

# KAYMA YÜKÜNE MARUZ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDAN YAPISAL YAPIŞTIRICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Murat Demir Aydın\***

Prof. Dr.,  
Erzurum Teknik Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
mdemira@erzurum.edu.tr

**Salih Akpınar**

Yrd. Doç. Dr.,  
Erzurum Teknik Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
salih.akpinar@erzurum.edu.tr

**Adnan Özel**

Prof. Dr.,  
Atatürk Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
Mekanik Anabilim Dalı, Erzurum  
aozel@atauni.edu.tr

**Sadık Erdoğan**

Yrd. Doç. Dr.,  
Atatürk Üniversitesi,  
Erzurum Meslek Yüksek Okulu, Erzurum  
serdogan@atauni.edu.tr

## ÖZ

Yapıştırma bağlantıları havacılık, uzay, denizcilik gibi birçok endüstriyel alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir yapıştırma bağlantısı içindeki yapıştırıcı tabakasının mekanik özelliklerini doğru ve tekrarlanabilir bir biçimde deneysel yollardan belirleyebilmek son derece önemlidir. Tasarım amaçlarına uygun olarak yapıştırıcıların kayma gerilmesi-kayma gerinmesinin tespitinde oldukça sık kullanılan bir yöntem, TAST (Thick Adherent Shear Test) yöntemidir. Bu yöntemin amacı, kayma yüküne maruz yapıştırma bağlantısından yapıştırıcının gerilme-şekil gerinme davranışlarını tekrarlanabilir ve doğru bir biçimde belirlemektir. Bu çalışmada, üç farklı yapısal yapıştırıcı (SBT 9244, FM 73 ve DP 460) kullanılmıştır. Öncelikle, FM 73 film yapıştırıcısı kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen veriler, literatür ile karşılaştırılarak sistemin doğruluğu kontrol edilmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise SBT 9244 ve DP 460 yapısal yapıştırıcılarının kayma gerilmesi-kayma gerinmesi davranışları belirlenmiştir. Sonuçta, TAST yönteminin yapısal yapıştırıcılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde tekrarlanabilir ve doğru veriler ürettiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıştırıcılar, mekanik özellikler, TAST yöntemi

## DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL ADHESIVES FROM ADHESIVELY BONDED JOINTS SUBJECTED TO SHEAR LOAD

### ABSTRACT

Adhesively bonded structures are widely used in many industries such as aerospace, aeronautics, automotive and nautical fields. It is very important to determine accurate and reproducible mechanical properties of an adhesive layer in the adhesively bonded joints via experimental methods. In accordance with the design objectives, a widely used experimental method in the determination of the shear stress-shear strain curve for adhesives is the Thick Adherent Shear Test (TAST). The purpose of this method is to determine the adhesive properties from single lap joints subjected to shear load. In this study, the mechanical properties of adhesives from the joints prepared by using three different structural adhesives (SBT 9244, FM 73 and DP460) are measured via TAST method. Firstly, some experiments were conducted on the samples that were prepared by using FM 73 film adhesive. The obtained data were compared with the literature and system accuracy was controlled. At a later stage of the study, the shear stress-shear strain curves of SBT 9244 and DP 460 structural adhesives were determined. In conclusion, the TAST method is a very affective method of producing repeatable and accurate data in determining mechanical properties of structural adhesives..

**Keywords:** Structural adhesives, mechanical properties, TAST method

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 27.01.2015

Kabul tarihi : 20.08.2015

Aydın, M. D., Akpınar, S., Özel, A., Erdoğan, S. 2015. "Kayma Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 48-55.

