

Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş Konik Geçme Bağlantılarının Burulma Momenti Etkisindeki Davranışları

Murat Yavuz SOLMAZ, Betül TAŞ

Fırat University, Engineering Faculty, Department of Engineering, 23119 Elazığ/Turkey
mysolmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received:07.12.2017; Kabul/Accepted:15.03.2018)

Özet

Bu çalışmada 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının burulma momenti altındaki performansları sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada ANSYS 14.5 paket programı kullanılmıştır. Çalışmada 2°51', 5°43' ve 11°25' olmak üzere 3 farklı koni tepe açısı kullanılarak modellenen yapıştırıcı bağlantılar yapıştırıcısız konik geçme bağlantısıyla karşılaştırılmıştır. Burulma momenti etkisi altındaki modellerin A-B hattı boyunca oluşan Von Mises eşlenik ($\sigma_{eş}$), τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerleri tespit edilmiştir. Analizler sonucunda, yapıştırıcısız bağlantılarda meydana gelen tüm gerilme değerlerinin yapıştırıcı bağlantılara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm bağlantılarda koni tepe açısı artışının gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konik Geçme, Yapıştırıcı Bağlantılar, Burulma, Kesit Dönmesi, ANSYS

Behaviour of Conical Adhesive Joints Under the Action of Torsional Moment

Abstract

In this study, the performance of conical joints made of three different adhesives is numerically examined under the action of the torsional moment. ANSYS 14.5 package program was used in the numerical analysis. The conical adhesive joints having three different angular strain twist angle of 2°51', 5°43' and 11°25' were compared to the cone clamped connections. Von Mises conjugated ($\sigma_{eş}$) and shear stress values (τ_{xz} and τ_{yz}) of the models under the action of the torsional moment along the A-B line were determined. As a result of the analysis, it is seen that all the stress values of the cone clamped connections are higher than those in the conical adhesive joints. It is concluded that increase in the angular strain twist angle decreases the stress values for all joint models.

Keywords: Cone clamping, Adhesive Joints, Torsion, Angular Strain, ANSYS

1.Giriş

Bulduğumuz 21. yüzyılda gelişen teknolojiyle beraber, yapıları birleştirmek ve kullanım süreleri içerisinde bir bütün olarak bir arada tutmak maksadıyla birçok malzeme ve birleştirme tekniği geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerin (perçin, lehim, kaynak bağlantıları vb.) yanı sıra yapıştırıcı bağlantıların kullanım alanı bu yüzyılda daha fazla artmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların diğer bağlantı türlerine göre birçok avantajı olduğu araştırmacılar tarafından deneysel, analitik ve sonlu elemanlar metodu yardımıyla ortaya çıkarılmıştır.

Yapıştırma bağlantılarının kullanım alanları; otomotiv, uzay havacılık ve diğer endüstri dallarında artmaktadır. Yapılan çalışmalar, montajı gerçekleştirilen yapılardaki deformasyonun yaklaşık %70'nin bağlantı yapılan kısımlardan başladığını göstermektedir. Tek katlı bağlantılar basit ve verimlilik yüzdeleri nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Aynı zamanda yapıştırıcıların mekanik özelliklerini tespit etmek için standart bir test modeli halini almaktadır. Bununla birlikte tek katlı bağlantının gerilme analizi, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından araştırılmış olup bazı tartışmalı yayınlar ortaya konulmuştur. Örnek olarak, birçok analiz sonucunda kayma gerilmelerinin yapışkan tabakanın serbest ucunda

maksimum olduğunu belirtirken bazı analizlerde ise serbest uçlara yakın bir mesafede olduğu gösterilmiştir [1].

Malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanmak, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla daha fazla avantaj sunar. Yapıştırıcı, yük ve gerilmeleri birleşim yüzeyinin tamamına yayarak dinamik ve statik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilmelerin bir noktada yoğunlaşmasını engeller. Bu sebeple, yapıştırıcı bağlantı mekanik yöntemlerle (kaynak, perçin, lehim) birleştirilen bağlantılara göre bükülme ve titreşime karşı daha dayanıklıdır [2].

Yapıştırıcı ile birleştirilme, kompozit malzemelerin kullanıldığı bağlantılarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Uç ve havacılık sanayi uygulamalarında mukavemetin, hafifliğin ve malzemelerin deforme olmamasının gerektiği durumlarda yapıştırıcı ile birleştirme ön plana çıkmaktadır. Boeing 747 uçak gövdesi elemanlarının % 62'si yapıştırıcı ile birleştirilmiştir [3].

Yapıştırıcı ile birleştirme, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, yapıştırıcı tabaka boyunca gerilmenin düzenli dağılımı, korozyona karşı direnç, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, dizayn kolaylığı, yüksek sönüm yeteneği, kolay montaj, ekonomiklik ve farklı malzemelerin birleştirilmesi gibi önemli nedenlerden dolayı günümüz geleneksel bağlantı elemanlarının yerini almakta, endüstriyel birçok alanda özellikle uç ve havacılıkta kullanılmaktadır [4]. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarının analizinde sonlu elemanlar yöntemini ilk olarak Wooley ve Carver kullanmıştır [5]. Bunu takiben birçok araştırmacı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizler yapmışlardır. Yapıştırıcı bağlantılarında, Volkersen ilk olarak klasik mekanik yaklaşımı kullanarak çalışmalar yapmıştır [6,7]. Bagheri ve Marouf, epoksi reçine kullanarak alüminyum tabakaları birleştirmiştir. Yapıştırıcılara çeşitli kimyasal maddeler ilave ederek modifiye edilmiş ve bu yapıştırıcı kompozisyonunun ara yüzey kırılma enerjisi üzerine etkisi DCB (Double Cantilever Beam) testiyle ölçülmüştür. Yapıştırıcının mekanik özelliklerini darbe testi ile belirlemiştir. DCB testinin sonucuna göre; plastik parçacıklarının ilavesiyle epoksinin ara yüzey

