç gerilme değeri 8,7098 MPa olup, 8,7611 MPa değerine yükselip daha sonra başlangıç değerine ulaşmıştır. Evolvent alt yatay kenarda ise başlangıçta 9,0622 MPa olup, 9,0985 MPa değerine yükselip tekrar başlangıç değerine ulaştığı anlaşılmıştır. 45 derecede ise başlangıçta 14,127 MPa olup, daha sonra 14,323 MPa değerine yükselip en son başlangıç değerine ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 11). Numunelerin yatay kesitleri boyunca yapılan analizlerde ise gerilme dağılımlarının yatay kesit boyunca sabit kaldığı görülmektedir. Bu da bütün numunelerde yatay kesitler boyunca kuvvet bileşkeslerinin değişmediğini, başka bir deyişle sabit kaldığını göstermektedir.

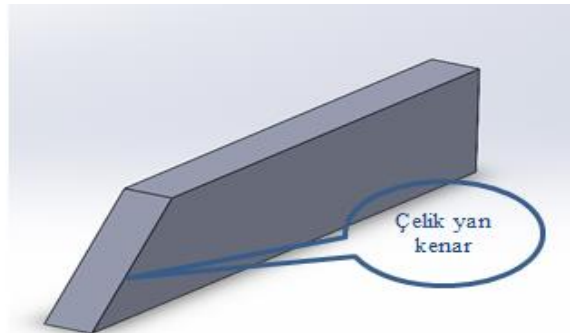


Şekil 10. Yapıştırıcı yan alt kenar boyunca gerilme grafiği



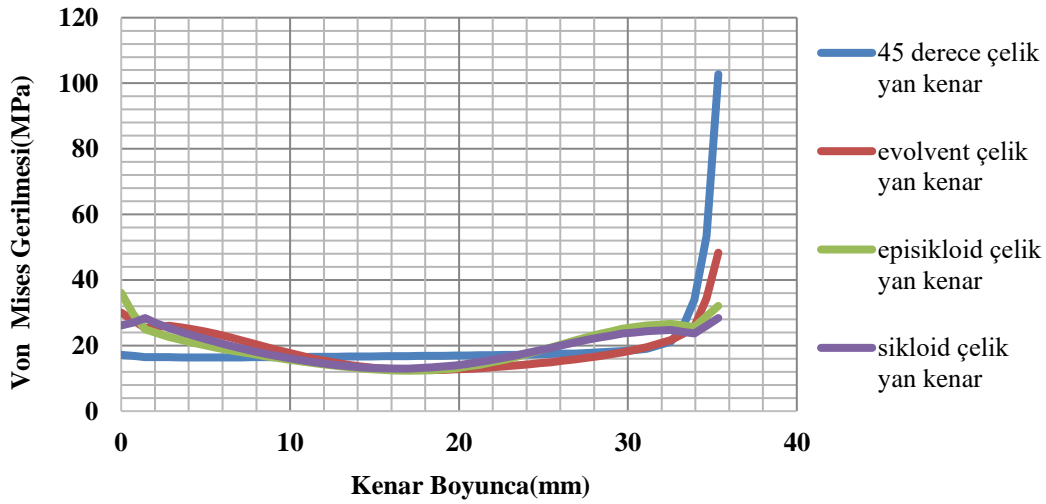
Şekil 11. Yapıştırıcı alt yatay kenar boyunca gerilme grafiği

Çelik numune yüzeylerinde ise, 35,36 mm kenarlar boyunca gerilmeler kıyaslanıp maksimum gerilme yan kenar boyunca tespit edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Modellenen çelik malzeme

Eğrisel geometrili yüzeylere X eksenini boyunca uygulanan kuvvet altında Von Mises gerilmeleri çelik yan kenar yüzeyi (Şekil 12) için karşılaştırılmıştır. Yapıştırıcı akma gerilmesinin maksimum olduğu durumda, sikloid çelik yan kenar için başlangıçta gerilme değerinin 26,15 MPa olup kenar boyunca 12,976 MPa'a kadar düştüğü, uç kısmında ise yapıştırıcı numunelerine benzer şekilde tekrar yükselip 28,389 MPa değerine ulaştığı anlaşılmıştır. Episikloid için yan kenar başlangıcında 36,075 MPa olup, kenarın orta kısmına doğru 12,767 MPa'a kadar düşmüş, uç noktaya doğru ise tekrar yükselip 32,051 MPa değerine ulaşmıştır. Evolvent kenar için ise başlangıç gerilme değeri 30,085 MPa olup, kenarın ilerleyen kısımlarında 12,709 MPa'a kadar azaldığı, kenarın uç noktasında 48,323 MPa değerine yükseldiği tespit edilmiştir. 45 derece eğri çelik yan kenarda ise başlangıçta 17,164 MPa olup, kenarın ilerleyen noktalarında 16,37 MPa değeri ile neredeyse üniform olduğu ve uç noktada 102,74 MPa değerine yükseldiği görülmüştür. Farklı eğriler boyunca sonuçların değiştiği tespit edilmiştir. Gerilmenin belirli noktaya kadar arttığı, daha sonra azaldığı, uç noktada maksimum noktaya ulaştığı ve yapıştırıcı ile aynı davranışı sergilediği görülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Çelik yan kenar boyunca gerilme grafiği