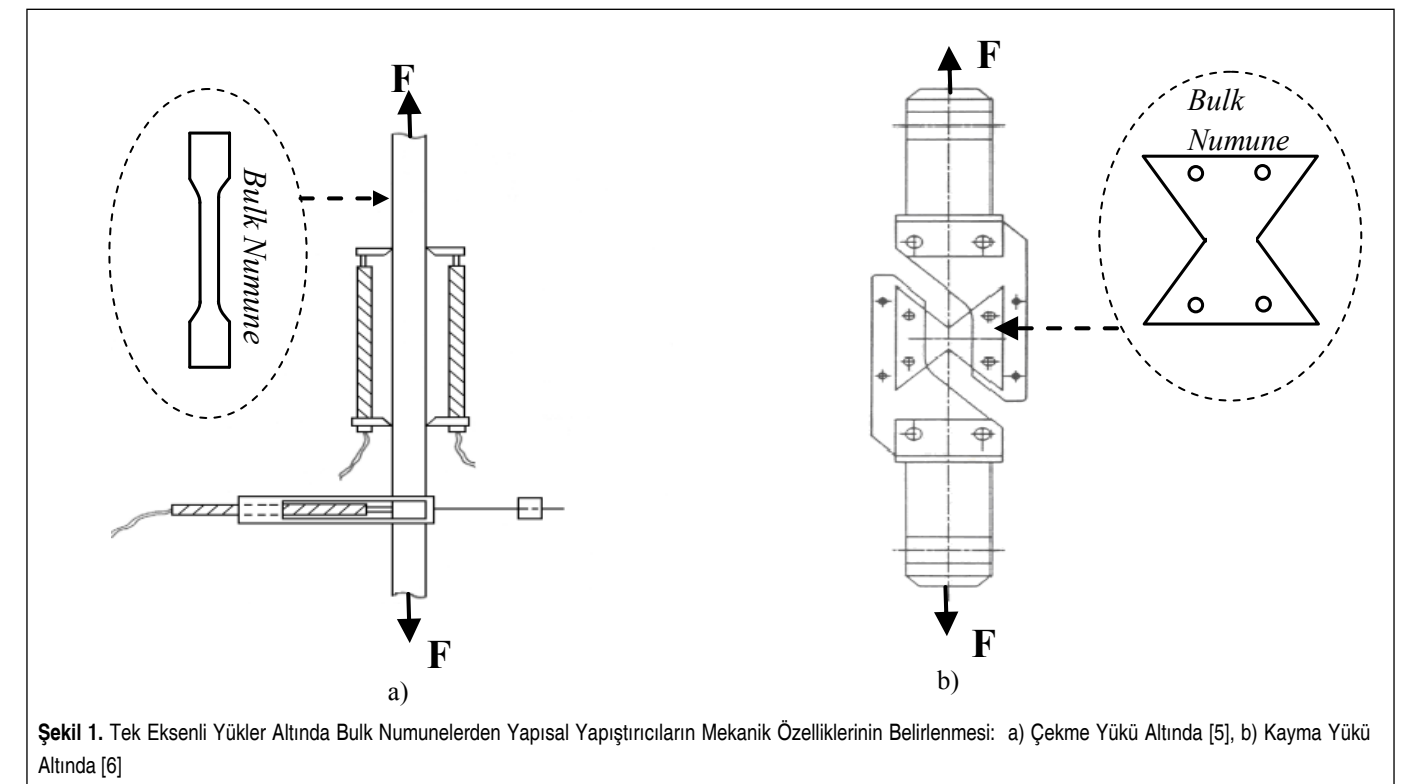
## 1. GİRİŞ

Yapıştırma bağlantıları birçok endüstriyel sektörde (havacılık ve uzay sanayi, otomotiv ve inşaat sektörleri, elektrik-elektronik, deniz taşıtları, bio-medikal alan, spor ekipmanları vb.) anahtar birleştirme teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, yapıştırıcıların mekanik davranışlarının tekrarlanabilir bir biçimde belirlenmesinde yaşanan güçlükler, bu teknolojinin benimsenmesini engelleyen önemli faktörlerden biridir. Bu durum, araştırmacıların tasarım amaçlarına uygun mekanik özelliklerin tespiti üzerine yoğunlaşmalarına sebep olmuştur [1-4].

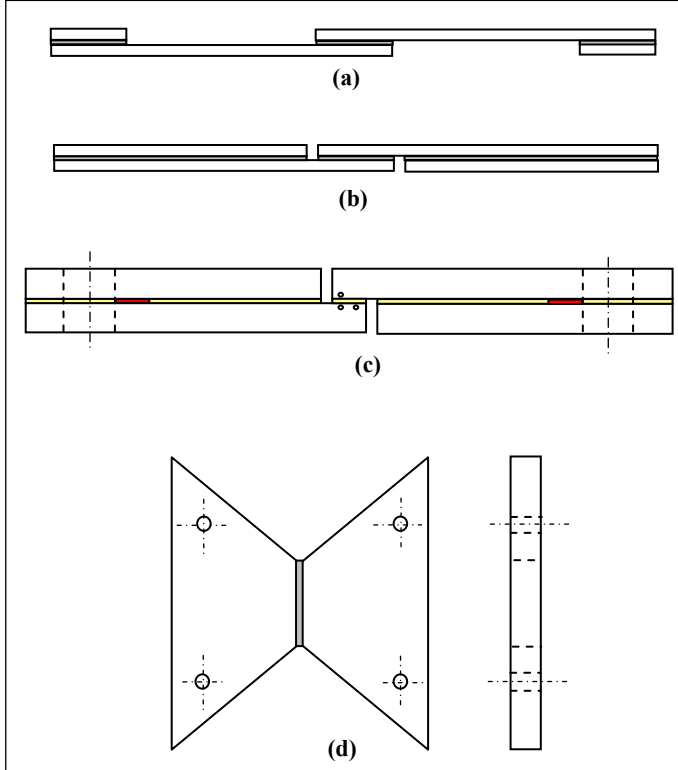
Genellikle mekanik davranış, yük altında malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme-gerinme arasındaki ilişkiyi açıklayan en genel kavramdır. Herhangi bir materyalle yapılacak tasarım için en önemli gereksinimlerden biri, çekme veya kayma yükü altında hasar anına kadar malzemenin göstereceği gerilme-gerinme davranışının belirlenebilmesidir. Günümüzde, yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tespit edildiği birçok deneysel yöntem vardır. Ancak, bu yöntemlerden bir kaç yapıştırıcı için doğrudan uygulanabilir tasarım verileri üretebilir. Genellikle, yapıştırıcıların mekanik özellikleri, kullanılan numune tipine göre bulk ya da yapıştırma bağlantı numuneleri üzerinden temelde iki farklı yükleme (çekme ve kayma) şartında belirlenmektedir (Şekil 1).

Bulk numunelerden mekanik özelliklerinin belirlenmesinde temelde iki problemle karşılaşılır. Numunelerin üretilmesi ve bu numuneler üzerinden şekil değiştirmelerin ölçülmesidir. Genellikle, bulk numuneler hazırlanırken, iki bileşenli yapıştırıcılarda üniform karışım temin edilmeli, hava boşlukları ve yabancı maddelerin oluşturduğu inküzyonlar minimize edilmeli ve yapıştırıcının normalde küreleşmesi için gereken fazla sıcaklık artışı engellenmelidir. Diğer taraftan, yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin (çekme ve kayma modülleri, Poisson oranı, akma ve çekme dayanımı vb.) güvenilirliği, uygulanan kuvvet altında oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitini gerektirir. Bu, seçilen ölçüm sistemi kadar yapıştırıcının doğasına da bağlıdır. Bu nedenle, çekme ve kayma deneylerinde; şekil değişiminin belirlenmesi için kullanılan ölçüm tekniği, deneylerde kullanılan numunelerin kalınlığı ve şekil değiştirme oranı ve miktarı dikkate alınması gereken önemli noktalar [7]. Çekme deneylerinden farklı olarak, plastiklerin kayma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemlerde belirsizlikler bulunmaktadır. Bu yüzden, kayma gerilmesi-kayma gerinmesini bulk numunelerden belirlemek için standart bir deney yöntemi bulunmamaktadır.