kırılma enerjisi artmaktadır [8]. Fekirini ve arkadaşları, yüzeyinde çatlak olan bir tabakanın tamirini yapmak için farklı kayma modülüne (G) sahip olan iki yapıştırıcı kullanarak sonlu elemanlar metodu ile analiz yapmışlardır. Bu iki yapıştırıcının birincisi çatlak olan yüzeye uygulanmış ikincisi ise hasar olmayan yüzeye uygulanmıştır. Birinci yapıştırıcının yük transferini sağlanması hedeflenmiş ikincisiyle de birinci yapıştırıcının hasara uğramasının engellenmesi hedeflemiştir. Yapılan analiz sonucunda çatlağın olduğu uç ve çatlak bölgesinde yorulma ömrünün büyük oranda iyileştiği görülmüştür [9]. Davies ve arkadaşları, yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemek için bir çalışma yapmışlar ve epoksi yapıştırıcı kullanarak alüminyum parça bağlantılarının özelliklerini çeşitli test yöntemleriyle incelemiştir. Mekanik analizler sonucunda, yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla kopma mukavemetinin azaldığını tespit etmişlerdir. İdeal yapıştırıcı kalınlığının 0.8 mm veya daha düşük olması gerektiğini belirlemiştir [10]. Özel, Aydın ve Temiz, tek katlı bir yapıştırma bağlantısına eğilme momenti uygulayarak, iki boyutlu non-lineer Sonlu Elemanlar Metodu(SEM) ile elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Geometrik özelliklerin tek katlı yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisini belirlemek amacıyla, her bir yapıştırıcı için dört ayrı parça kalınlığı ve bindirme bölgesi uzunluğu seçmişlerdir. Elde edilen sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırmış, yapıştırılan parça kalınlığının artmasının bağlantı mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini, esnek yapıştırıcılarda bindirme bölgesinin uzunluğunun artması ile taşınan yükün arttığını tespit etmişlerdir [11]. Taib ve arkadaşları, basit bindirme ve eğimli bindirme bağlantısı için iki farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantı konfügrasyonlarının sonlu elemanlar metoduyla analizini yapmışlardır. Yapılan deneysel analizler sonucunda yapıştırıcı tabakayı non-lineer olarak kabul ederken yapışan malzemelerin davranışının ise lineer elastik olduğunu kabul etmişlerdir. Aynı zamanda bağlantının non-lineer geometrik deformasyonları da dikkate alınmıştır. Sonuç olarak sonlu elemanlar modeli ile doğru tespit edilen yüklerin altında, eğimli bindirme bağlantılarda ayırt edici deformasyonlar gözlenmiştir [12].

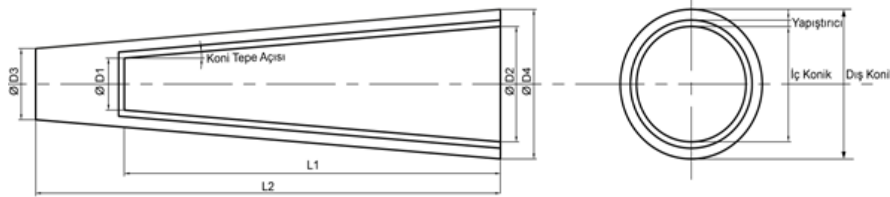
Taş ve arkadaşları, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin bağlantı mukavemetine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla basit (single) ve dalgalı bindirme (wavy lap) olmak üzere iki farklı bağlantı tipi göz önüne alınarak birikintisiz (0°), 15° , 30° ve 45° birikintili toplam 8 model oluşturulmuş ve bu bağlantıların ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak lineer elastik gerilme analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizler neticesinde bağlantıların bindirme bölgeleri üzerinde oluşan maksimum eşlenik ve soyulma gerilmelerini elde etmişlerdir. Sonuçta; 0° kenar birikintili wavy-lap bağlantıda meydana gelen maksimum eşlenik gerilme değerinin 0° kenar birikintili single-lap bağlantıya göre yaklaşık %41 olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Apalak ve Davies, tek ve iki plakanın eğildiği ve bunların eğilen bölgelerinin diğerinin yüzeyi boyunca yapıştırıldığı, tek ve çift destekli köşe bağlantılarını incelemişlerdir. Artan yatay ve dikey destek boylarının yapıştırıcı-plaka ara yüzeyinde ortaya çıkan gerilme yığılmasını azalttığını ve yapıştırıcı tutturma miktarının da enine yoğunlaşmış yükler ve eğilme momentleri altında yapıştırıcının pik gerilme seviyeleri üzerinde etkin bir parametre olduğunu belirtmişlerdir [14]. Nemeş ve Lachaud, çift katlı bindirme bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığını 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1 mm seçerek yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla yapıştırıcıda meydana gelen maksimum gerilmenin azaldığını, kayma ve soyulma gerilmelerinin uç noktalar hariç tutmak üzere üniform olarak tüm bindirme mesafesi üzerine dağıldığını tespit etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı 1 mm iken kayma gerilmesinin minimum olduğunu belirtmişlerdir [15]. Solmaz, farklı özelliklere sahip yapıştırıcılar kullanarak farklı bindirme mesafelerinde farklı uç açısına sahip malzemeleri (adherent) birleştirmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılar çekme deneyine tabi