## SONUÇ

Yapılan analizlerde numunelere step şeklinde eşit periyotlarla kuvvet uygulanmış ve akma gerilmesine denk gelen kuvvet hasar yükü olarak alınmıştır. Bu durumda;

- Sikloid tüm yüzey için çekme analizi sonucunda maksimum dayanım yükü 3.800 N olup bunun yapıştırıcı alt yüzeyinde olduğu görülmüştür. Üç nokta eğme analizi sonucunda ise maksimum dayanım yükü 1.266 N olup yapıştırıcının alt yüzeyinde oluşmuştur.
- Episikloid tüm yüzey için çekme analizi sonucunda maksimum dayanım yükü 3.650 N olup yapıştırıcı alt yüzeyinde oluşurken, üç nokta eğme analizi sonucunda maksimum dayanım yükünün 1.180 N ile yapıştırıcının alt yüzeyinde olduğu görülmüştür.
- Evolvent tüm yüzey için çekme analizi sonucunda maksimum dayanım yükü 3.700 N olup bunun yapıştırıcı alt yüzeyinde olduğu görülürken, üç nokta eğme analizi sonucunda ise maksimum dayanım yükünün 1.233 N olup yapıştırıcının alt yüzeyinde olduğu görülmüştür.
- 45 derece tüm yüzey için çekme analizi sonucunda maksimum dayanım yükünün 4.700 N olup yapıştırıcı alt yüzeyinde olduğu görülmüştür. Üç nokta eğme analizi sonucunda maksimum dayanım yükü 2.000 N olup yapıştırıcının alt yüzeyinde oluşmuştur.

Yapılan bütün analizler sonucunda maksimum gerilmeler yapıştırıcı arka yüzeyinde ve alt uca yakın kısmında görülmektedir. Bu da numunenin bu bölgeden hasara uğrayacağını göstermektedir. Ayrıca hem çekme hem üç nokta eğme analizlerinin sonuçlarına göre 4.700 N ve 2.000 N ile 45 derece eğri yüzeye sahip numunenin diğer eğri yüzeylere kıyasla çok daha yüksek dayanım yüküne sahip olduğu görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde ID-2295 numaralı proje ile maddi imkân sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Adin H, 2012. The investigation of the effect of angle on the failure load and strength of scarf lap joints. *International Journal of Mechanical Sciences*, 61: 24-31.
- Akpınar S, 2016. Alüminyum Oksit ve Titanyum Dioksit Partikül Takviyeli Yapıştırıcılarla Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, 244-252.
- Akpınar S, Aydın MD, 2012. Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş T-Bağlantı Tipinin İki ve Üç Boyutlu Gerilme Analizi. *EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 5-2*, 229-241.
- Ayaz Y, Temiz Ş, 2012. Çift Takviyeli Yamaları Gömülü Yapıştırma Bağlantılarının Eğilme Altında Analizi. *EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 5-2*, 165-172.
- Aydın MD, Akpınar S, Özel A, Erdoğan S, 2015. Kayma Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 668, ss. 48-55.
- Aydın MD, Temiz Ş, Özel A, 2004. Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler. *Mühendis ve Makina- Cilt: 45 Sayı: 536*.
- Aydın S, Eylül 2019. Karbon Nanopartiküllerin Epoksi Yapıştırıcılarda Etkilerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), ss. 143-154.
- Aydın S, Fertelli A, 2018. Nanopartikül ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapışma Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi. *Published in 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 09-11 November 2018, Alanya – Antalya – Turkey.
- Aydın S, Solmaz MY, Turgut A, 2011. Epoksi ve Akrilik Bazlı Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elâzığ-Turkey.
- Çakır MV, Kınay D, 2016. Cam Elyaf Kompozitlerin Alüminyum Plaka ile Yapıştırılması ve Yapışmanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(ÖS 1), ss: ÖS 99-ÖS 108.
- Çitil Ş, 2017. Hasarlı Boruların Tamirinde Yama Malzemesinin Yapıştırıcı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 23(4): 422-426.
- Çitil Ş, 2018. Eğrisel Yüzeyli Yapıştırma Bağlantılarında Malzemenin Yapıştırıcı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1): 225-234.



- Çitil Ş, Bozkurt İ, 2017. Eğrisel Yüzeyleli Boru Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7: 63-72.
- Çitil Ş, Bozkurt İ, 2019. Çekme Yüküne Maruz Alın-Eğrisel ve Düz Bindirme Bağlantısının Kohezif Bölge Modeli Kullanılarak Karşılaştırılması. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11: 78-85.
- İşcan B, Adin H, Turgut A, 2012. Bazı Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (2): 119-126.
- Kırkayak L, 2019. Yapıştırma Bağlantılı Kompozitlerde Yapıştırma Geometrisinin Gerilme Dağılımına Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 25(1): 27-33.
- Saraç İ, 2020. Basit Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarında Bindirme Bölgesi Uç Açısı Değişiminin Bağlantı Mukavemetine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 1.
- Saraç İ, Adin H, Temiz Ş, 2016. Experimental Determination Of The Mechanical Properties Of Adhesive Joints Bonded Epoxy Adhesive Included Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticle. European Journal of Technic EJT, Vol 6, Number 2.
- Solmaz MY, Yıldırım S, 2018. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Dalgalı Bağlantı (Wavy-lap) Performanslarının Uç Açısına Bağlı Olarak Araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 30 (1): 287-294.