



Kompozit Malzemelerin Ön Yükleme Etkilerinin İncelenmesine Yönelik Bir Aparatın Tasarımı ve Üretimi

Design and Production of a Device for Investigation of Pre-Load Effects of Composite Materials

Uğur Kemiklioğlu ^{1*} 

¹ Doğuş Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğı Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: ukemiklioglu@dogus.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 25.02.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 28.04.2020

Atıf şekli / How to cite: KEMIKLIOĞLU, U., (2020). Kompozit Malzemelerin Ön Yükleme Etkilerinin İncelenmesine Yönelik Bir Aparatın Tasarımı ve Üretimi. DEUFMD 22(66), 897-903.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2020226623

Öz

Kompozit malzemelerin kullanım alanları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Buna bağlı olarak kompozit malzemelere uygulanan çeşitli deneysel yöntemler de artmaktadır. Bu çalışma kapsamında, termoplastik kompozit malzemelere ön yükleme kuvvetlerinin etkiği spesifik bir aparat tasarlanmıştır. Tasarlanan aparata kompozit numunelerin monte edilmesinden sonra, aparatta bulunan civata ile sıkma kuvveti meydana getirilerek numunelere ön yükleme kuvvetlerinin uygulanması sağlanacaktır. Numunelerin çeşitli süreler boyunca ön yükleme kuvvetlerine maruz bırakılmaları sonrasında, çekme deneyi ile numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırmacılar tarafından incelenebilecektir. Aparatın, farklı ortamlarda kullanılabilir olması, bu tür ön yükleme testlerinin otomotiv, denizcilik, havacılık, yenilenebilir enerji, spor malzemeleri gibi farklı sektörlerde kullanılan kompozit bağlantıların test edilebilirliğini sağlayacaktır. Tasarlanan aparatın üretimi sayesinde, termoplastik kompozit malzemelerin yanı sıra yapıştırılmalı kompozit bağlantıların çekme doğrultusunda sürünme testlerinin de yapılmasına imkan sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ön yükleme etkisi, test aparatı, yapıştırılmalı kompozit bağlantı, termoplastik kompozit, sürünme.

Abstract

The usage areas of composite materials are becoming widespread day by day. Accordingly, various experimental methods applied to composite materials have been increased. Within the scope of this study, a specific apparatus is designed for the thermoplastic composite materials where the pre-stress forces are affected. After mounting the samples with composite material to the designed apparatus, the tightening force will be created with the bolt in the apparatus and the pre-stress forces will be applied to the samples. After the samples are subjected to pre-stress forces for various periods, changes in the mechanical properties of the samples can be examined by the tensile test. The fact that the apparatus can be used in different environments will provide the testability of the composite materials used in different sectors such as automotive, marine, aviation, renewable energy and sports equipment. Due to the production of the designed apparatus, creep tests of adhesively bonded connections as well as thermoplastic composites will be made possible.

Keywords: Pre-stress effect, testing device, adhesively bonded joint, thermoplastic composite, creep.

1. Giriş

Kompozit malzemeler kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli özelliklere sahiptirler. Kompozit malzemelerin kimisi elyaf takviyeli olup, polyester/epoksi reçine gibi termoset matris malzemelerle birleştirilerek yüksek mukavemet ve düşük ağırlık gerektiren alanlarda kullanılmakta iken; kimisi poliüretan, polietilen, polipropilen gibi termoplastik malzemelerle üretilip geri dönüşüme yönelik olarak kullanılabilir.

Kompozit malzemelerin kullanım alanlarının yaygınlaşmasına bağlı olarak bu malzemelerin yapıştırılabilirliği de kullanımı günden güne artmaktadır. Yapıştırılabilir kompozit bağlantıların artışı göz önünde bulundurulduğunda, yapılan literatür araştırmalarında bu tür bağlantılara çeşitli deneysel testler uygulandığı ve bu testlerden elde edilen sonuçların irdelenerek bir çok araştırma makalesinin raporlandığı görülmektedir. Yapıştırılabilir bağlantılara yönelik bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Yapıştırılabilir bağlantıların hasar testlerinin gerçekleştirilmesi ile ilgili birçok çalışmanın ortaya konulduğu görülmektedir [1-5].