tutulmuş ve bu deneyler sonucunda bağlantıların hasar tipleri ve kuvvetleri belirlenmiştir. Bu bağlantıların çekme deneyi sonucunda hasara uğrayan yapıştırma yüzeyleri incelendiğinde, 0° (90° ya da açısız) uç açısına sahip numunelerde meydana gelen hasar tipinin “kohesiv hasarı”, uç açısı 0° 'nin dışında kalan tüm numunelerde ise “özel kohesiv hasarı” olduğu belirlenmiştir [16,17]. Aydın, prizmatik geçmeli yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda bindirme mesafesi, yüzey pürüzlülükleri, yapıştırıcı kalınlıkları ve farklı özellikleri olan yapıştırıcı türlerinin aksel çekme yükü altındaki mekanik davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ve bindirme mesafesinin artması ile bağlantı mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak belirli bir noktadan sonra bu değerlerin artmasının bağlantı mukavemetine etkisinin olmadığını tespit etmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla bağlantının mukavemetinin azalmasıyla birlikte daha düzgün bir gerilme dağılımı oluşturduğunu belirtmiştir [18,19].

Bu çalışmada, yapıştırıcılı olarak birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının burulma momenti altındaki mekanik davranışları incelenecektir. Bu amaçla, Akfix E 300, Devcon A ve Erde GTR olmak üzere 3 farklı yapıştırıcı türüne sahip, 3 farklı koni tepe açılı yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantılar ANSYS paket programı kullanılarak sayısal olarak incelenecektir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada yapıştırıcılı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının, burulma momenti etkisi altındaki davranışlarına yapıştırıcı cinsinin, koniklik açısının etkisi araştırılmıştır. Şekil 2.1'de yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının teknik resmi, Tablo 2.1'de ise koniklik açısına bağlı olarak bu bağlantıların ölçüleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Yapıştırıcılı konik geçme bağlantısının teknik resmi

Tablo 2.1. Konik geçme bağlantılarının ölçüleri

Koni tepe açısı	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)
2°51'	10	15	15.6	21.6	100	120
5°43'	10	20	14.6	26.6	100	120
11°25'	10	30	12.6	36.6	100	120

Çalışmada, bağlantı malzemesi olarak St 60 imalat çeliği yapıştırıcı olarak ise epoksi bazlı 2 adet (Devcon A, Akfix E300) ve akrilik bazlı 1 adet (Erde GTR) olmak üzere toplam 3 farklı

özellikte yapıştırıcı kullanılmıştır. Bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların mekanik özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2.Bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların mekanik özellikleri[18]

	Test Metodu			
	ISO 527	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Poisson Oranı	Elastisite Modülü
AKFIX E	-	34.1	0.32	758
DEVCON A	-	26.5	0.35	663
ERDE GTR	2.01	7.9	0.36	93
St 60	-	600	0.35	210000

Elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) kullanılarak bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların kayma modülleri (G) denklem hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Yapıştırıcıların mekanik davranışları, plastikler için geliştirilmiş standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerin çekme cihazına bağlanıp tek eksenli gerilme uygulanması ile belirlenir.

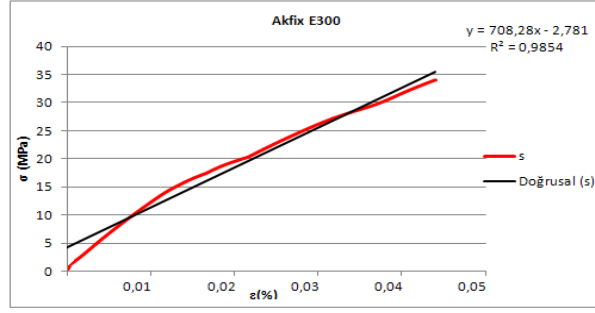
Tablo 2.3. Bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların kayma modülü

	Kayma Modülü(Mpa)
AKFIX E 300	287
DEVCON A	245
ERDE GTR	34
St 60	81000

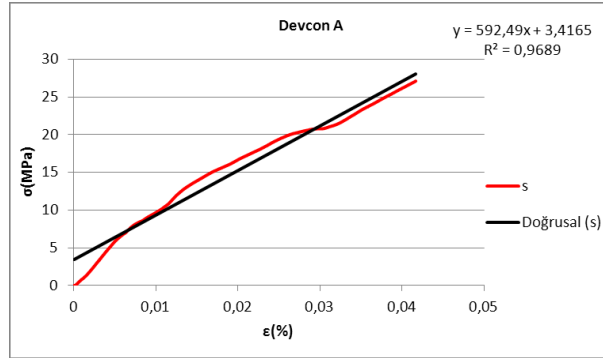
Yük altında malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirmeleri mekanik davranışlarını en genel açıklayan kavramdır. Bu amaçla yapılan bir çalışmadan alınan yapıştırıcıların sırasıyla Şekil 2.2, 2.3, 2.4 gerilme-şekil değiştirme diyagramları verilmiştir.

Tablo 2.1'de verilen teknik resme uygun olarak ANSYS paket programında her bir

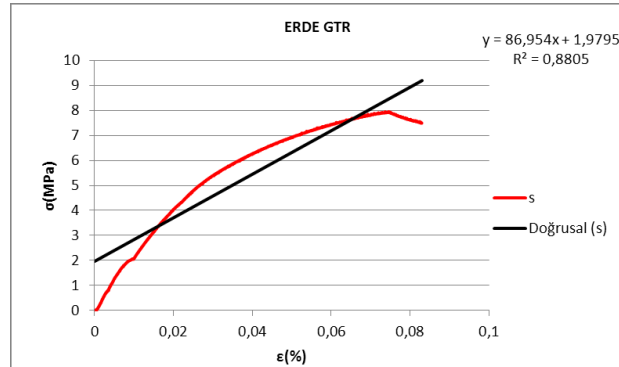
parametre için bağlantı modelleri oluşturulmuştur. ANSYS paket programında kullanılan modellere uygun, bağlantı elamanı ve yapıştırıcı yüzey için üç serbestlik derecesi ve 10 düğüm noktasına sahip üç boyutlu SOLID187 eleman tipi seçilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde meshleme işlemi çok önemlidir.