Bağlantı şeklindeki deney numunelerini kullanarak yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan standartlaştırılmış birkaç deneysel yöntem vardır (Şekil 2). Bağlantı formundaki numunelerin kullanılması, uygulama



Şekil 1. Tek Eksenli Yükler Altında Bulk Numunelerden Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi: a) Çekme Yükü Altında [5], b) Kayma Yükü Altında [6]



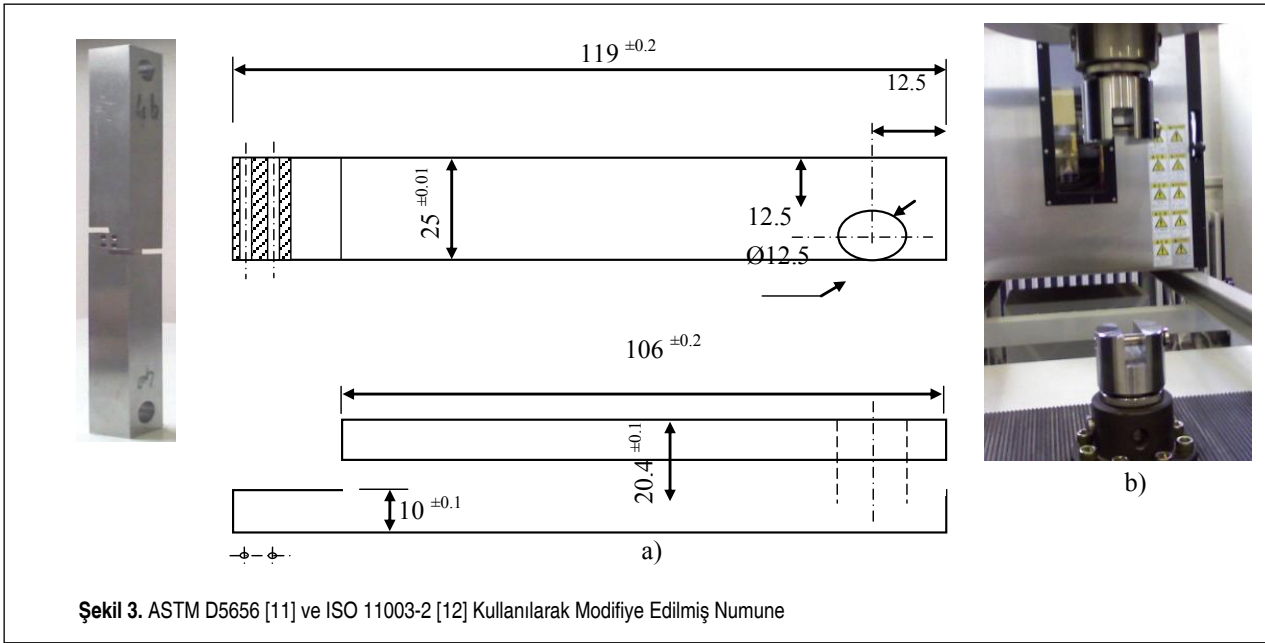
Şekil 2. Yapıştırma Bağlantılarından Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deney Numuneleri: a) ASTM D1002 ve ISO 4587 [8-9], b) ASTM D3165 [10], c) ASTM D5656 ve ISO 11003-2 [11-12], d) Arcan Deney Yöntemi [13-14]

yerindeki orijinal yükleme tipini tam temsil etmesine karşın, önemli iki dezavantajı da beraberinde getirir. Bu tipteki numunelerle yapıştırıcının herhangi bir mekanik özelliğinden çok, yapıştırılan malzemenin yapışabilmesi test edilir.

Bağlantı formundaki numunelerin kullanıldığı yöntemlerden biri olan TAST, numunelerin (Şekil 2c) üretim kolaylığı, deneysel verilerin doğruluğu ve tekrar edilebilirliği açısından yapısal yapıştırıcıların kayma gerilmesi-kayma gerinmesi davranışlarının tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4].

## 2. KALIN YAPIŞTIRILAN MALZEMELER ÜZERİNDEN YAPIŞTIRICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ (TAST)

Tasarım amaçlarına uygun olarak yapıştırıcıların, kayma gerilmesi-kayma gerinmesi verilerinin belirlenmesinde oldukça sık kullanılan bir yöntem, TAST yöntemidir [1]. Bu yöntemin amacı, çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısından yapıştırıcının kayma özelliklerini belirlemektir. Bu deneysel yöntemde, hasarın başlangıcına neden olan diğer gerilmelerin etkisini ortadan kaldırabilmek ve daha düzgün bir kayma gerilmesi dağılımı elde edebilmek için kısa bindirme uzunluklu kalın ve rijit yapıştırılan malzemelerden ibaret tek tesirli bindirme bağlantı numunesi kullanılır (Şekil 3). Numunede yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yerleştirilen, özel amaçla tasarlanmış ekstensometre kullanılarak yapıştırılan malzeme üzerinde bu bölgede oluşan nispi yer değiştirmeler ölçülür. Ölçüm işlemi, numunenin yüklemeye başlandığı andan hasar oluşuncaya kadar devam eder. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme verilerinden, kayma gerilmesi-kayma gerinmesi eğrisi ve diğer mekanik özellikler belirlenir [11-12].

