

XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, ISPARTA

## MOMENT YÜKÜ ALTINDAKİ TEK CIVATA BAĞLANTILI TABAKALI KOMPOZİT PLAKALARDA HASAR ANALİZİ

Faruk Şen<sup>1</sup>, Murat Pakdil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

<sup>2</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay

### ÖZET

Bu çalışmada, moment yükü altındaki tek civata bağlantılı tabakalı kompozit plakalarda hasar analizi deneysel olarak yapılmıştır. Tabakalı kompozit plakaların her biri, cam lifi ile takviye edilmiş epoksi matrikse sahip 8 tabakacığın ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile meydana getirilmiştir. Kompozit plakalar elde edilirken simetrik düzenleme yapılmıştır. Tabaka dizilişleri;  $[0^{\circ}/0^{\circ}/60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$  ve  $[0^{\circ}/0^{\circ}/30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$  olarak seçilmiştir. Deneyler öncelikli olarak herhangi bir moment uygulanmadan (0 Nm) yapılmıştır. Daha sonra aynı boyutlardaki kompozit numuneler üzerine sırasıyla 3 ve 6 Nm ön moment uygulanarak deneyler tekrarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hasar analizi, Civata bağlantıları, Hasar tipleri, Kompozit malzemeler

### 1. GİRİŞ

İki veya daha çok malzemenin makroskobik düzeyde birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzeme, kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır. Fiber takviyeli polimer (FTP) kompozitler ise özellikle ikinci dünya savaşından sonra yaygın mühendislik malzemeleri olarak birçok uygulamada yeni ve çekici malzemeler olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde bu yapıdaki kompozitler hava araçları, uzay araçları, uydular, gemiler, denizaltılar, otomobiller, kimyasal işlem donanımları, sportif araçlar, alt yapı sistemleri, insan sağlığı açısından çok önemli olan tıbbi protezler ve mikro elektronik aletlerde yaygın bir kullanım alanına

sahiptirler. Alüminyum ve çelik gibi yaygın olarak kullanılan geleneksel metal ve metal alaşımları ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemeler, hafiflik, uzun yorulma ömrü, iyi korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında istenen yönde daha iyi mukavemet özelliklerinin elde edilebilmesi, sahip oldukları ısıl genleşme özellikleri ve boyutlarını yüksek oranda koruyabilmeleri diğer bazı önemli özelliklerindedir. Polimerler, FTP kompozitlerde genel olarak matriks malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında FTP kompozitler elde edilirken, bu matriksler çelik, cam lifi ve karbon gibi malzemelerden elde edilen fiberler ile takviye edilmektedir [1].

Tong [2] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, farklı basınç kuvvetleri uygulanmış civata bağlantılarının yatak hasarı incelenmiştir. Ayrıca, rondela ve civata arasında düzgün dağılımlı olmayan boşluk etkisinin de hasar davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. İcten ve Sayman [3] tarafından yapılan çalışmada, tek pim bağlantılı çekme yüküne maruz alüminyum-cam lifi-epoksi sandvich kompozit plakalarda meydana gelen hasar tipleri ve hasar yükleri deneysel olarak elde edilmiştir. Okutan [4] tarafından hem deneysel hem de nümerik olarak yapılan uygulamada, fiber takviyeli pim bağlantılı kompozit plakalarda meydana gelen hasar incelenmiştir. Testler tek pim bağlantılı ve farklı tabaka dizilişlerine sahip kompozitler için yapılmıştır.

Bu çalışmada, moment yükü altındaki tek civata bağlantılı tabakalı kompozit plakalarda hasar analizi deneysel olarak yapılmıştır. Hasar tipleri ve maksimum hasar yükleri elde edilmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

