

PİM BAĞLANTILI TABAKALI KOMPOZİT PLAKADA ÖN GERİLME MOMENTİ İLE GEOMETRİK PARAMETRE DEĞİŞİMİNİN HASAR ANALİZİNE ETKİSİ

Yeliz PEKBAY

Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, pim bağlantılı kompozit plakanın hasar yükü ve hasar modu deneysel olarak tespit edilmiştir. Kompozit malzeme, [0/90/±60]_s dizilimine sahip ve hacimce fiber yüzdesi yaklaşık %60 olan cam lifi-epoksidir. Ayrıca, ön gerilme momenti (M), plakanın bir kenarından delik merkezine olan mesafesinin delik çapına oranı (E/D) ve kompozit plaka genişliğinin delik çapına oranı (W/D) gibi parametrelerin, hasara olan etkileri incelenmiştir. Malzemeye ait mekanik özellikler, ASTM standartlarına uygun (ASTM 3039-76, ASTM 3518-76, ASTM D 5379, ASTM 3410-75) olarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Bu çalışmada toplam 150 adet deney numunesi kullanılmıştır. Deney numunelerinde, ön gerilme momenti (M), E/D ve W/D oranları sırasıyla; 0-4 Nm, 1 den 5'e kadar ve 2 den 6'a kadar değiştirilmiştir. Ön gerilme momentsiz deneylerde, plakanın deliği, rijit bir pim tarafından çekme yüküne maruz kalmıştır. Ön gerilme momentli deneylerde ise, ön gerilme momenti, bir torkmetre yardımıyla, civata 4 Nm sıkılarak elde edilmiştir. Yapılan deneylerle, numuneler üzerindeki hasar tipleri ve maksimum hasar yükleri tespit edilmiştir. Tüm numunelerde, E/D ve W/D oranlarına bağlı olarak yatak, kayma, net çeki ve bunların kombinasyonları olan hasar tipleri oluşmuştur. Ayrıca, ön gerilme momentinin, yatak mukavemetini artırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Cam lifi-epoksi, Hasar modu, Hasar yükü, Ön gerilme momenti, Yatak gerilmesi.

EFFECT OF PRELOAD MOMENT AND GEOMETRICAL PARAMETERS TO FAILURE BEHAVIOUR OF PIN-LOADED LAMINATED COMPOSITE PLATES

ABSTRACT

In this study, failure mode and failure loads of composite plate were determined experimentally. The composite material which have the stacking sequence of [0/90/±60]_s and approximately 60% fiber volume fraction was E glass-Epoxy. Besides, it was investigated effect of failure behaviour of the preload moment (M), end distance to diameter (E/D) and width to diameter ratios (W/D). The mechanical properties of the composite material were obtained from standard tests: ASTM 3039-76, ASTM 3518-76, ASTM D 5379, ASTM 3410-75. In this study, a total of 150 different pin-loaded composite plate specimens were tested under static loading conditions. In experiments, the preload moment (M), end distance to diameter (E/D) and width to diameter ratios (W/D) changed from 0-4 Nm, 1 to 5 and 2 to 6 respectively. In experiments without a preload moment, the hole of the plate exposed to a

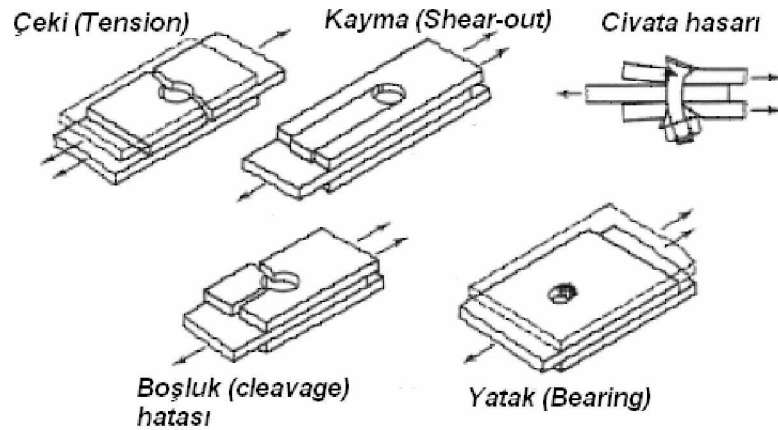
traction force by a rigid pin. In experiments with a preload moment, the preload moment was obtained by using a torkmeter under 4 Nm, by a bolt impacted by a preload and washer on a circular hole. As a result of experimental data, failure types and ultimate failure loads were defined in the specimens. Bearing, shear-out, net-tension and combination of these failures modes were occurred. In addition, it was shown that bearing strength increased with increasing of the preload moment.