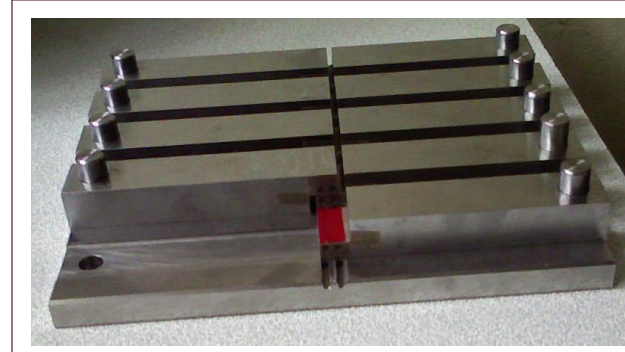


Şekil 3. ASTM D5656 [11] ve ISO 11003-2 [12] Kullanılarak Modifiye Edilmiş Numune

### 2.1 TAST Yönteminde Kullanılan Deney Numunesi

Yapıştırıcı özelliklerinin ölçülebilmesi için yapıştırılan malzemelerin mümkün olduğunca rijit olması istenir. Bu yüzden, buradaki numuneler, Şekil 3a'da verilen geometri ve boyutlarda AISI 1040 çeliğinden üretilmiş numune parçalarının yapıştırılmasından elde edilmiştir. Her bir yapıştırıcı için dört adet, toplamda on iki adet numune hazırlanmıştır. Ayrıca, yapıştırılmış TAST numunelerinin çekme cihazına bağlanabilmesi için bir aparat tasarlanmış ve bunların üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3b).

Çalışmada kullanılan yapıştırıcılar, basınç ve sıcaklık uygulanmasıyla kürleşmektedir. Bu yüzden, çalışma için bir pres tasarlanmıştır. Ayrıca, düzgün bir yapıştırma işlemi, yapış-



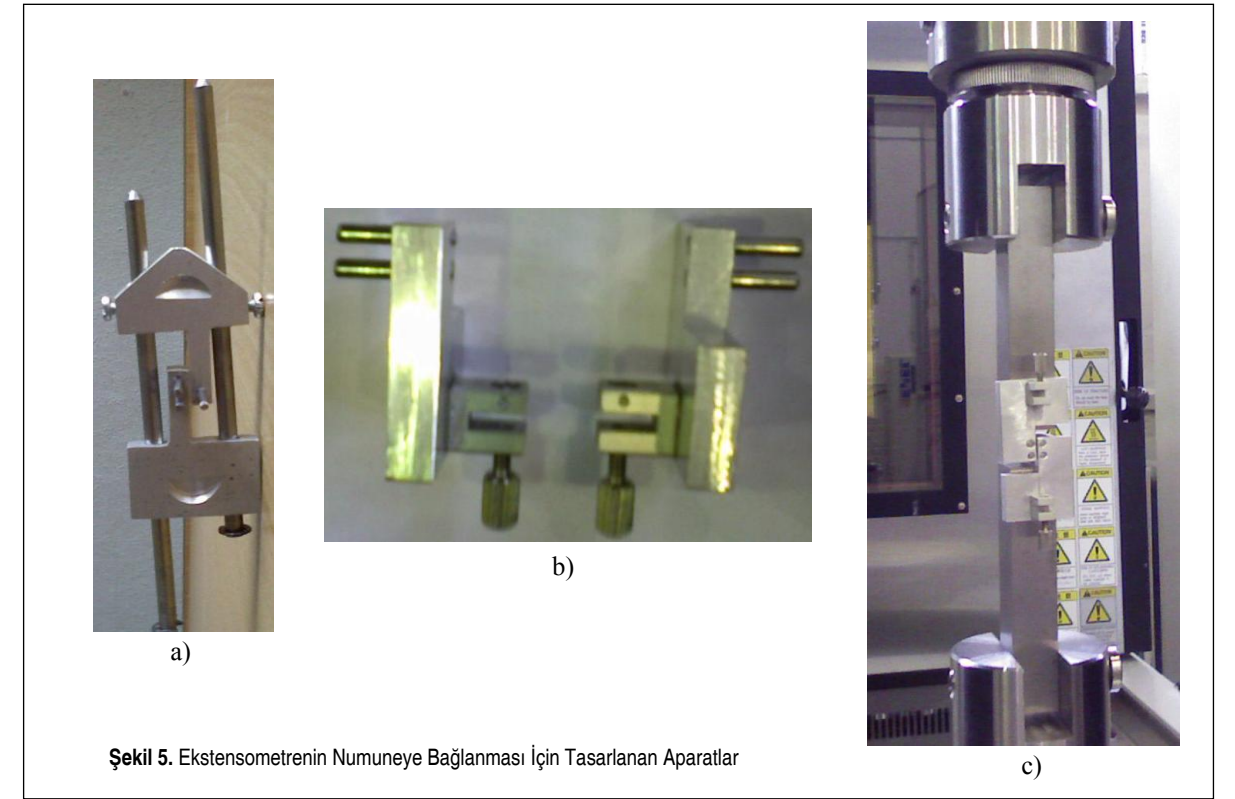
Şekil 4. Deney Numunelerinin Üretilmesinde Kullanılan Kalıp

tırılan malzemelerin konumunun korunabilmesi, yapıştırıcı tabaka kalınlığının ayarlanabilmesi ve aynı zamanda düzgün basınç uygulanabilmesi iyi tasarlanmış bir kalıbın kullanımını gerektirmektedir. Bu yüzden, planlanan çalışmalarda kullanılmak üzere, Şekil 4'te gösterilen kalıp tasarlanıp, üretilmiştir. FM 73 ve SBT 9244 için yapıştırma işlemi, bu kalıp içerisinde 0,1 MPa basınç ve 140 °C sıcaklık uygulanarak gerçekleştirilmiştir. DP 460 kullanılarak hazırlanan numunelerin kürleşmesi, kalıp içerisinde ve oda sıcaklığında sağlanmıştır.

Bu çalışmada, üç farklı yapıştırıcının kayma gerilmesi-kayma gerinmesi verileri elde edilmiştir. Öncelikle, literatürde oldukça sık karşılaşılan FM 73 film yapıştırıcısı kullanılarak sistemden elde edilen verilerin doğruluğu kontrol edilmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise SBT 9244 ve DP 460 yapısal yapıştırıcılarının kayma davranışları belirlenmiştir.