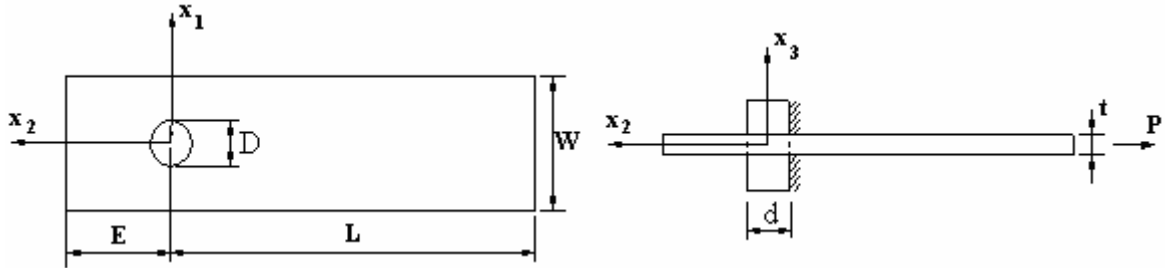
İlk olarak cam lifi ile takviye edilmiş epoksi matrikse sahip tabakalı kompozit plakalar üretilmiştir. Tabakalı kompozit plakaların her biri 8 tabakacığın ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile meydana getirilmiştir. Üretim sonrasında her bir tabakalı kompozit plakanın ortalama kalınlığı 3 mm olarak ölçülmüştür. Tabakalı kompozit plaka elde edilirken simetrik düzenleme yapılmıştır. Tabaka dizilişleri;  $[0^{\circ}/0^{\circ}/60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$  ve  $[0^{\circ}/0^{\circ}/30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$  olarak seçilmiştir. Üretilen tabakalı kompozit plakalardan standart deney numuneleri çıkarılarak [5-

7], kompozit malzemenin mekanik özellikleri bulunmuştur. Deneylerde uzama telleri (strain gage) kullanılmış ve INSTRON 1114 çekme cihazından yararlanılmıştır. Mekanik özelliklerin bulunması amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen mekanik özellikler **Tablo 1**'de gösterilmiştir [8].

Tablo 1 Tabakalı kompozit malzemenin mekanik özellikleri

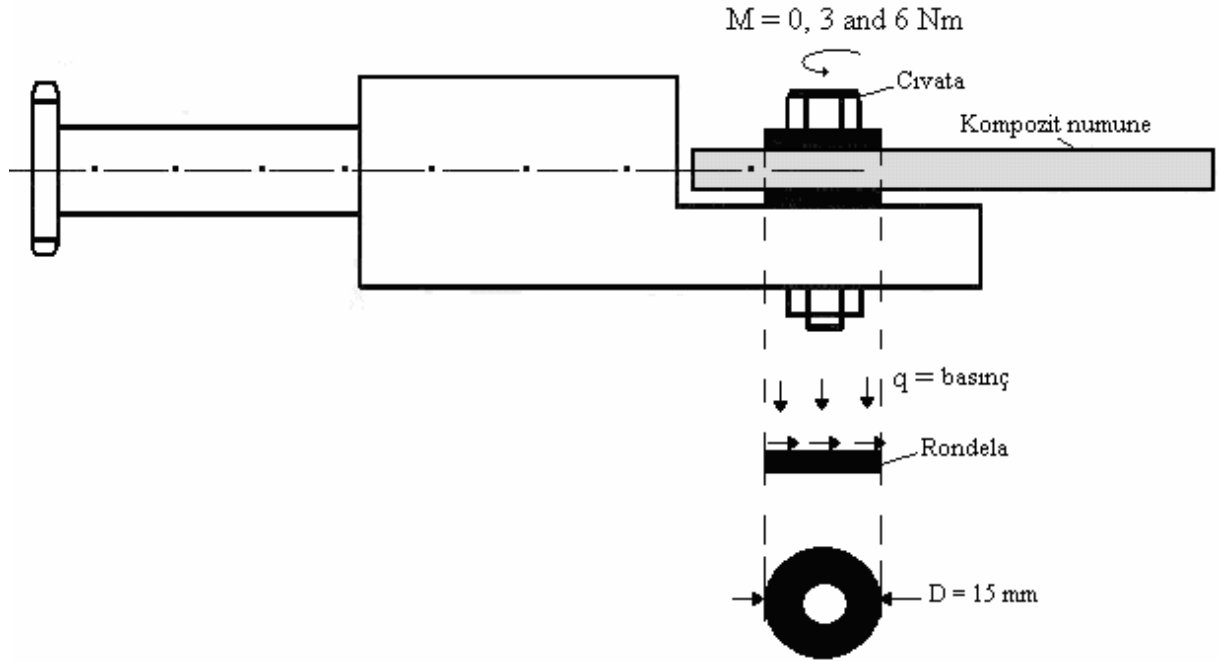
$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$G_{12}$ (MPa)	$\nu_{12}$	$X_c$ (MPa)	$Y_c$ (MPa)	$X_b$ (MPa)	$Y_b$ (MPa)	S (MPa)	$V_f$ (%)
36200	15400	6340	0.28	935	87	935	151	84	60