Keywords: E-glass-Epoxy, Failure strength, Failure mode, Preload moment, Ultimate bearing strength

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak, hafif ve yüksek mukavemetli yapıların kullanılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle, kompozit malzemeler, geleneksel mühendislik malzemelerine nazaran, bir çok avantajından dolayı havacılık, otomotiv, imalat sanayi ve inşaat-tarım sektörü gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Kompozit malzemeler, yapıştırılarak ya da pim yardımıyla mekanik olarak birleştirilmektedir. Pim ile yapılan birleştirmelerde, özellikle delik çevresinde meydana gelen gerilme yığılmalarından dolayı, beklenen mukavemet değerinin altında bir değerde hasar meydana gelmektedir. Pim veya civata bağlantılı kompozit malzemelerde, bağlantı noktalarında genel olarak yatak (bearing), kayma ya da yırtılma (shear-out) ve net çeki (net tension) hatası olmak üzere 3 temel hasar modu oluşmaktadır. Ayrıca civata ve boşluk (cleavage) hataları da görülebilir. Şekil 1’de en genel halde görülen hasar modları verilmiştir [1, 2]. Ayrıca bu hasar modlarının kombinasyonları da olabilir. Çeki ve kayma hasarları aniden meydana geldiği için tehlikelidir. Yatak hasar modunda ise ilk hasar oluşmasına rağmen, malzeme yük taşımaya devam eder. Bu nedenle, yatak hasar modu, çeki ve kayma hasar moduna göre daha güvenilirdir.



Şekil 1. En genel durumda görülen hasar modları

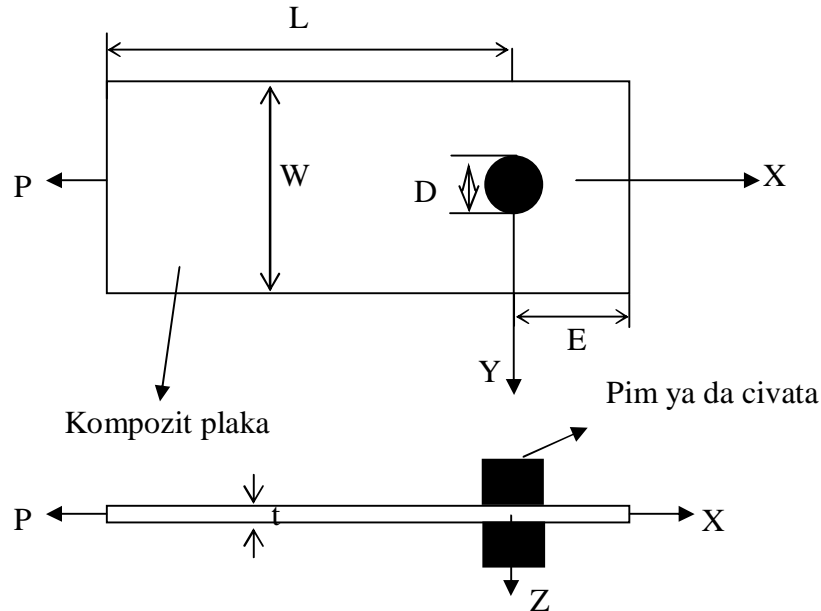
Bu çalışmada da kompozit malzemelerin bağlantı noktalarında meydana gelebilecek hasar türleri ve bu hasarların kompozit malzemeye olan etkileri incelenmiştir. Kompozit malzemeden imal edilen bir elemanın bağlantı yerlerinde oluşacak hasar yükü ve başlangıç hasarının pozisyonu ile hasarın ilerleme yönü, kompozit malzemenin oryantasyon açısına, tabaka sayısına, geometrik özelliklerine, bağlantı tipine ve yükleme durumuna bağlı olarak değişir. Bu nedenle dizayn yapılırken bu faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir.