### 2.2 Ekstensometre

Bu yöntemde, yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölgede kayma gerinmesi verilerinin doğru ölçülmesi son derece önemlidir ve özel ekstensometre kullanılmasını gerektirir. TAST için üretilen deney numuneleri üzerine SG25-50CA model ekstensometre yerleştirilerek kayma gerinmesi verilerinin toplanabilmesi için, daha evvel Şekil 5a'da detayları verilen 3 pimli aparat tasarlanmış ve üretilmiştir. Bununla birlik-



Şekil 5. Ekstensometrenin Numuneye Bağlanması İçin Tasarlanan Aparatlar

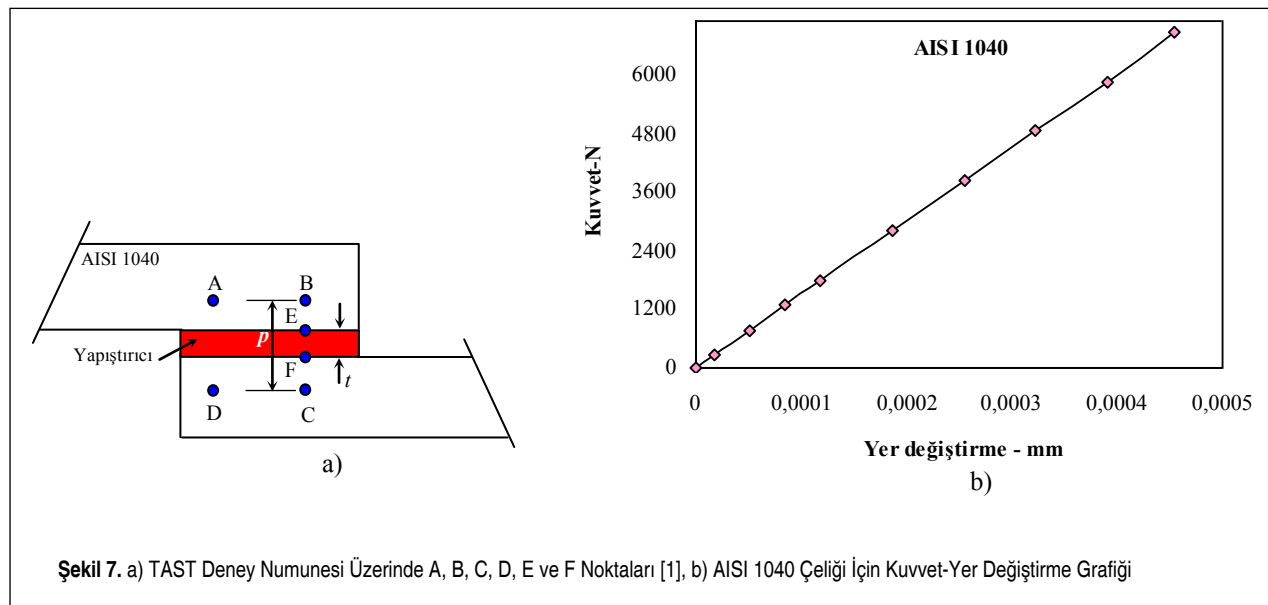
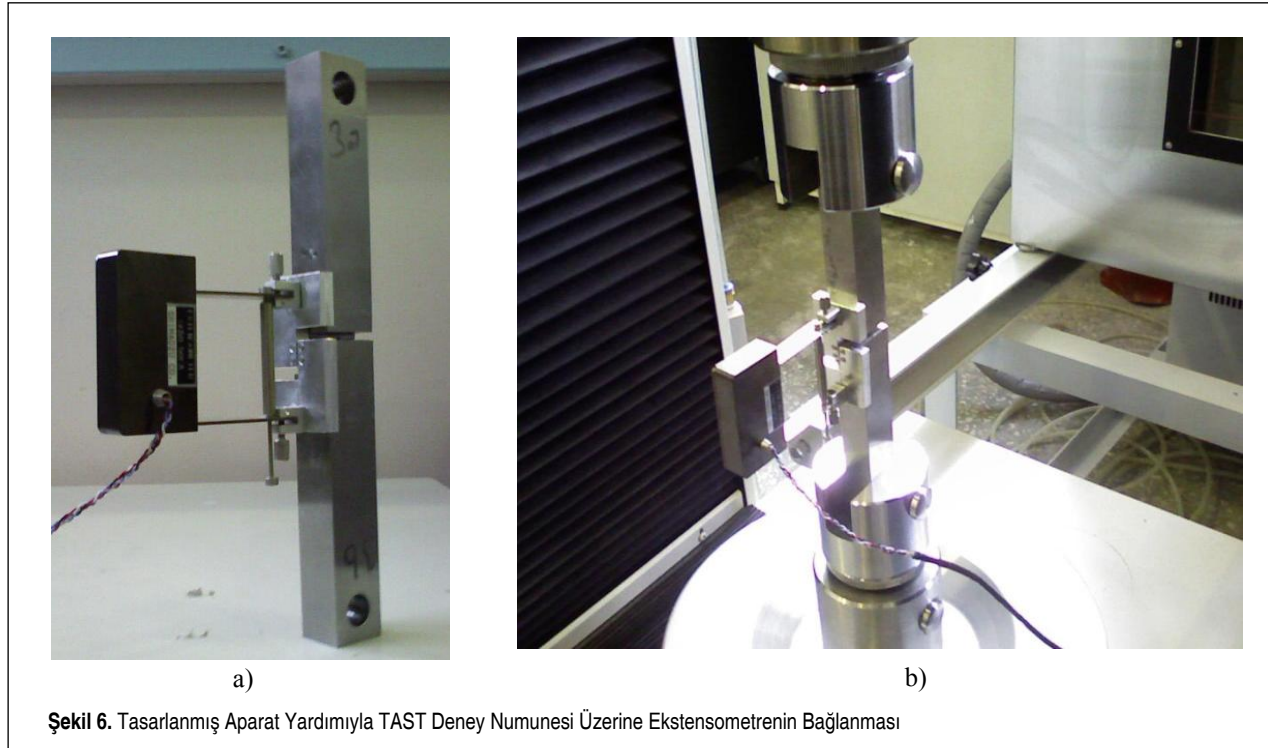


te, TAST numuneleri üzerinde yapılan ilk deney sonuçlarında büyük farkların olduğu görülmüştür. Bu durumun aşağıda verilen sebeplerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

- Yüklü durumdayken 3 pimli ekstensometre tutucusunda meydana gelen dönme. Çok küçük dönmeler bile, çok küçük yer değiştirmeler ölçüldüğünden son derece önemlidir [1].
- Numune üzerine aparatlar pimler vasıtasıyla bağlanmak-

tadır (Şekil 5a). Bu pimler ile numune üzerindeki delikler arasındaki fark, deneyler esnasında ilk aparatın numune üzerinden kaymasına neden olmuştur [1].