Şekil 2.2. Akfix E300 gerilme-şekil değiştirme diyagramı[18]



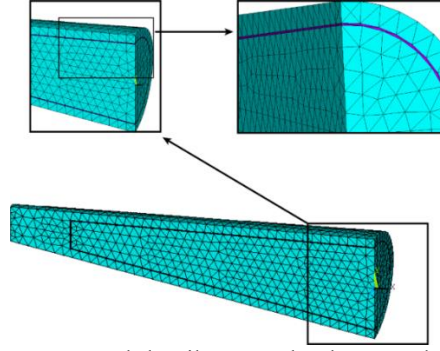
Şekil 2.3. Devcon A gerilme-şekil değiştirme diyagramı[18]



Şekil 2.4. Erde GTR gerilme-şekil değiştirme diyagramı[18]

Çalışmada gerilme dağılımının daha duyarlı tespiti için tüm bağlantılar mümkün oldukça çok sayıda ve aynı boyutta elemanlara bölünmüştür. Şekil 2.5’de koni tepe açısı 11°25’ olan

yapıştırıcılı konik geçme bağlantısının dikey eksen kesitindeki mesh yapısı, Tablo 2.4’de ise tüm bağlantılar için eleman ve düğüm sayıları verilmiştir.



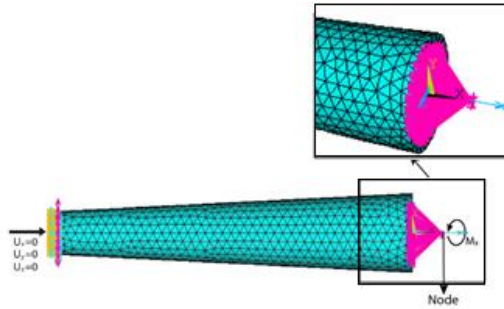
Şekil 2.5. Koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantı modelinin düşey eksen kesitindeki sonlu elemanlar ağ yapısı

Tablo 2.4. Tüm bağlantılar için düğüm ve eleman sayısı

Bağlantı Tipi	Koni Tepe Açısı	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı
Yapıştırıcılı	$2^{\circ}51'$	16818	11169
	$5^{\circ}43'$	21060	14331
	$11^{\circ}25'$	31548	21712
Yapıştırıcısız	$2^{\circ}51'$	11888	7631
	$5^{\circ}43'$	16076	10649
	$11^{\circ}25'$	24820	16761

Çalışmada konik geçme bağlantısının dış konik ucu ankastre olarak sabitlenmiştir. İç koniğin ön yüzeyine kontak oluşturularak dışta tanımlanan bir node ile bağlanmıştır. Bu işlemin amacı iç koniğe moment uygulayabilmektir. Node x yönünde uygulanan $M_x=1000$ Nmm moment ile model burulmaya zorlanmıştır.

Burulma momenti sıfırdan başlayıp kademeli artırılarak 1000 Nmm şeklinde uygulanmıştır. Ve çözümler elde edilmiştir. Şekil 2.6'da koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ yapıştırıcılı bağlantıya uygulanan sınır şartları ve burulma momenti yönü gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bağlantılara uygulanan sınır şartları ve burulma momenti

Koni tepe açısı ve yapıştırıcı kalınlığından dolayı numunelerin y koordinat değerleri değişmektedir. Farklı parametrelere sahip numunelerin sonuçlarını karşılaştırmak için

Şekil 2.7 görülen A-B hattı boyunca düşey eksen koordinatı (y), dış çapa bölünerek A-B hattı için normalizasyon işlemi yapılmıştır.

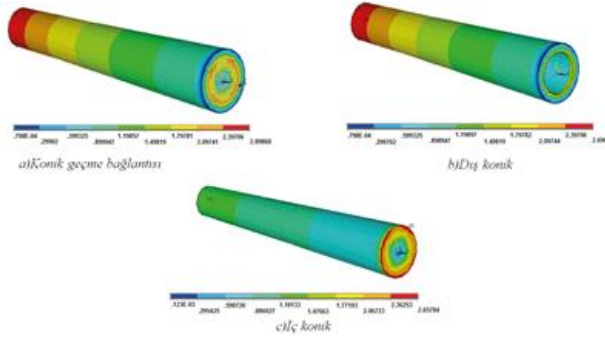


Şekil 2.7. Farklı koni tepe açılına sahip bağlantılar için normalleştirilmiş A-B hattı.

3.Sonuçlar ve Değerlendirme

Çalışmada uygulanan burulma momenti sonucunda $\sigma_{eş}$, τ_{xz} , τ_{yz} gerilme dağılımları incelenmiştir. Şekil 3.1, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$

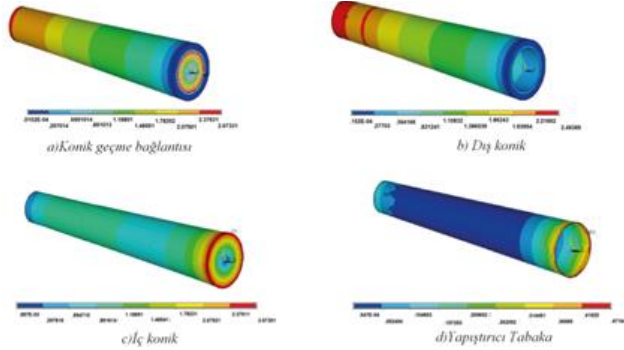
olan yapıştırıcısız bağlantının eşlenik gerilme dağılımını göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilme konik geçme bağlantısında 2.89 MPa minimum eşlenik gerilme ise iç konikte 2.65 MPa'dır.