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin bulunmasından sonra, üretilen bu kompozit plakalardan, **Şekil 1**'de gösterilen boyutlarda deney numuneleri kesilerek ve ardından delinerek hazırlanmıştır. Tüm numunelerde,  $D=6$  mm ve  $d=5$  mm seçilmek suretiyle cıvata bağlantısının boşluklu bir yapıda olması sağlanmıştır.  $E/d=1, 2, 3, 4, 5$  ve  $W/d= 2, 3, 4, 5$  olacak şekilde çeşitli boyutlarda deney numuneleri hazırlanmıştır.



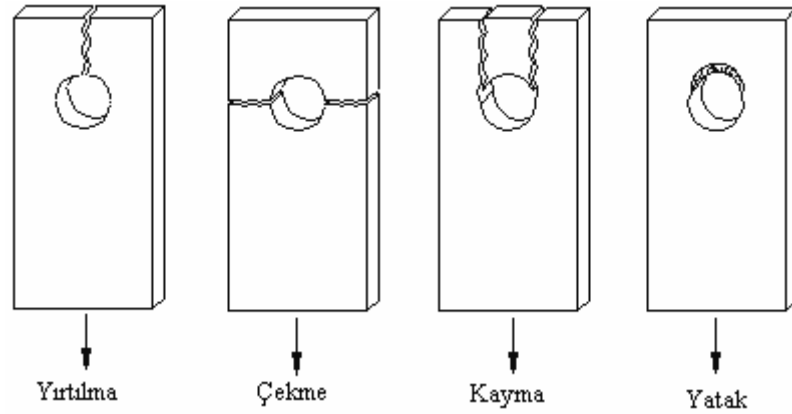
Şekil 1 Numune boyutları

Numune hazırlama işleminden sonra, bu numuneler **Şekil 2**'de [8] görüldüğü şekilde, çekme cihazının çenelerine bağlanabilecek şekilde hazırlanmış özel bir aparata bağlanmıştır. Deneyler öncelikle olarak herhangi bir moment uygulanmadan (0 Nm) yapılmıştır. Hiçbir moment etkisinin olmadığı bu ilk deneyler bir cıvata bağlantısından çok bir pim bağlantısı olarak ta değerlendirilebilir. Daha sonra kullanılan cıvata ve rondelalar yardımıyla, kompozit numuneler üzerine sırasıyla 3 ve 6 Nm ön moment uygulanarak çekme deneyleri tekrarlamıştır. Her bir numune hasara uğrayana kadar, çekme cihazında çekilmiştir. Deneyler esnasında cihazın çekme hızı 0.5 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Çekme esnasında tüm veriler bir bilgisayara kaydedilmiştir. Her bir boyut için üçer deney numunesi hazırlanarak aynı şartlar altında deneyler tekrarlanmıştır. Her üç deneyin ortalaması alınmak suretiyle bir ortalama değer elde edilmiştir.



Şekil 2 Kompozit numunenin aparata bağlanması

Cıvata bağlantılı kompozit plakalarda genel olarak dört farklı hasar tipi meydana gelmektedir. Bunlar, yırtılma, çekme, kayma ve yatak hasarı olarak adlandırılmaktadır. Bu hasarlardan özellikle yırtılma şeklinde oluşan hasar tipi, tabakalı kompozit yapı elde edilirken  $0^\circ$ 'lik tabakacıkların kullanımından kaynaklanmaktadır [3-5].