Yukarıda bahsedilen farklar, aparat üzerine dördüncü bir pimin eklenmesi (Şekil 5b ve c) ve numune üzerine açılan deliklerin tolerans sınırlarının daraltılması ile azaltılmıştır. Böylece, aparatın numune üzerinde dönmesi ve kayması engellenmiştir.



### 2.3 TAST Deney İşlemi

ISO 11003-2 göre, hazırlanmış toplam dört adet numuneye aynı deney aşamaları uygulanmıştır. Hesaplamalarda kullanılmak üzere, deneyler öncesi her numunenin yapıştırıcı tabaka kalınlığı ölçülmüş ve deneylerinin tümü bilgisayar kontrollü Shimadzu AG-I üniversal test cihazında ortam sıcaklığı olan 17 °C ve %50 nem oranında, dakikada 2450 N'luk bir kuvvet uygulanarak yapılmıştır. Aynı zamanda numuneler test edilirken kuvvet-yer değiştirme verileri, numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük ve hasar tipi kaydedilmiştir.

Deney esnasında yapıştırıcıda oluşan kayma gerinmesini belirleyebilmek için ekstensometre kullanılmıştır (Şekil 6a). Önce, bu ekstensometre numune üzerine yerleştirilmiş, daha sonra bu numuneler, çekme cihazına bağlanmıştır (Şekil 6b).

Kayma gerinmesi, E noktasının F noktasına göre yer değiştirmesinin yapıştırıcı tabaka kalınlığına (t) bölünmesiyle elde edilir. Ekstensometreden elde edilen değerler, B noktasının C noktasına göre bağlı yer değiştirmesidir. Kayma gerinmesinin doğru olarak belirlenmesi için; BE ve FC arasındaki yer değiştirmelerin, ekstensometreden elde edilen değerden çıkarılması gerekir (Şekil 7a). Bunun için BE ve FC noktaları arasındaki yer değiştirmeler, sonlu eleman yöntemiyle elde edilmiştir (Şekil 7b).

Numune üzerine yerleştirilmiş ekstensometreden elde edilen yer değiştirme  $\Delta_a$  ve BE ve FC noktaları arasındaki yer değiştirme  $\Delta_m$  olmak üzere, yapıştırıcı tabakasında meydana gelen kayma gerinmesi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir [1].

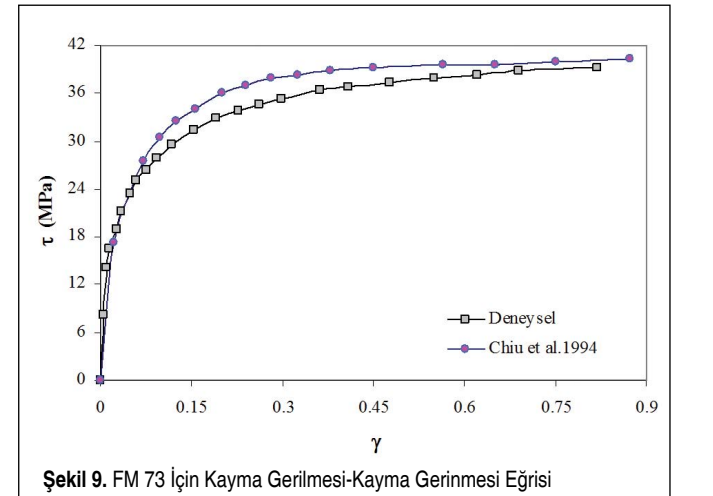
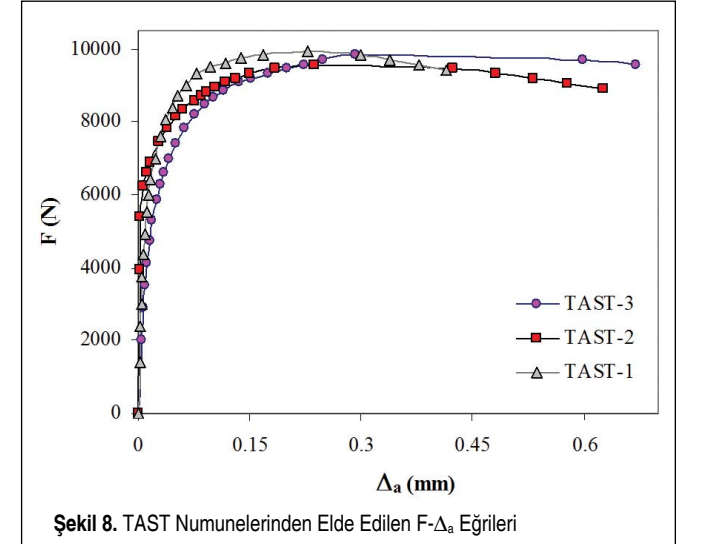
$$\gamma_i = \frac{\Delta_a - \Delta_m}{t} \quad (1)$$