Şekil 3.1. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı

Şekil 3.2'de, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının eşlenik gerilme dağılımını göstermektedir. Maksimum

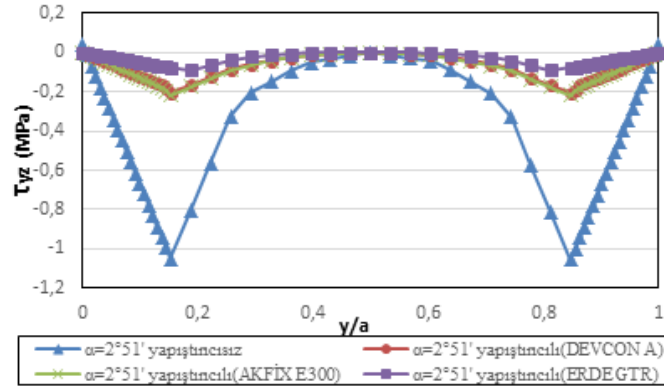
eşlenik gerilme konik geçme bağlantısında 2.67 MPa olarak tespit edilmiştir. Minimum gerilme ise dış konikte 2.49 MPa olarak gerçekleşmiştir.



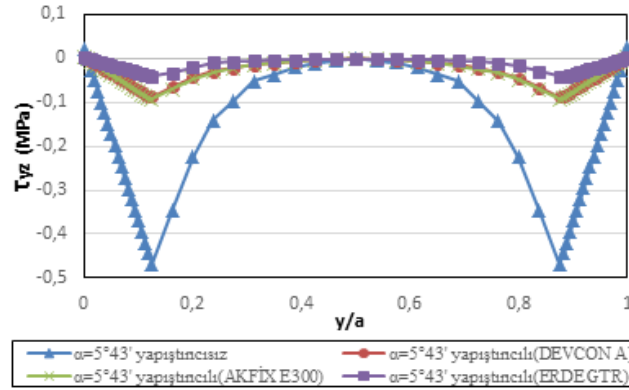
Şekil 3.2. 45° Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı

Şekil 3.3. a, b ve c, koni tepe açısı sırası ile yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme

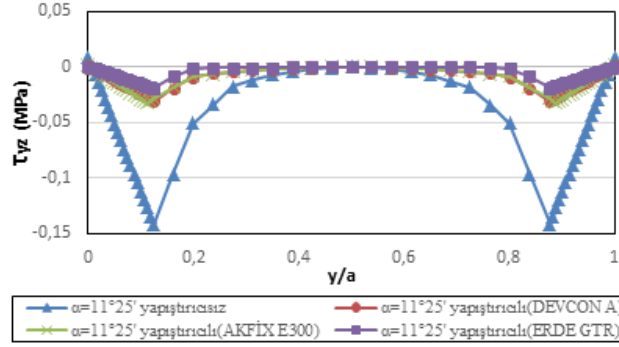
bağlantılarında meydana gelen τ_{yz} kayma gerilme dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 3.3.a. Koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları



Şekil 3.3.b. Koni tepe açısı 5°43' olan bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

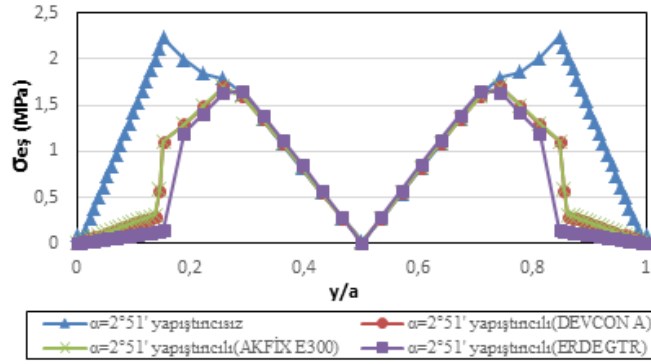


Şekil 3.3.c. Koni tepe açısı 11°25' olan bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

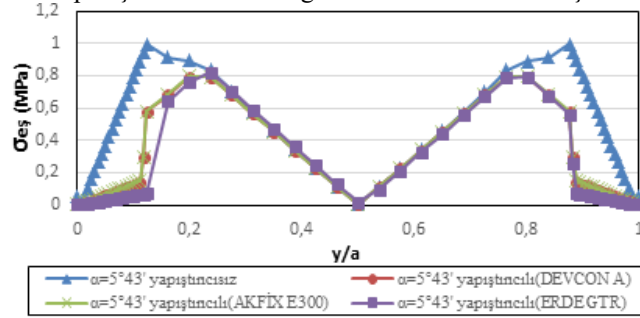
Şekil 3.3'te maksimum τ_{yz} kayma gerilmelerinin yapıştırıcısız bağlantılarda ve minimum gerilmelerin ise Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu değerler, yapıştırıcısız bağlantıda, koni tepe açısına göre sırasıyla -1.05 MPa, -0.46 MPa, -0.14 MPa'dır. Benzer şekilde Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıda ise -0.07 MPa, 0.04 MPa, -0.019 MPa'dır. Yapıştırıcısız

ve Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılar arasındaki en büyük değişimin 15 katlık fark ile koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda gerçekleştiği görülmektedir.