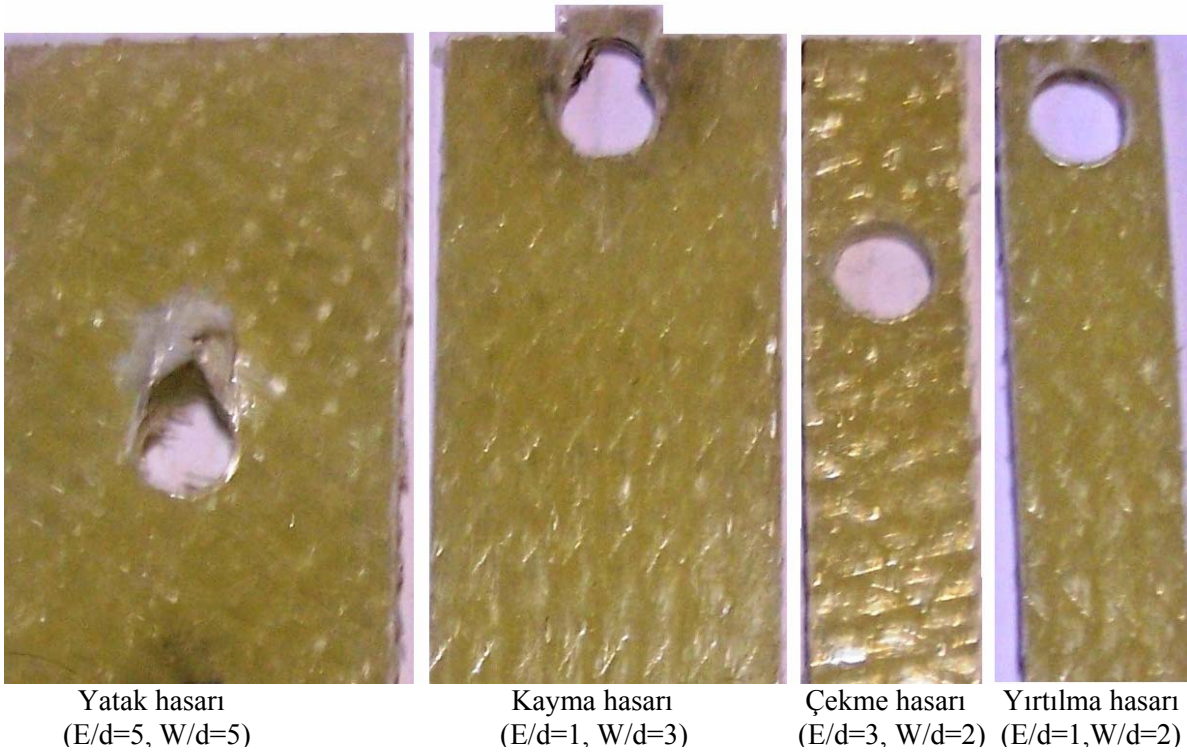


Şekil 3 Cıvatalı kompozit bağlantılarda meydana gelen hasarlar

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Test edilen numunelerde meydana gelen hasar tipleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Test edilen her bir numunenin hasar durumları incelenmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi yapılan deneyler neticesinde, numunelerde seçilen boyutsal değişkenlere (E/d ve W/d oranlarının değişimleri)