$$\Delta_m = \frac{p-t}{p} M \frac{F}{1000} \quad (2)$$

$$\tau_i = \frac{F}{l \cdot w} \quad (3)$$

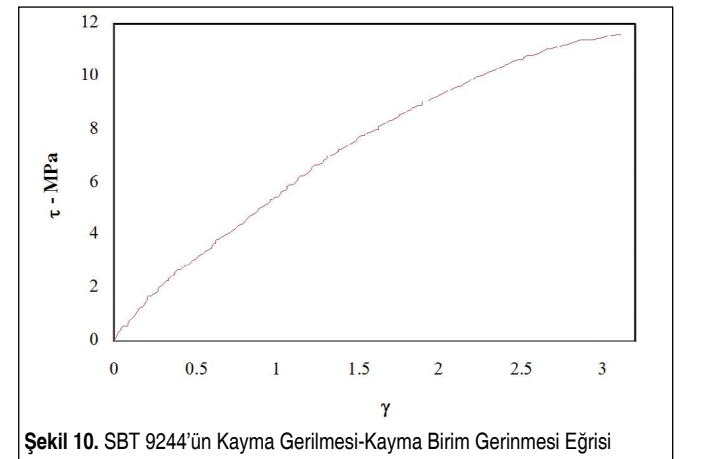
Şekil 8 'de, FM 73 kullanılarak üretilmiş TAST numunelerinden 2450 N/dak hızda kopma gerçekleşinceye kadar çekilen 3 adet numuneden elde edilen kuvvet-yer değiştirme ( $F-\Delta_a$ ) eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden, yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak FM 73 için kayma gerilmesi-kayma gerinmesi ( $\tau-\gamma$ ) diyagramı elde edilmiştir (Şekil 9).

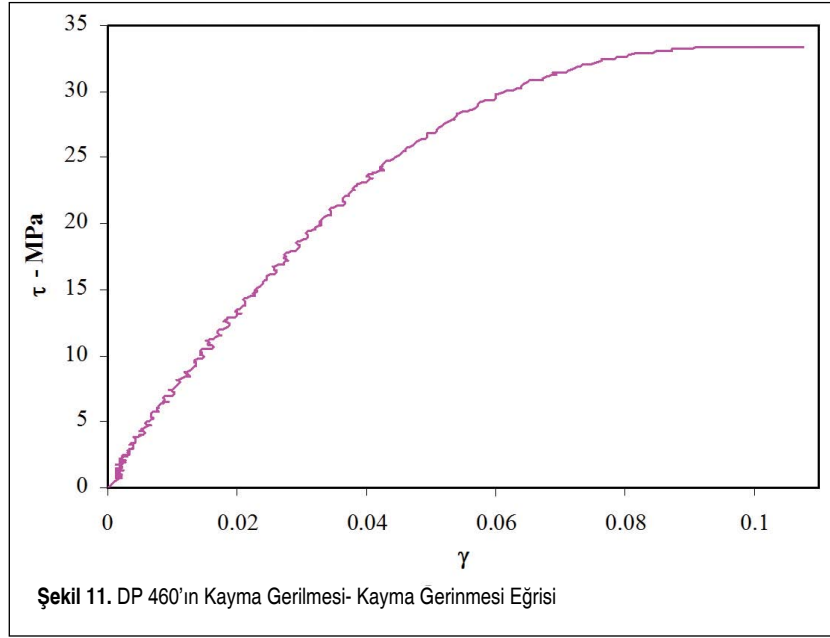
Çalışma kapsamında yapılan deneysel analizler sonucu belirlenen FM 73'ün kayma davranışı (Şekil 9 ve Tablo 1) Chiu



**Tablo 1.** FM 73 İçin Elde Edilen Mekanik Özellikler ve Literatürle Karşılaştırma

	t- mm	$\tau_{LL}$ - MPa	$\gamma_{LL}$	$\tau_u$ - MPa	$\gamma_u$	G - Mpa
FM 73	0.34	16.6	0.015491	39.3	0.818628	787
FM 73 [15-17]	-	17.3	0.021	40.9	0.873	842





Şekil 11. DP 460'ın Kayma Gerilmesi- Kayma Gerinmesi Eğrisi

bağlantısından yapıştırıcının kayma özelliklerini belirlemektir. Bu deneysel yöntemde, hasarın başlangıcına neden olan diğer gerilmelerin etkisini ortadan kaldırabilmek ve daha düzgün bir kayma gerilmesi dağılımı elde edebilmek için kısa bindirme uzunluklu kalın ve rijit yapıştırılan malzemelerden ibaret tek tesirli bindirme bağlantı numunesi kullanılır (Şekil 3). Numunede yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yerleştirilen özel amaçla tasarlanmış ekstensometre kullanılarak yapıştırılan malzeme üzerinde bu bölgede oluşan nispi yer değiştirmeler ölçülür. Ölçüm işlemi, numunenin yüklemeye başladığı andan hasar oluşuncaya kadar devam eder. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme verilerinden, kayma gerilmesi-kayma gerinmesi eğrisi ve diğer mekanik özellikler belirlenir.

ve arkadaşları (1994) [15] ve Chun ve arkadaşları (2000) [16] tarafından yapılan çalışmalarla karşılaştırılırsa, elde edilen deneysel sonuçlarla küçük farklılıklar dışında oldukça iyi bir uyum olduğu görülür. Kayma eğrisinde görülen bu küçük farklılığın, çalışma ortam sıcaklığının literatürdeki çalışmalarda 24 °C, proje kapsamındaki ise 17 °C olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sonuç olarak, kurulan sistemin doğruluğu sağlanmış ve diğer yapıştırıcıların kayma davranışlarının da kurulan bu sistemle belirlenebileceğine karar verilmiştir.

Tablo 2. SBT 9244 ve DP 460 için Elde Edilen Mekanik Özellikler

Yapıştırıcı	t- mm	$\tau_{LL}$ - MPa	$\gamma_{LL}$	$t_u$ - MPa	$g_u$	G - MPa
SBT 9244	0.32	-	-	11,62	3,11	9,8
DP 460	0.36	23,99	0,04258	33,35	0,10767	560

Sistemin doğruluğunun tespitine yönelik denemeler sonrası, SBT 9244 ve DP 460 kullanılarak TAST numuneleri üretilmiştir. Daha sonra bu numuneler, dakikada 2450 N'luk bir kuvvetle artışı ile hasar oluncaya kadar yüklenmiştir. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme ( $F - \Delta_a$ ) verileri kullanılarak SBT 9244 ve DP 460 için kayma gerilmesi-kayma gerinmesi ( $\tau - \gamma$ ) diyagramları elde edilmiştir (Şekil 10 ve 11).