Yapıştırılabilir bağlantılarda yapıştırıcı kalınlığının ve genişliğinin çift taraftan bindirmeli bağlantılardaki hasar davranışı üzerine etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş olup, oluşan hasar enerjileri çeşitli teori ve metodlarla karşılaştırılmıştır [1]. Yapıştırılabilir bağlantıların hasar analizleri üzerine yapılan başka bir çalışmada tek taraftan bindirmeli olarak bağlanan alüminyum plakaların yapıştırma bölgelerinde ön çatlaklar oluşturulmuş ve lineer – elastik hasar analizi deneyleri uygulanarak bu deneyler çeşitli nümerik yöntemlerle desteklenmiştir [3]. Yapıştırılabilir bağlantıların hasar analizi üzerine yapılan diğer bir çalışmada darbe yüklerine maruz bırakılan bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Burada, Izod-Charpy test düzeneğine çeşitli modifikasyonlar uygulanarak farklı darbe enerjisi değerlerinde aksel darbeler uygulanmıştır [6,7]. Benzer şekilde düşük hızda darbe testi düzeneği kullanılarak yapıştırılabilir bağlantılara enlemesine darbe deneyleri uygulanmıştır [8-10]. Tüm bu deneylerin yanı sıra, yapıştırılabilir

bağlantıların titreşimli yüklemeler altındaki davranışları [11-13] ve yorulmaya karşı gösterdikleri mekanik özellikler [14,15] araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Yapıştırılabilir bağlantılara uygulanan titreşim çevriminin değişimi, farklı sınır şartları altında kimi çevrimlerde hasar mukavemetini artırırken, kimi çevrimlerde mukavemeti düşürdüğü görülmüştür [11,12]. Bütün bu yukarıda bahsi geçen ve birçok araştırmacı tarafından uygulanabilen evrensel test yöntemlerinin yanı sıra, yapıştırılabilir bağlantılara ve çeşitli kompozit malzemelere aşağıda değinilen yenilikçi ve özgün deneyler de uygulanmıştır:

Yapıştırılabilir bağlantıların, yapıştırma bölgesinde meydana gelen sürünme etkisi, yorulma cihazına uzun süreli statik yük uygulanarak, incelenmiş ve bu etki; yapıştırıcıya eklenen aramid, karbon elyaf ve cam elyaf gibi farklı takviye malzemeleri ile iyileştirilmiştir [16]. Başka bir çalışmada, et kalınlığı inceltilmiş kompozit kirişler üzerinde şeritler halinde delaminasyon oluşturulmuş ve bu kompozitlerin yanal burkulma davranışları araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda deneysel ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür [17]. Biyomühendislik alanında jelatin dokularda oluşturulan ajanlar tarafından meydana gelen gözeneklerin, bu dokuların mekanik özelliklerindeki değişimlere sebep olduğu incelenmiştir [18].

Yukarıda anlatılan deneysel uygulamalar ve yöntemler dışında, var olan testlere alternatif olarak geliştirilen ya da ihtiyaca yönelik olarak oluşturulan yeni nesil test cihazları / yöntemleri de literatüre sunulmuştur [19-22]. Örneğin: Tekstil sektöründe kullanılan karbon elyaf ve karbon partikül katkılı kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama deneylerine yönelik, hali hazırda standartlara uygun bir test cihazı geliştirilmiştir [22].