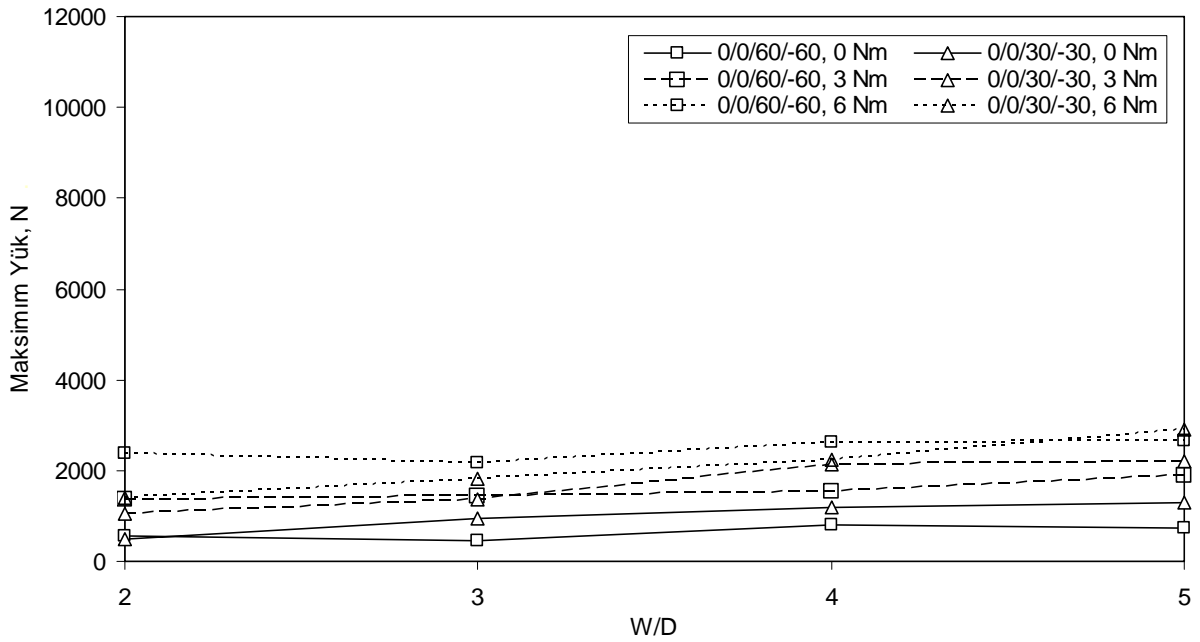
ve tabakaların dizilişine ( $[0^{\circ}/0^{\circ}/60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$  ve  $[0^{\circ}/0^{\circ}/30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$ ) bağı olarak, cıvatalı kompozit numunelerde dört farklı hasar durumu gözlenmiştir. Oluşan hasarların şematik görünümü Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu hasarlar; yırtılma, çekme, kayma ve yatak hasarları olarak adlandırılmaktadır. Bazı numunelerde, burada gösterilen hasar durumlarından sadece herhangi biri meydana gelmiştir. Bazı numunelerde ise burada şematik olarak gösterilen hasarlardan herhangi iki hasar durumunun birlikte meydana geldiği hasarlar oluşmuştur. Örneğin çekme esnasında numunede ilk önce yatak hasarı meydana gelmesine rağmen, çekme işleminin devam etmesi ile birlikte ve belli bir yükleme sonrasında numunede aniden bir yırtılma hasarı veya çekme hasarı şeklinde ikinci bir hasar durumu ortaya çıkmıştır.



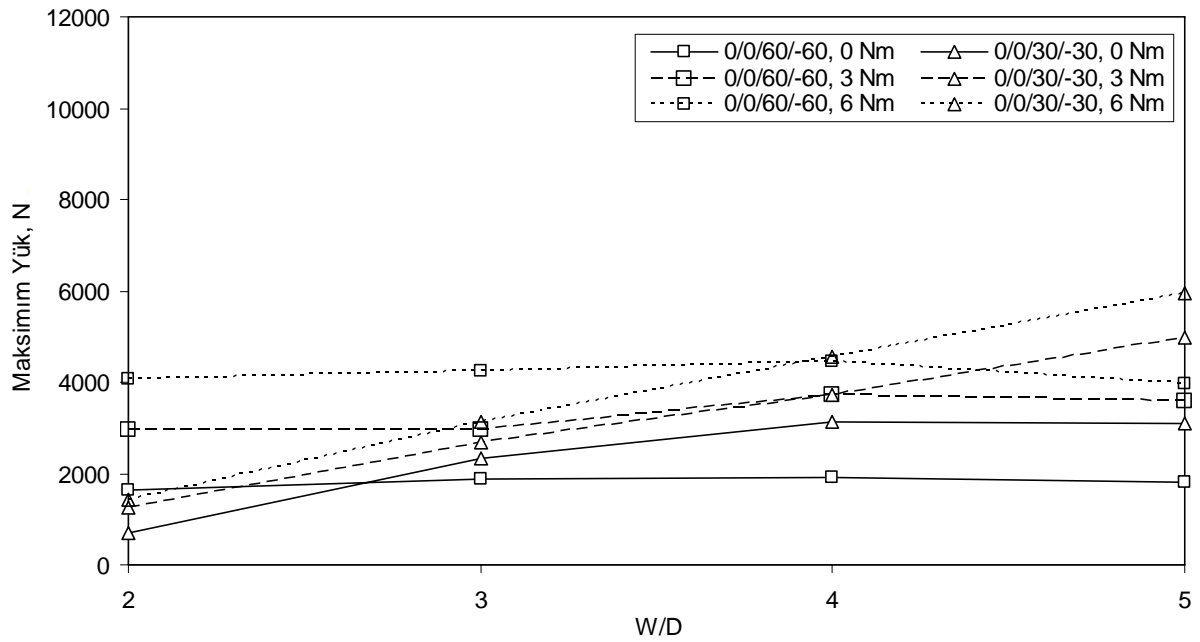
Şekil 4 Numunelerde meydana gelen hasarlar