Güvenilir olmasından dolayı, malzemede yatak hasar modu oluşacak şekilde bir optimum dizayn yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, pim ve civata bağlantılı, cam lifi–epoksi kompozit plakanın çeki yükü altındaki hasar yükü ve hasar modu, deneysel olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kompozit plaka genişliğinin delik çapına oranı (W/D), plakanın bir kenarından delik merkezine olan mesafesinin delik çapına oranı (E/D) ve ön gerilme momenti gibi parametrelerin hasara olan etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, hasar analizi yapılan deney numuneleri, sabit sıcaklık ve basınç altında el yatırma tekniği ile üretilen, hacimce fiber yüzdesi yaklaşık %60 olan, [0/90/60/-60/-60/60/90/0] dizilişine sahip cam lifi-epoksi kompozit malzemesidir. Dışarıdan hazır olarak alınan cam elyafı, bir fırça yardımıyla ara katmanlara epoksi sürülerek, istenilen kalınlık ve tabaka dizilimi sağlanmıştır. 120°C sıcaklık 10 MPa basınç altında 30 dakika fırınlanıp oda sıcaklığına getirilmiştir. Üretim işleminden sonra, kompozit plakanın kalınlığı 1,6 mm olarak ölçülmüştür. Daha sonra, plaka, numune boyutlarında kesilerek, delik çapı D (5mm), kalınlığı t (1,6 mm), genişliği W , uzunluğu $L+E$ (90mm) olan bir kompozit plaka haline getirilmiştir. Deneyler esnasında, delik çapı ($D=5$ mm), plaka uzunluğu ($L+E=90$ mm) ve plaka kalınlığı ($t=1,6$ mm) sabit olarak alınmış, diğer parametreler W ve E uzunlukları değiştirilmiştir. Şekil 2’de tanımlanan parametreler görülmektedir. Yüklemelerde, plakaya paralel ve merkez çizgisine göre simetrik bir P yükü uygulanmıştır. Bu şekilde herhangi bir eğilme momentinin oluşması engellenmiştir.



Şekil 2. Dairesel kesite sahip pimli yada civatalı bağlantısı yapılan numune boyutları

Bu çalışmada, W/D ve E/D oranlarının hasar tipine ve hasar yüküne olan etkilerini görebilmek için, W/D oranı 2’den 6’ya, E/D oranı ise 1’den 5’e kadar değiştirilmiştir. Ayrıca, incelen bir diğer parametre de ön gerilme momentidir. Bu parametrelerin incelenmesi için, toplam 150 adet deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunelerinin 75 adetinde, plaka genişliği W , 10 mm’den 30mm’ye, plakanın bir kenarından delik merkezine olan mesafesi E ,

5 mm'den 25 mm'ye değiştirilirken herhangi bir öngerilme momenti uygulanmamıştır. Diğer 75 adet deney numunesinde ise, bu parametrelere ek olarak 4 Nm değerinde bir öngerilme momenti verilmiştir.

2.1 Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, kompozit malzemenin mekanik özellikleri ile dayanımları nasıl tespit edildiği açıklanacaktır. Malzemeye ait mekanik özellikler, ASTM standartlarına uygun (ASTM 3039-76, ASTM 3518-76, ASTM D 5379, ASTM 3410-75) olarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri statik yük altında, çekme, basma ve kayma deneyleri yapılarak bulunmuştur [3, 4]. Çekme deneylerinden, E_1 (Longitudinal Modulus), ν_{12} (Poisson's Ratio) and X_t (Longitudinal tensile strength) değerleri elde edilmiştir. Bası deneyinden ise, E_2 (Transverse Modulus), X_c (Longitudinal compressive strength) ve Y_c (Transverse compressive strength) değerleri elde edilmiştir. Kayma modülü G_{12} (Shear Modulus) elde etmek için ise, strain gauge, fiberlerin yükleme doğrultusu ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Yapılan deneylerde, strain gauge, fiber doğrultusunda, fiber doğrultusuna dik ve fiberlerin yükleme doğrultusu ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilerek, çeki ve bası deneyleri yapılmıştır. S kayma mukavemetini (Shear strength) tespit etmek için de "T şekilli" ("T shape") standart deney numunelerinden yararlanılmıştır.