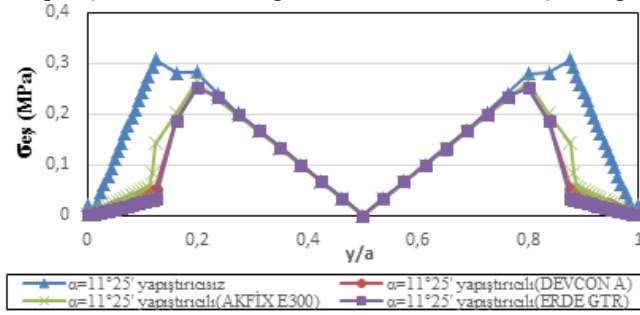
Şekil 3.4. a, b ve c koni tepe açısı sırası ile yapıştırıcısız ve yapıştırıcı konik geçme bağlantılarında meydana gelen eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 3.4.a. Koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıların Von Mises eşlenik gerilme dağılımları



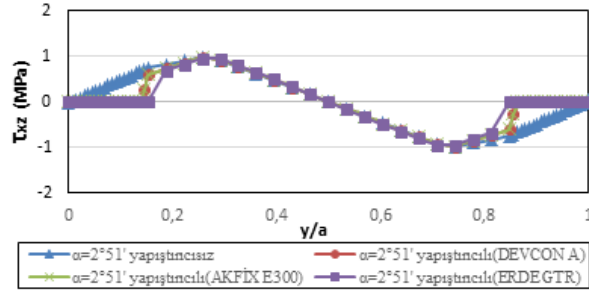
Şekil 3.4.b. Koni tepe açısı 5°43' olan bağlantıların Von Mises eşlenik gerilme dağılımları



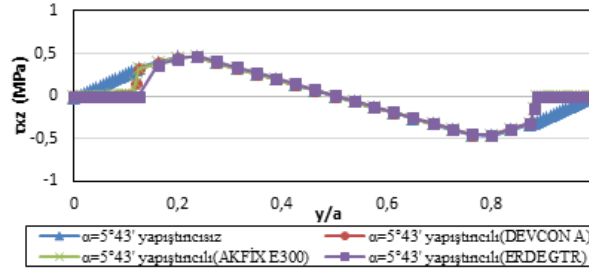
Şekil 3.4.c. Koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıların Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 3.4'de, koni tepe açısı değişimi için eşlenik gerilme dağılımları, her 3 farklı yapıştırıcı için $y/a=0,3$ ve $y/a=0,8$ arasında benzer değişim özellikleri göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilmelerin her iki bağlantı tipi için koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcısız konik geçme bağlantısında

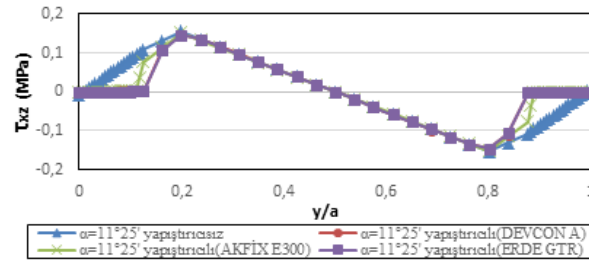
2,2 MPa iken 0,57 MPa azalarak Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında 1,63 MPa' a düşmektedir. Bu fark diğer iki koni tepe açısında sırasıyla 0,24 MPa, 0,05 MPa olmaktadır. Şekil 3.5. a, b ve c, koni tepe açısı sırası ile yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{xz} kayma gerilme dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 3.5.a. Koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları



Şekil 3.5.b. Koni tepe açısı 5°43' olan bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

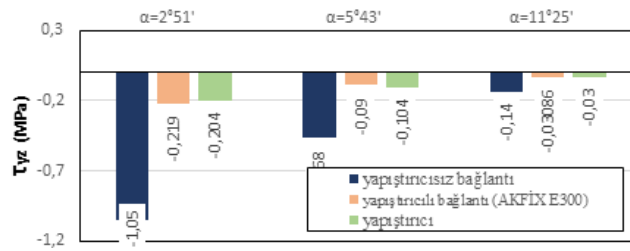


Şekil 3.5.c. Koni tepe açısı 11°25' olan bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

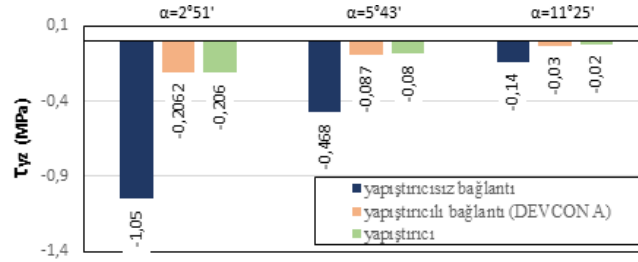
Şekil 3.5'de yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı bağlantıların gerilme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. İki bağlantı tipinin koni tepe açısının değişiminden etkilendiği gözlenmektedir. Her iki bağlantı tipi içinde maksimum τ_{xz} kayma gerilmelerinin koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda ve minimum gerilmelerin ise koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıda gerçekleştiği görülmektedir. Başka bir ifadeyle koni tepe açısı arttıkça gerilme değerleri düşer. Yapıştırıcısız bağlantıda sırasıyla

meydana gelen maksimum τ_{xz} kayma gerilmeleri 0.98 MPa, 0.46 MPa ve 0.15 MPa'dır. Minimum τ_{xz} kayma gerilmeleri Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda sırasıyla 0.97 MPa, 0.43 MPa, 0.14 MPa olarak gerçekleşmektedir.