Maksimum hasar yükünün boyutsal değişkenlere bağlı değerleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Hasar yükünün değerlerinin, momentli ( $M=3$  ve  $6$  Nm) olduğu numunelerde momentsiz olan numunelerden ( $M=0$  Nm) daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. En düşük hasar yükleri ön yükleme momenti uygulanmamış,  $[0^{\circ}/0^{\circ}/30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$  düzenlemeye sahip ve  $W/d=2$  olan numunelerde meydana gelmiştir. Bunun yanında,  $W/d=3, 4$  ve  $5$  oranları için en düşük hasar yükleri  $[0^{\circ}/0^{\circ}/60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$  düzenleme için hesaplanmıştır. En büyük hasar yükleri, genel olarak  $6$  Nm ön yükleme momenti uygulanmış ve  $[0^{\circ}/0^{\circ}/60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$  düzenlemeye sahip numuneler için elde edilmiştir.

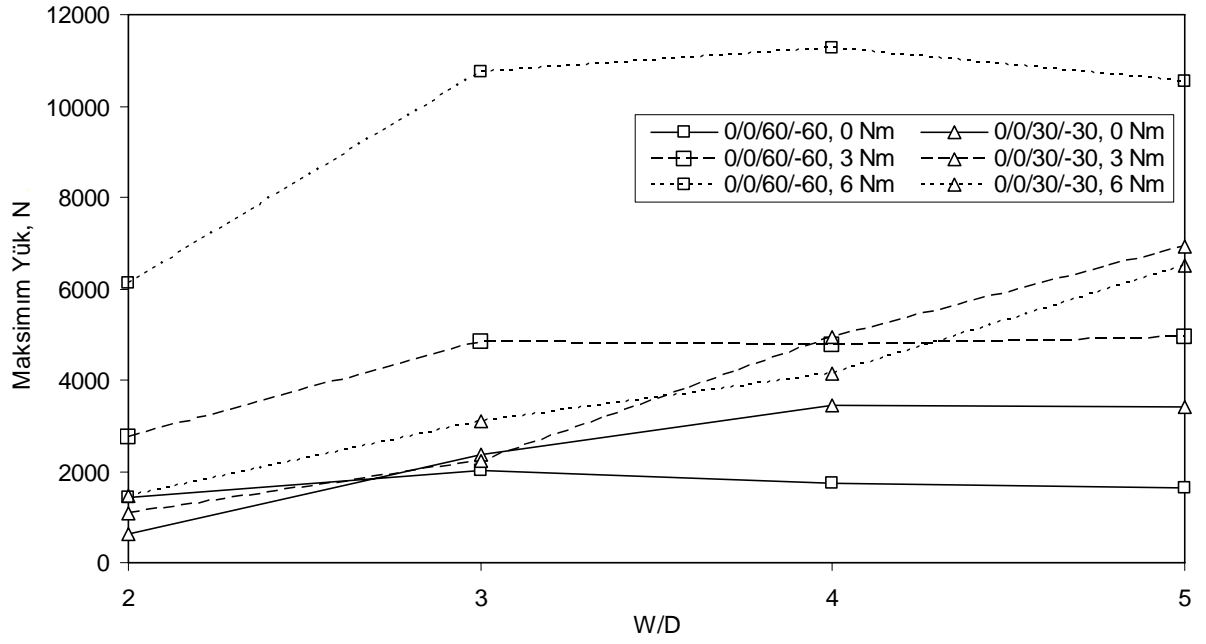
Bağlantının taşıyabileceği yük kapasitesi açısından, ön yükleme momentinin artırılmasının uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında, cıvatalı bir bağlantının yük taşıma kapasitesinin, pimli bir bağlantıdan daha avantajlı olacağı görülmektedir. Ayrıca bağlantıda kullanılan rondelaların, kompozit malzemenin delme işleminden sonra ortaya çıkan ve plakanın zayıflamasının getirdiği olumsuz etkileri kısmen giderdiği görülmüştür.