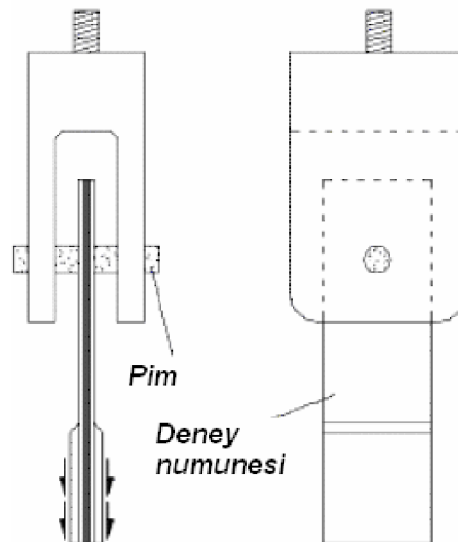
Çizelge 1'de cam lifi epoksi kompozit malzemesinin deneysel olarak elde edilen, mekanik özellikleri ile dayanımları görülmektedir.

Çizelge 1. Cam lifi-epoksi kompozit malzemesinin mekanik özellikleri

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G_{12} (MPa)	ν_{12}	X_t (MPa)	X_c (MPa)	Y_t (MPa)	Y_c (MPa)	S (MPa)	V_f (%)
37200	16400	6400	0,28	950	945	85	157	87	60

2.2 Hasar Davranış Deneylerin Yapılması

Kompozit plağın hasar yükü ve hasar modları, 50kN kapasiteli Instron-1114 çekme cihazında yapılmıştır. Deney numuneleri 0,5 mm/ dak hızla, Şekil 3' de görülen bir aparatla çekilerek yük-uzama eğrileri elde edilmiştir [5]. Şekil 4'de ise çekme cihazında yapılan deney görülmektedir.



Şekil 3. Pimle çekme deney düzeneği



Şekil 4. Numunelerin test cihazına bağlanması

Deneyleer iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, 75 adet deney numunelerine herhangi bir öngerilme momenti verilmemiştir. Ön gerilme momentsiz deneyleerde, plakanın deliği, rijit bir pim tarafından çekme yüküne maruz kalmıştır. İkinci kısımda ise, 75 adet deney numunesine, bir öngerilme momenti verilmiştir. Ön gerilme momentli deneyleerde ise, ön gerilme momenti, bir torkmetre yardımıyla, civata 4 Nm sıkılarak elde edilmiştir.

Çekme cihazına bağlı olan deney numuneleri, hasar meydana gelinceye kadar yüklenmiş ve yük-uzama eğrileri elde edilmiştir. Her bir geometri için, 3 adet deney yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hasar yükü tespit edilmiştir. Deneyleer esnasında hasar ilerlemesine bakılarak, hasar tipleri bulunmuştur. Ayrıca tüm deney numuneleri için yatak gerilmesi (σ_B), çeki gerilmesi (σ_T) ve kayma gerilmeleri (τ_s) aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunmuştur [6]:

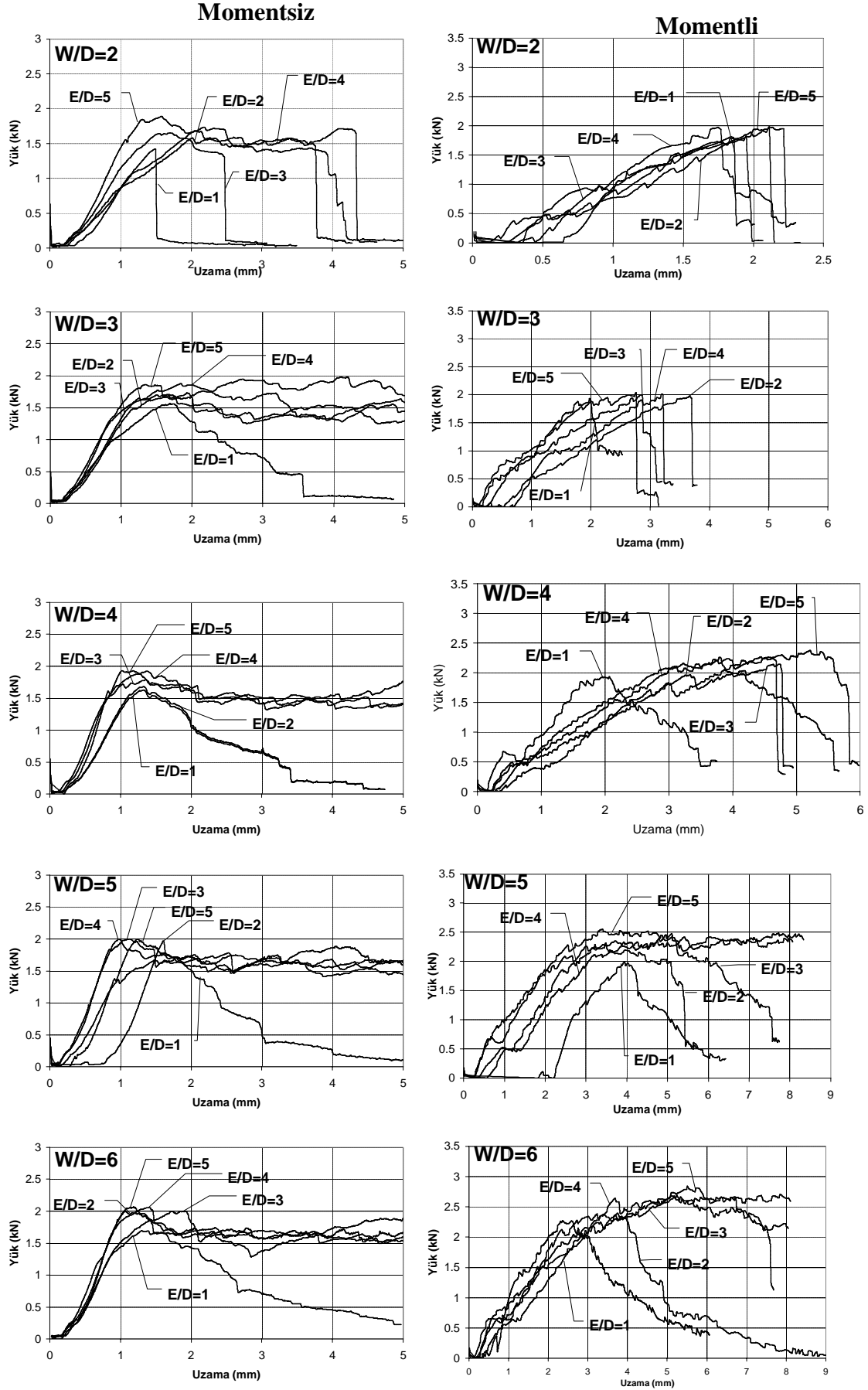
$$\text{Yatak Gerilmesi (Ultimate bearing strength), } \sigma_B = \frac{P}{Dt} \quad (1)$$

$$\text{Çeki Gerilmesi (Net ultimate tensile strength), } \sigma_T = \frac{P}{(W - D)t} \quad (2)$$

$$\text{Kayma Gerilmesi (Ultimate shear strength), } \tau_s = \frac{P}{2Et} \quad (3)$$