### 3. SONUÇ

Yapıştırıcıların kayma gerilmesi-kayma gerinmesi tespitinde oldukça sık kullanılan bir yöntem, TAST yöntemidir. Bu yöntemin amacı, kayma yüküne maruz tek tesirli bindirme

Yapılan deneysel analizler sonucu belirlenen FM 73 yapıştırıcısının kayma davranışı Chiu ve arkadaşları [15] ve Crocombe [17] tarafından yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, elde edilen deneysel sonuçlar küçük farklılıklar dışında oldukça iyi bir uyumun olduğu görülmektedir. Kayma eğrisinde görülen bu küçük farklılığın, çalışma ortam sıcaklığının literatürdeki çalışmalarda 24 °C, bu çalışmada ise 17 °C olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

SBT 9244 film ve DP 460 sıvı yapıştırıcılarına ait mekanik özellikler Tablo 2'de verilirken, kayma gerilmesi- kayma gerinmesi eğrileri sırasıyla, Şekil 10 ve 11'de verilmiştir. SBT 9244, DP 460'a göre oldukça esnek karakterde bir yapıştırıcı olduğu, verilen grafiklerden açıkça görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, TAST yönteminin yapısal yapıştırıcılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde tekrarlanabilir ve doğru veriler ürettiği görülmüştür.

### SEMBOLLER

$\tau_i$	Kayma gerilmesi, MPa
$\gamma_i$	Kayma gerinmesi
$\Delta_a$	Numune üzerine yerleştirilmiş ekstensometreden okunan yer değiştirme, mm
$\Delta_m$	BE veya FC noktaları arasındaki dikey yer değiştirme, mm
F	Uygulanan kuvvet, N
t	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı, mm

p	Pim delikleri arası mesafe, mm
l	Bindirme uzunluğu, mm
w	Numune genişliği, mm
M	1000 N'luk bir yükte metalde meydana gelen yer değiştirme, mm
$\tau_{LL}$	Lineer limitteki kayma gerilmesi, MPa
$\gamma_{LL}$	Lineer limitteki kayma gerinmesi
$\tau_u$	Kayma dayanımı, MPa
$\gamma_{LL}$	Kayma dayanımındaki kayma gerinmesi
G	Kayma modülü

### KAYNAKÇA

1. Tomblin, J. S., Yang, C., Harter, P. 2001. "Investigation of Thick Bond Line Adhesive Joint," Final Report, DOT/FAA/AR-01/33, U.S. Department of Transportation, Washington, USA.
2. Cognard, J. Y., Creachcadec, R. 2009. "Analysis of the Non-linear Behavior of an Adhesive in Bonded Assemblies Under Shear Loadings: Proposal of an Improved TAST," Journal of Adhesion Science and Technology, vol. 23, p. 1333-1355.
3. Creachcadec, R., Sohier, L., Cellard, C., Gineste, B. 2015. "A Stress Concentration-Free Bonded Arcan Tensile Compression Shear Test Specimen for the Evaluation of Adhesive Mechanical Response," International Journal of Adhesion&Adhesives, vol. 61, p. 81-92.
4. Cognard, J. Y., Creachcadec, R., Sohier, L., Leguillon, D. 2010. "Influence of Adhesive Thickness on the Behaviour of Bonded Assemblies under Shear Loadings Using a Modified TAST Fixture," International Journal of Adhesion&Adhesives, vol. 30, p. 257-266.
5. ISO 527-2: 2012. Plastics- Determination of Tensile Properties, Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics.
6. Dean, G. D., Duncan, B. C., Adams, R. D., Thomas, R., Vaughn, L. 1996. "Comparison of Bulk and Joint Specimen Tests for Determining the Shear Properties of Adhesives,"

- NPL Report CMMT(B) 51, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK.
7. Duncan, B. C., Girardi, M. A., Read, B. E. 1994. "The Preparation of Bulk Adhesive Samples for Mechanical Testing," NPL Report DMM(B) 339, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK.
8. ASTM D1002: 2010. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal).
9. ISO 4587: 2003. Adhesives- Determination of Tensile Lap-Shear Strength of Rigid-to-Rigid Bonded Assemblies.
10. ASTM D3165: 2014. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies.
11. ASTM D5656: 2010. Standart Test Method for Thick-Adherend Metal Lap-Shear Joints of the Stress-Strain Behaviour of Adhesives in Shear by Tension Loading.
12. ISO 11003-2: 2012. Determination of Shear Behaviour of Structural Adhesives- Part 2: Tensile Test Method Using Thick Adherends.
13. Arcan, M., Hashin, Z., Voloshin, A. 1978. "A Method to Produce Uniform Plane-Stress States with Applications to Fibre Reinforced Materials," Experimental Mechanics, vol. 18 (4), p. 141-146.
14. Duncan, B. C., Dean, G. D. 1996. "Notched-Beam Shear (Iosipescu) and Notched-Plate Shear (Arcan) Methods for Bulk and Joint Test Specimens," NPL Report CMMT(B) 56, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK.
15. Chiu, W. K., Chalkley, P. D., Jones, R. 1994. "Effects of Temperature on the Shear Stress-Strain Behaviour of Structural Adhesives (FM73)," Computers and Structures, vol. 53, p. 483-489.
16. Chun, H. W., Chalkley, P. D. 2000. "Plastic Yielding of a Film Adhesive under Multiaxial Stresses," International Journal of Adhesion&Adhesives, vol. 20, p.155-164.
17. Crocombe, A. D. 1995. "Modelling and Predicting the Effects of Test Speed on the Strength of Joints Made with FM 73 Adhesive," International Journal of Adhesion&Adhesives, vol. 15, p. 21-27.