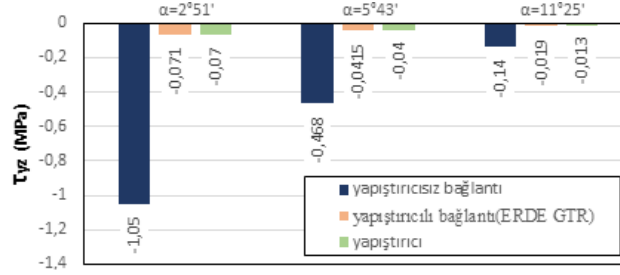
Şekil 3.6. a, b ve c, koni tepe açıları sırasına göre yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.6.a. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantılarının yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi



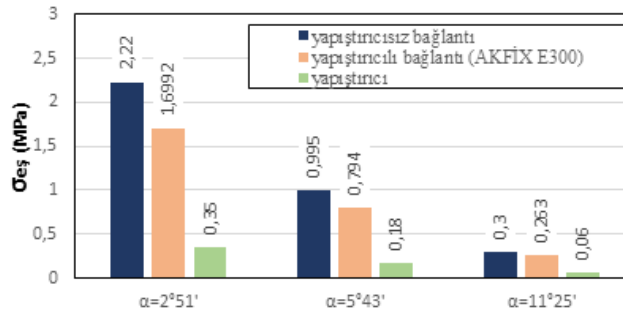
Şekil 3.6.b. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi



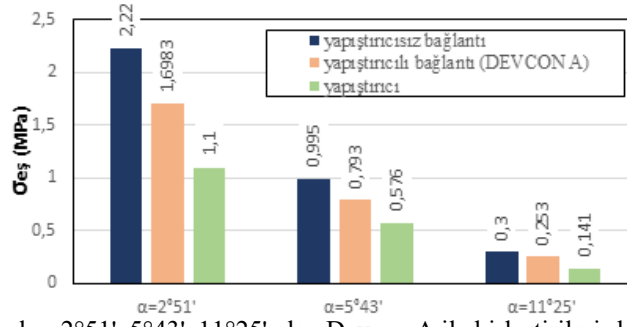
Şekil 3.6.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi

Şekil 3.6'da yapıştırıcısız bağlantıların maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin yapıştırıcılı bağlantılardan ve yapıştırıcı tabakasından daha büyük olduğu görülmektedir. Yapıştırıcılı bağlantılar için minimum τ_{yz} kayma gerilmesinin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Erde GTR'nin, Akfix E300 ve Devcon A'dan daha düşük kayma modülüne sahip olmasından dolayı şekil değiştirme kabiliyeti daha yüksektir. Buda uygulanan momentin sönümlenmesine neden olarak gerilme değerlerini düşürmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300 ile

birleştirilmiş bağlantıdan %400, Devcon A 'dan %425, Erde GTR'den %1379 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan yaklaşık %1050 daha fazladır. Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300'den %367, Devcon A 'dan %365, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %637 daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3.7. a, b ve c, koni tepe açıları sırasına göre yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum eşleşme gerilme değerleri gösterilmektedir.



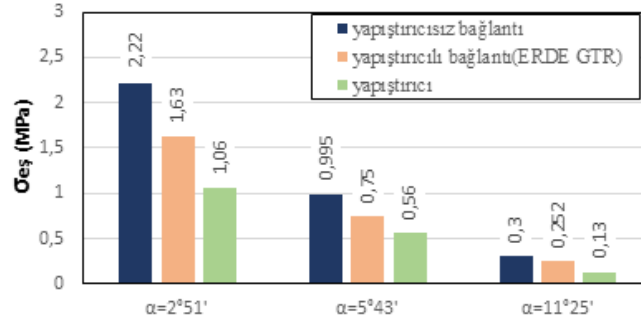
Şekil 3.7.a. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşleşme gerilmeleri



Şekil 3.7.b. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 3.7'de koni tepe açısı değişimin etkisi 3 farklı yapıştırıcı türü içinde benzerlik göstermektedir. Yani koni tepe açısı arttıkça

maksimum gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmektedir.



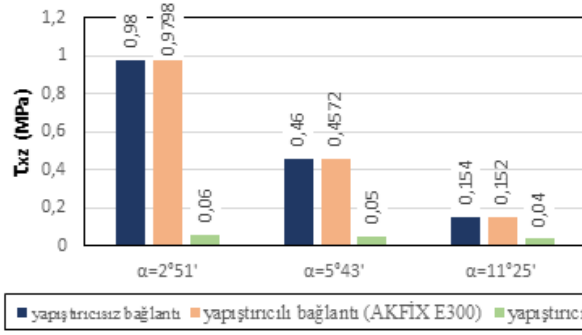
Şekil 3.7.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri

Koni tepe açısı 2°51' yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300 ile birleştirilmiş bağlantıdan %30, Devcon A 'dan %30, Erde GTR'den %34 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300'den %25, Devcon A 'dan %25, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %32 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıdan yaklaşık %16 daha fazladır.

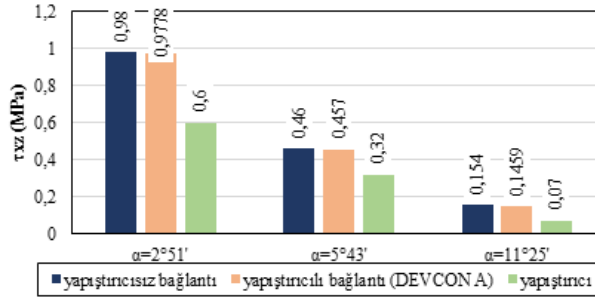
Şekil 3.8. a, b ve c, koni tepe açıları sırasına göre yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana

gelen maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerleri gösterilmektedir.