Bu çalışma kapsamında, başta yapıştırılabilir bağlantılar olmak üzere, standart ebatlarda hazırlanabilen çeşitli kompozit plakalara ön yükleme kuvveti uygulayabilen bir aparat tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ön yükleme aparatı sayesinde; çeşitli kimyasal sıvıların, asitin, deniz suyunun veya saf suyun bulunduğu, farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda uzun süre ön yüklemeli bir şekilde kullanılan

yapıştırılmalı bağlantıların veya çeşitli kompozit plakaların bu ortamlardaki mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenebilmesi amaçlanmıştır. Ön yükleme aparatının bu vesile ile literatüre kazandırılması sonucunda, bu aparatın yaygın bir şekilde kullanımının sağlanması ve böylelikle gelecekteki bir çok akademik çalışmaya ışık tutar nitelikte olması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında tasarlanan aparatın; özellikle tabakalı üretilen kompozit malzemelere ve birbirlerine farklı şekillerde yapıştırılan (tek taraftan bindirmeli, çift taraftan bindirmeli, kademeli, eğimli vb.) tabakalı kompozit bağlantılara ön yükleme kuvvetleri etkisi altında bırakılmasına yönelik olması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, ön yüklemeye maruz bırakılacak numunelerin bir saplama vasıtasıyla çeki doğrultusundaki kuvvetlere maruz bırakılması planlanılarak, aparatın SolidWorks 2019 bilgisayar destekli çizim programında tasarımı gerçekleştirilmiş ve tasarlanan aparatta saplama kuvvetlerinin oluşturduğu maksimum ön yükleme değerine ilişkin hesaplamalar yapılmıştır.

2.1. Aparatın tasarımı

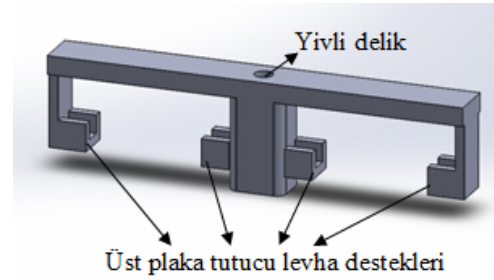
Aparatın tasarımında, numunelerin olması gerektiği maksimum boyutlar, tabakalı kompozit malzemelere uygulanan ASTM standartlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Örneğin; ASTM D 5868 [23] test standardında, tek taraftan bindirmeli yapıştırılan kompozit bağlantı numunelerinin genişliği 25mm, uzunluğu 175mm olarak belirtilmektedir. Benzer şekilde; ASTM D 3039 [24] test standardında çekme testi uygulanacak tabakalı kompozit numunenin maksimum 25mm genişliğinde ve 200mm uzunluğunda olması belirtilmektedir. Bu standartlar göz önünde bulundurulduğunda, aparatın tasarımında kullanılacak numunelerin genişliğinin 25mm, maksimum uzunluğunun da 250mm olması ön görülmüştür.

Tasarlanan aparat sekiz ana parçadan oluşmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Aparatı oluşturan ana parçalar.

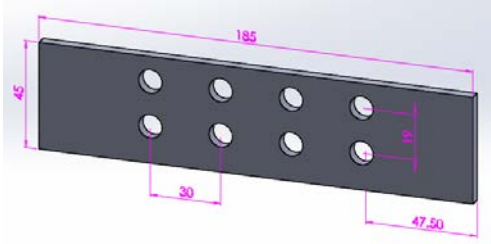
Parça Adı	Adet
Üst Ana Tutucu	1
Alt Plaka Tutucu Levha	2
Üst Plaka Tutucu Levha	4
Saplama (M22x270)	1

Tablo 1’de de görüldüğü üzere, üst ana tutucu bütün sistemi taşıyıcı bir göreve sahiptir. Şekil 1’de gösterilen üst ana tutucunun orta bölümünden 22mm çapında, 120mm derinliğinde yivleme (klavuz açma) işlemi yapılarak bu bölgeden Tablo 1’de belirtilen 22 mm çapında 270 mm uzunluğunda (M22x270) saplama geçirilmesi ve böylelikle saplama dış sıkma kuvvetlerinden faydalanılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Üst ana tutucunun tasarımı