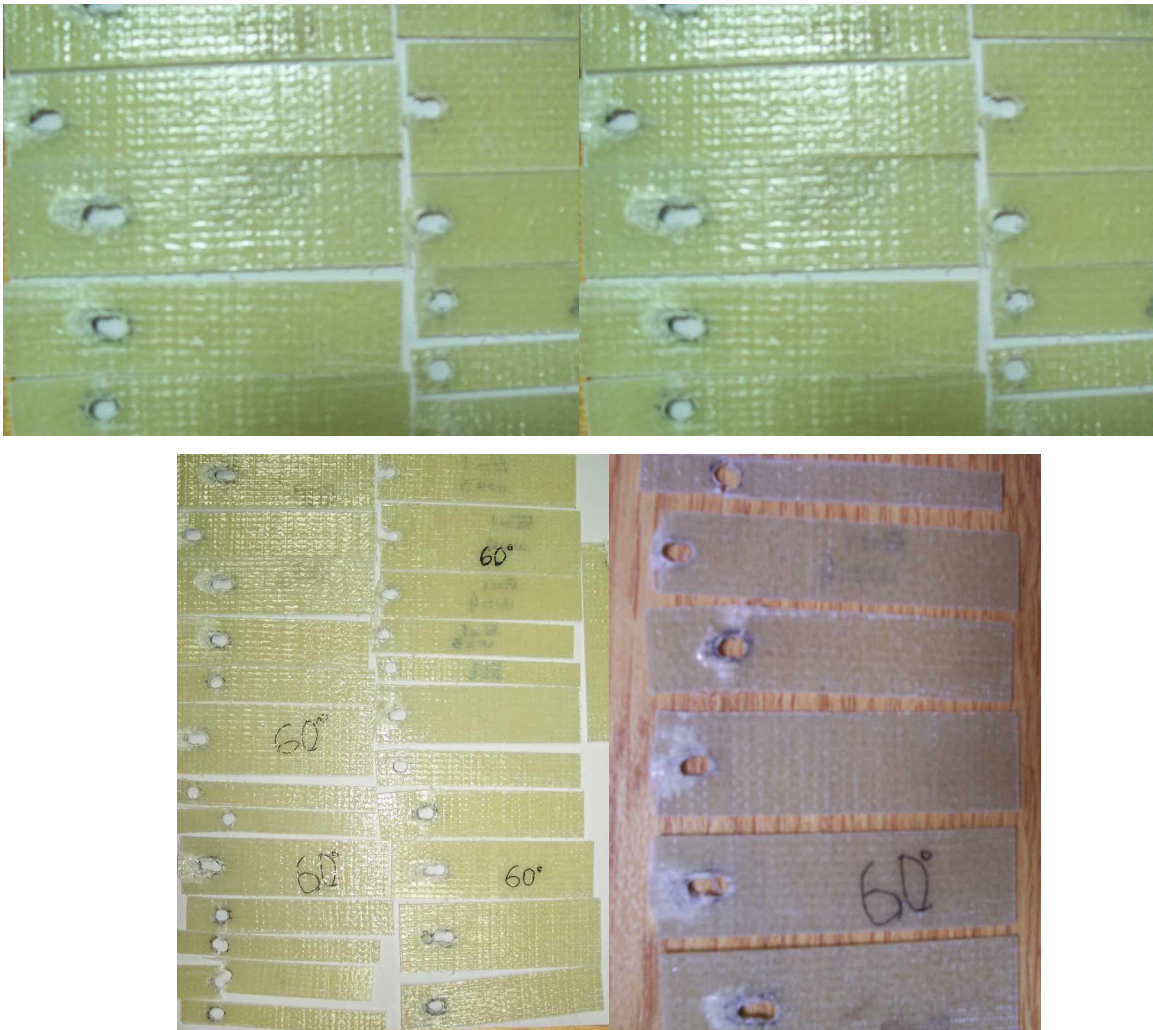
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Şekil 5’de [0/90/60/-60/-60/60/90/0] dizilişine sahip cam lifi-epoksi kompozit plakanın öngerilme momentli ve öngerilme momentsiz deneyleerden elde edilen yük-uzama eğrileri görülmektedir.