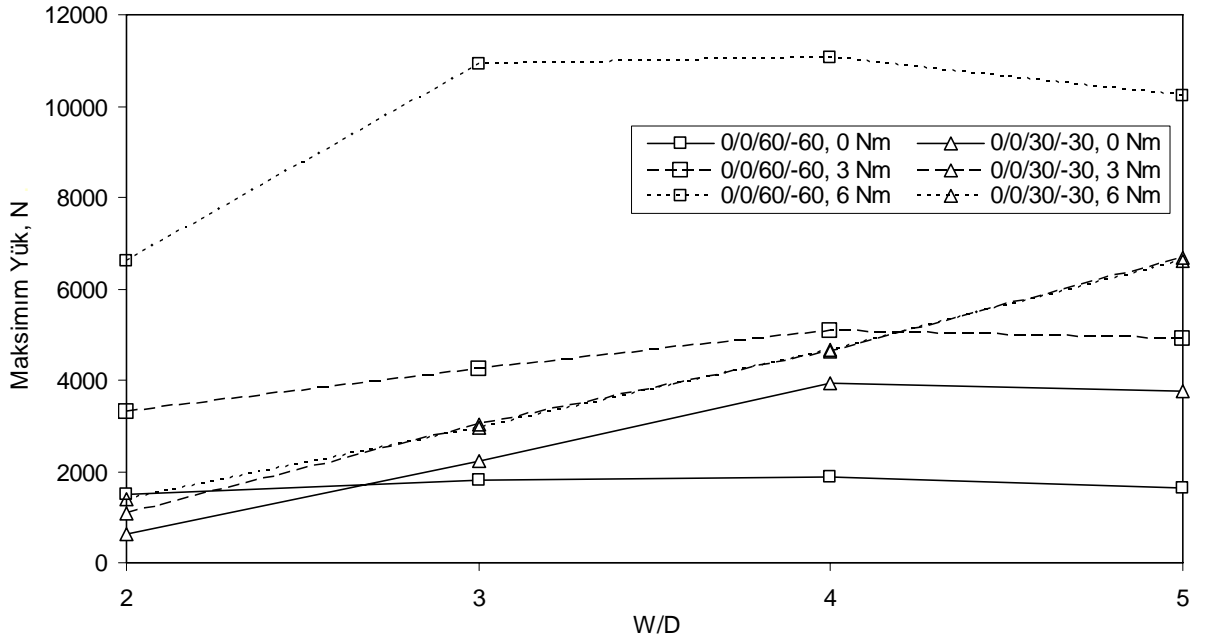
a) E/d=1



b) E/d=2

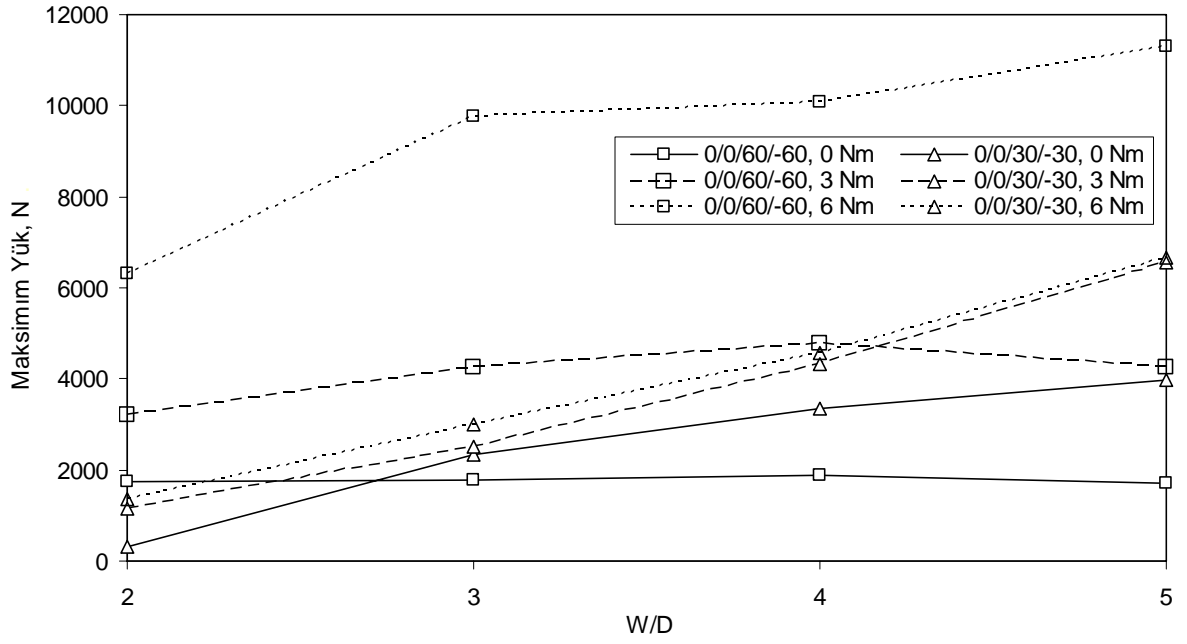


c) E/d=3



d) E/d=4

Bir başka ifadeyle, ön yükleme momenti uygulanmış numunelerde hesaplanan daha yüksek hasar yüklerinin nedeni, delik bölgesinde sürekliliğini kaybeden liflerin, gerçekte taşıması gereken yükü rondelaların kısmen taşımasıdır.



e) E/d=5

Şekil 5 Maksimum hasar yükünün boyutsal değişkenlere bağlı değerleri

Cıvatalı kompozit bağlantılarda iyi bir tasarım açısından, yatak hasarı tercih edilen bir hasar tipidir. Çünkü yatak hasarında, hasar bölgesel olarak gelişmektedir. Hasar ezilme şeklinde devam ettiğinden ani kırılmalar olmamaktadır. Aynı zamanda bu hasar tipinde hesaplanan yatak mukavemetleri, diğer hasarların oluşması esnasında hesaplanan yatak mukavemetlerinden daha büyük değerlerdedir. Genel olarak, E/d ve W/d oranlarının büyük seçildiği numunelerde, yatak hasarının meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanında özellikle küçük W/d ve E/d oranlarında henüz yatak hasarı oluşmadan meydana gelen diğer hasar tipleri özellikle de çekme ve yırtılma hasarları gözlenmiştir. Ayrıca bu hasarların oluştuğu numunelerde malzeme çok düşük yüklemelerde yırtılarak veya kırılarak tamamen işlevini yerine getiremez duruma gelmiştir. Bunun neticesinde de maksimum hasar yükleri de oldukça küçük değerlerde elde edilmiştir. Seçilen boyutsal değişkenler içinde E/d=1 en zayıf cıvatalı kompozit bağlantı boyutu olarak görülmüştür. Bundan dolayı, kompozit plakaların cıvatalı bağlantılarına uygulanacak olan iyi bir tasarım açısından, özellikle E/d ve W/d oranlarının en az üç veya daha fazla seçilmesinin uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır.