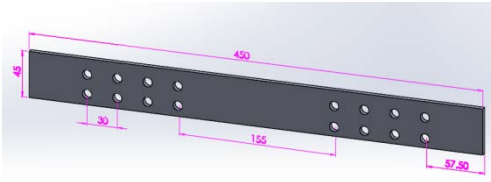
Şekil 1’de gösterilen üst ana tutucu üzerinde dört adet üst plaka tutucu levha destekleri mevcuttur. Bu destekler, numunelerin alt ve üst yüzeylerinden üst plaka tutucu levhalara civata - somun ile bağlanarak üst ana tutucu gövdeye sabitlenmesi planlanmıştır. Üst plaka tutucu levhanın görseli ölçüleriyle birlikte Şekil 2’de gösterilmektedir. Bu levhalar üzerine, dikey ve yatay eksen üzerinde aynı doğrultuda olmak kaydesi ile sekiz adet 8.5 mm çapında delikler açılmıştır.



Şekil 2. Üst plaka tutucu levha

Üst plaka tutucu levha üzerinde açılan deliklerden, düşey ekseninde aynı doğrultuda olan iki delik kullanılarak bir numunenin bağlanması amaçlanmıştır. Böylelikle, aparatın sağında ve solunda dört adet olmak üzere toplamda sekiz adet numune aparata bağlanabilecektir. Numuneler bir kenarından üst plaka tutucu levhaya bağlanırken, diğer kenarından alt plaka levha tutucuya bağlanacaktır.

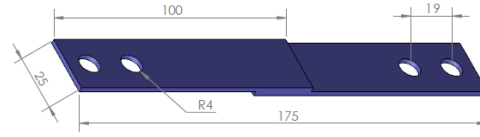
Şekil 3'te alt plaka tutucu levhanın görseli ölçüleriyle birlikte gösterilmektedir.



Şekil 3. Alt plaka tutucu levha

Alt plaka tutucu levha üzerine de 8.5 mm çapında 16 adet delik açılmıştır. Açılan delikler, yatay ve düzey ekseninde aynı doğrultuda olmakla birlikte, üst plaka tutucu levha üzerinde açılan deliklerle merkezlenecek şekilde boyutlandırılmıştır. Ön yükleme testine tabi tutulacak numuneler, alt ve üst yüzeylerinden M8 civata - somun bağlantıları ile iki adet üretilecek olan alt plaka tutucuların arasına diğer kenarından sabitlenebilecektir.

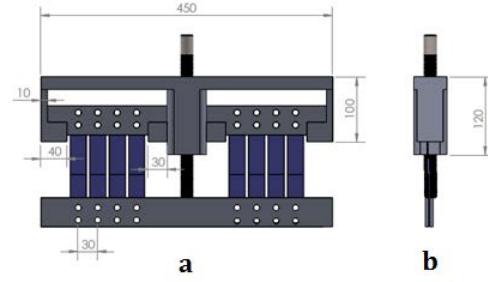
ASTM D5868 test standardına uygun olarak tasarlanan tek taraftan bindirmeli yapıştırılan tabakalı kompozit plaka numunesine ilişkin görsel Şekil 4'te ölçüleriyle birlikte verilmektedir.



Şekil 4. Tek taraftan bindirmeli yapıştırılan numune örneği

Şekil 4'te verilen numuneden de görüldüğü üzere, ön yükleme kuvveti uygulanacak numunelerin genişlik doğrultusundaki yüzeylerinden ikişer adet 8 mm çapında delikler açılmakta ve bu numunenin bir tarafı üst plaka tutucu levhalar arasında, diğer tarafı alt plaka tutucu levhalar arasında 8 mm çapındaki civata - somun bağlantısı ile sabitlenmektedir.