Şekil 5. Kompozit plağın yük-uzama eğrileri

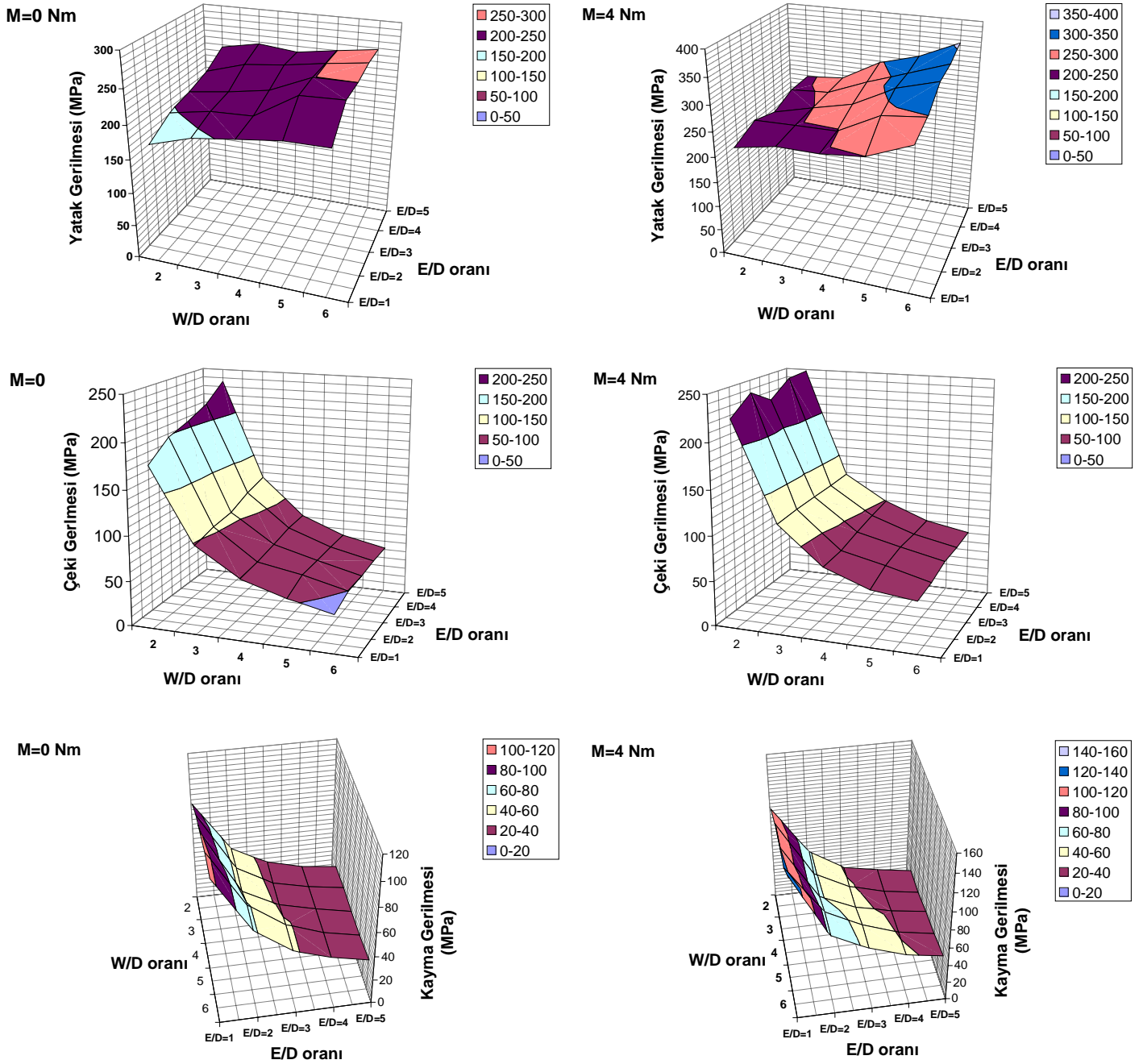
Bu eğriler incelendiği zaman, ilk hasar oluşuncaya kadar eğrilerin lineer olarak arttığı gözlenmiştir. Ayrıca meydana gelen hasar modalarına bağlı olarak çeşitli eğri tipleri meydana gelmiştir. Örneğin yatak (bearing) hasar modunda, ilk hasar meydana geldikten sonra yükün artımı ile birlikte deplasmanda artışı görülmüştür. Yük maksimum noktaya ulaştıktan sonra, parça yük taşımaya devam eder. Bu hasar modu en çok istenilen hata modudur. Çeki (net-tension) hasar modunda ise yük belirli bir değere ulaştıktan sonra aniden kırılma meydana gelir ki, bu en tehlikeli ve istenmeyen hasar modudur. Kopma aniden meydana geldiği için ve elemana ani olarak görevini yerine getirememesinden dolayı uygulamalarda pek istenmeyen hasar türüdür. Kayma (shear-out) hasar modunda ise yük maksimum noktasına ulaştıktan sonra, azalmaya başlar bu arada ise malzemede yırtılmalar meydana gelir. Bu hasar modunda da, malzemede ilk hasar meydana gelmesine rağmen eleman yük taşımaya devam eder. Bazı numunelerde ise bu 3 temel hasar modlarının kombinasyonu şeklinde de hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 6'da deney esnasında meydana gelen hasar tipleri görülmektedir.