## **TEŞEKKÜR**

Yazarlar, bu çalışmanın hazırlanması sırasında yapmış olduğu çok değerli tavsiye ve yardımlarından dolayı Prof. Dr. Onur SAYMAN'a sonsuz teşekkür etmektedirler.

## **KAYNAKLAR**

1. Tong, L, Mouritz, A.P. and Bannister, M. 3D “Fibre Reinforced Polymer Composites”, Elsevier-2002.
2. Tong, L. “Bearing Failure of Composite Bolted Joints with Non-uniform Bolt-to-washer Clearance”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 31, 609-615, 2000.
3. İçten, B. M. and Sayman, O. “Failure Analysis of Pin-loaded Aluminum-glass-epoxy Sandwich Composite Plates”, Composites Science and Technology, 63, 727-737, 2003.
4. Okutan, B. “The Effects of Geometric Parameters on the Failure Strength for Pin-loaded Multi-directional Fiber-glass Reinforced Epoxy Laminate, Composites Part B: Engineering, 33, 567-578, 2002.
5. Mallick, P. K. “Fiber-Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design”, Marcel Decker-1993.
6. Jones, R. M. “Mechanics of Composite Material”, Taylor & Francis-1999.
7. Gibson, R. F. “Principals of Composite Material Mechanics”, Mc Graw-Hill-1994.
8. Sen, F., Pakdil, M., Sayman, O. and Benli, S. “Experimental Failure Analysis of Mechanically Fastened Joints with Clearance in Composite Laminates under Preload”, in press, Materials & Design.