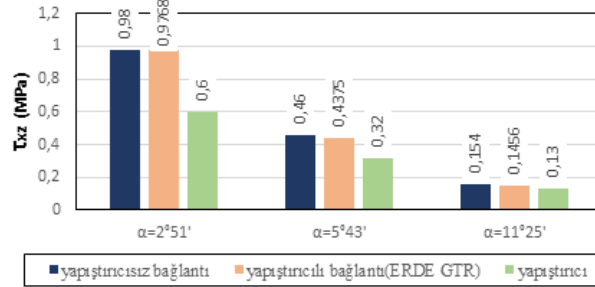
Şekil 3.8'de yapıştırıcı değişiminin yapıştırıcısız bağlantıların maksimum gerilme değerlerinin değişimine etkisinin ve yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların maksimum τ_{xz} kayma gerilmeleri arasındaki farkın az olduğu görülmektedir. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açısı 2°51' olan bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilmesinin koni tepe açısı 5°43' olan bağlantısından %115 daha fazla olduğu görülmektedir. Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açısı 5°43' olan bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilmesinin koni tepe açısı 11°25' olan bağlantısından %208 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8.a. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi



Şekil 3.8.b. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi



Şekil 3.8.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi

4.Genel Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantıların burulma momenti altındaki performansları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

Tüm konik geçme bağlantılarında, koni tepe açısı arttıkça hem Von Mises eşlenik gerilmeleri ($\sigma_{eş}$) hem de τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri azalmaktadır.

Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantıları karşılaştırıldığında $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarda daha yüksek olduğu görülmüştür.

Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıları değerlendirildiğinde, kayma modülü en düşük olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının, aynı moment altında, oluşan $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Koni tepe açısının değişimi bu durumu değiştirmemektedir. Başka bir ifadeyle Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantı tüm açı değerleri için minimum gerilme değerleri sahiptir.

Farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda koni tepe açısı arttıkça maksimum gerilme değerleri arasındaki fark azalır. Yapıştırıcı türünün etkisi, koni tepe açısı 11°25' olan konik geçme bağlantısında diğer iki açı değerine göre daha azdır.

Tüm gerilme dağılımlarının, bindirmenin uçlarında $y/a = 0$ ve $y/a = 1$ ve bindirmenin orta bölgesinde $y/a = 0.50$ minimum değerler aldıkları görülmüştür.

Tüm yapıştırıcılar için τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları incelendiğinde gerilme dağılımları benzer bir değişim sergilemişlerdir.

Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça hem Von Mises eşlenik gerilmelerinin (σ_{es}) hem de τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri azalmaktadır.

Yapıştırıcı tabakada meydana gelen σ_{es} , τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin değerleri tüm bağlantılardan daha düşüktür.

5. Kaynaklar

- Her S., Her C. (2000). Stress analysis of adhesively-bonded lap joints, Department of Mechanical Engineering, Yuan-Ze University, **47**: 673-676.
- Cowdrey S., Ferguson C., Lennox A.F., Mauro P., Neummayer R., Orme B., Müller M.,(1998) Loctite Worldwide Design Handbook, Germany
- U.K. Vaidya, A.R.S. Gautam, M. Hosur, P. Dutta., (2006). Experimental-numerical studies of transverse impact response of adhesively bounded lap joints in structures, Int. Journal of Adhesion & Adhesives, **26**: 184-198
- Yıldırım, M., Apalak, M.K. ve Ekici R., (2008). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Alüminyum-Çelik Sandviç Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi, HaSeM'08 VII. Havacılık Sempozyumu, Kayseri, 15-16 Mayıs, s. 134.
- Wooley, G.R. and Carver, D.R., (1971). Stress Concentration Factors for Bonded Lap Joints, J.Aircraft, **8**, **10**: 817-820.
- Volkersen, O., (1938). Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, **15**: pp. 41-47.
- Volkersen, O., 1965. Recherches sur la theorie des assambleges colles, Construction Metallique, **4**: 3-13.
- Baghari, R. and Marouf, B.T. (2007) Fracture Behavior of Multi-Layered Composites Under Impact Loading. Materials Science and Engineering, **448**: 20-24.
- 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
- Davies P., Sohler L., Cognard J. et all. (2009). Influence of adhesive bondline thickness on joint strength, International Journal of Adhesion & Adhesives, **29**: 724–736.
- Aydın, M.D., Özel, A. and Temiz, Ş., (2005), The effect of adherent thickness on the failure of adhesively bonded single-lap joints, J. Adhesion Sci. Technology, vol **19(8)**: 705-718.
- Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A., (2006). Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives, vol **26**: 237- 248.
- Taş B., İmak A. ve Solmaz M.Y., (2013). Basit ve Dalgalı Bindirme Bağlantılarda Kenar Yapıştırıcı Birikintisinin Bağlantı Mukavemetine Etkisi, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13), 30 October-1 November 2013, 418-422p., Istanbul, Turkey.
- Apalak M.K. and Davies R. (1994), Analysis and design of adhesively bonded corner joints: fillet effect, International Journal of Adhesion and Adhesives, **14**:163-174.
- Nemes, O., Lachaud F., (2010). Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, International Journal of Adhesion & Adhesives, **30**: 288–297.
- Solmaz M.Y., (2008). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Solmaz M.Y., Turgut A.(2010). An Experimental and Numerical Study on the Effects of Taper Angles and Overlap Length on the Failure and Stress Distribution of Adhesively-Bonded Single-Lap Joints, The 1st International Symposium on Computing in Science & Engineering (ISCSE), June, **3-5**, 2010, 866-874 p., Kusadasi, Aydın.
- Aydın S., (2012). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aydın S., Solmaz M.Y., Turgut A..(2011). 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.