Numunelerin aparata monte edildiği görsel Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Aparat - numune montajının tasarımı; a) Ön görünüş, b) Sol yan görünüş, c) İzometrik görünüş

Saplamanın üst ana tutucu gövdeye açılan yivlerin oluşturduğu sıkma kuvveti vasıtasıyla alt plaka tutucu levhaya baskı kuvveti uygulaması neticesinde numuneler üzerinde ön yükleme kuvveti oluşmaktadır.

2.2. Ön yükleme değerinin hesabı

Tasarlanan aparatın numunelere uygulayacağı maksimum ön yükleme değerinin bulunabilmesi için civataların, aksel kuvvete (F_e) bağlı sıkma momenti (M_s) hesabından yararlanılmıştır. Numunelerin toplamına uygulanması düşünülen aksel kuvvet değerine bulunacak sıkma momenti değeri kadar saplamanın bir torkmetre vasıtasıyla sıkılması ile istenen ön yükleme değeri numunelere aktarılabilir.

Sıkma momenti hesabı aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$M_s = F_e \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho) \quad (1)$$

Sıkma momenti hesabı denkleminde d_2 kullanılan saplamanın bölüm çapını, φ kullanılan civatanın adımını (hatve) civata bölüm çevresine oranını, ρ civatanın sürtünme katsayısını simgelemektedir. Tasarımda metrik 22 (M22) civata kullanıldığı için TS 61-30 [25] standardına yönelik tablodan yararlanılmış ve aparat vasıtasıyla numunelere aktarılması istenilen ön yükleme kuvveti – sıkma momenti değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

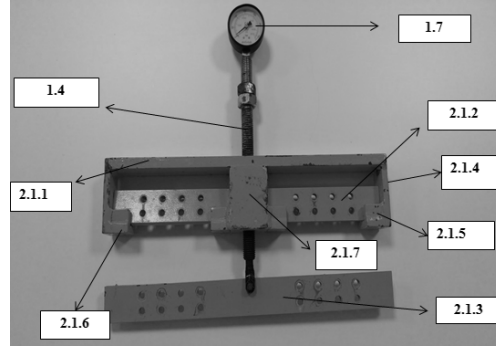
Tablo 2. Ön yükleme kuvveti – sıkma momenti.

Bir numuneye etkiyen kuvvet (N)	Ön yükleme kuvveti (N)	Sıkma Momenti (N.mm)
250	2000	4965
500	4000	9930
625	5000	12412.5
1250	10000	24825

Tablo 2’de hesaplanan değerler baz alınarak saplama numuneler istenilen kuvvet değerlerinde ön yüklemelere maruz bırakılabilirler.

2.1. Aparatın üretimi

Tasarlanan aparat, ıslah çeliğinden (AISI 1020) elde edilen sac malzemelerin lazerde kesimi ile üretilmiştir. Boyutlarına uygun olarak kesilen parçalara tasarıma bağlı olarak delik delme, yiv açma, kaynak ve boyama gibi işlemler uygulanarak parça numaraları verilen ve Şekil 6’da gösterilen aparatın üretimi sağlanmıştır.



Şekil 6. Üretilen aparat

Şekil 6’da belirtilen parça numaraları göz önüne alınarak; aparatın parçaları, tasarımı yapılan teknik resimler kullanılarak öncelikle 450x50x20 boyutlarındaki üst tutucu kalın levha (Parça 2.1.1), numunelerin bağlanması için üst tutucu kalın levhada bulunan 185x50x5 boyutlarındaki (Parça 2.1.2) ve kompozitlerin yine alt tarafta bağlanması için gereken 450x50x5 boyutlarındaki (Parça 2.1.3) her ikisinin de üzerlerinde numunelerin bağlanması için gereken 8.5 mm çapındaki civata delikleri, üst kalın levhanın alt iki uç kısmında bulunan sağ ve sol kısmındaki üst plaka tutucu levhaların oturması için gereken 80x40x10 boyutlarında olan iki lama (Parça 2.1.4) ve bu iki lama tarafından levhaların oturması için gereken sağ ve sol kısmında toplam 8 adet 30X20X10 boyutlarında (Parça 2.1.5), dört adet 40X30X10 (Parça 2.1.6) boyutlarındaki dikdörtgen ara parçalar CNC lazer tezgahında malzeme kesilerek istenilen ölçüler elde edilmiştir. Sonrasında ise saplamanın hareket ettiği, üst ana tutucuya ve üst plaka tutucu levhaların oturacağı ara parçalara kaynakla bağlı olan ara elemanların dayandığı dikdörtgen ana parça (Parça 2.1.7) lazer tezgahında kesme, delik delme ve delik içi dış açma (yivleme) CNC dik işlem tezgahında işleme tabi tutularak; alın ve yüzey tormalama, delik delme ve delik içi dış ama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