Şekil 6. Kompozit malzemenin hasar tiplerinin resimleri

Ön gerilmesiz ve 4 Nm öngerilme moment değerleri için, yatak, kayma ve çeki gerilmelerinin, E/D ve W/D oranlarına göre değişimleri Şekil 7'de görülmektedir. Ön gerilmesiz ve ön gerilme momentli deney numunelerinde, en büyük yatak gerilmesi sırasıyla 336,771 MPa ve 426,748 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler W/D oranının 6, E/D oranının ise 5 olması durumunda gerçekleşmektedir. Ayrıca, öngerilme momentinin artması ile yatak gerilmesinin artışı gözlemlenmektedir. En küçük kayma gerilmesi, W/D oranının 2, E/D oranının ise 5

olduğu durumda gerçekleşmektedir. Bu durumda kayma gerilmeleri, ön gerilmersiz ve 4 Nm öngerilme moment değerleri için, sırasıyla 26,763 MPa ve 31,770 MPa değerlerindedir.



Şekil 7. Gerilme değerlerinin W/D ve E/D oranlarına göre değişimleri

4. SONUÇLAR

Pim ve civatayla bağlanmış, [0/90/60/-60/-60/60/90/0] dizilişine sahip cam lifi-epoksi kompozit malzemesinin hasar yükü ve hasar tipleri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca E/D W/D oranları ve öngerilme momenti değiştirilerek, aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- Yapılan deneylerden, deney numunelerinde, kayma, çeki ve yatak olmak üzere 3 değişik hasar modu meydana gelmiştir. Bazı numunelerde ise bu hasar modlarının kombinasyonları görülmüştür. En tehlikeli hasar tipi, kopma birden meydana gelmesinden dolayı çeki ve kayma hasar tipidir. Yatak hasar tipinde ise, ilk hasar meydana gelse bile, eleman yük taşımaya devam eder. Dolayısıyla uygulamalarda en çok istenen hasar tipidir ve boyutlandırma, mümkün merteye yatak hasar tipi oluşacak şekilde yapılır.
- Yatak mukavemeti, E/D ve W/D oranına bağlı olarak değişmektedir. E/D oranı arttıkça yatak mukavemeti artmaktadır. E/D oranı 1 olduğunda en küçük yatak mukavemeti meydana gelmektedir. Bu durumda meydana gelen hasar tipi ise, çeki ya da kaymadır. W/D=2 için, tüm E/D oranları için, net çeki hasar modu meydana gelir. W/D oranının artmasıyla çeki hasar modundan kayma hasar moduna geçiş gözlemlenmiştir.
- E/D ve W/D oranları 4'e eşit veya büyük olduğu zaman, en büyük yatak mukavemetleri elde edilmektedir. Aynı W/D oranı için, yatak gerilmeleri ve net çeki gerilmeleri, E/D oranının artmasıyla artmaktadır. Fakat kayma gerilmesinde ise bir azalış görülmektedir.
- Ön gerilme moment etkisi incelenirse, ön gerilme momentin artmasıyla, yatak mukavemetinde bir artış olduğu gözlemlenir. En büyük yatak mukavemeti, öngerilme momentinin 4 Nm olmasında ve W/D=6 ile E/D=5 değerlerinde meydana gelir.

KAYNAKLAR

- [1] Jones, RM., **Mechanics of Composite Material--2. Ed.**, Taylor& Francis, Philadelphia, 1999.
- [2] Professor A R Hutchinson Lecture Notes, "Mechanical Connections in Polymer Composite Materials", **Oxford Brookes University School of Engineering**, Advanced Materials Engineering and Joining.
- [3] Pekbey, Y., "Experimental Characterization Of An E-Glass/Epoxy Composite Plate In Pin-Loaded Joints", *Advanced Composites Letters*, Vol. 16, No.2, p.61-69, 2007.
- [4] Pekbey, Y., "Single bolt in plane tension joint tests on E-glass/epoxy composite plate", *Plastics, Rubber and Composites*, Vol. 36, No.4, p.162-172, 2007.
- [5] İçten, BM., Sayman, O., "Failure analysis of pin-loaded aluminum-glass-epoxy sandwich composite plates", *Composites Science and Technology*, Vol. 63, p. 727-737, 2003.
- [6] Waszczak, J., Cruse, T., "Failure mode and strength predictions of anisotropic bolt bearing specimens", *Journal of Composite Materials*, Vol. 5, p.421-425, 1971.