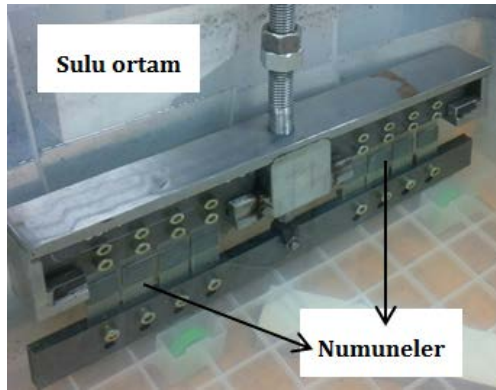
Üretimi yapılan aparatta civata olarak standart imbus civatalar kullanılmıştır Civatalar 8 mm (M8) çapında olup 8.8 kalitesindedir. Aynı şekilde saplamanın iç kısmı kademeli olup basınç saatinin geçeceği yere de dış açılmıştır.

Saplamanın içerisinde piston yağ basınç sistemi bulunmaktadır. Saplamanın uç kısmındaki saatin geçmesi için açılan delik ve delik içi dişten sonra, içerideki yağın iletimi için bir

piston yapılmıştır. Piston yatay torna tezgahında saplama içerisinde gereken hareketi sağlamak amacıyla yaklaşık 50 mm boyunda olup önceden tasarlanan, saplama içerisinde uygun olarak hareket edecek şekilde (tıkız) tasarlanmış ve üretilmiş olup, üzerinde o-ring kanalları yatay torna tezgahı vasıtasıyla açılmıştır.

3. Bulgular

Kompozit malzemelerin ve yapıştırılmalı bağlantıların ön yüklemeye maruz bırakılmasına yönelik üretilen aparata test edilmesi arzulan tek taraftan bindirmeli olarak yapıştırılan kompozit bağlantılar monte edilmiş ve bu haliyle saplama bir 9930 N.mm sıkma momenti ile sıkılarak bir hafta boyunca sistem bekletilmiştir. Geçen bir haftanın sonrasında sıkma momentinin aynı değerde olduğu görülmüştür. Aynı işlem, Şekil 7'de gösterilen sulu ortamda da gerçekleştirilmiş ve aparatın doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Aparatın çalışabilirlik kontrolü

Üretilen aparatın sulu ve asitli ortamlarda uzun süre kalacağı göz önünde bulundurularak, aparatın boyanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aparat sayesinde, plastik esaslı kompozit malzemelerin ve bu malzemelere yönelik bağlantıların ön yüklemeler sonrasındaki mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi konusunda literatüre bir çok çalışmanın kazandırılacağı düşünülmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında ön yüklemelere maruz bırakılan plastik esaslı kompozit plakaların ve bu plakaların yapıştırılmalı bağlantılarının

zamana karşı sürünme etkisinin incelenmesine yönelik bir aparat tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen test düzeneği, numunelere farklı kuvvetlerde çeki doğrultusunda statik yük uygulayabilmekle birlikte, bu yük dağılımını her bir numune için eşit olarak aktarmaktadır.

Aparat üzerine sabitlenen numuneler bir hafta boyunca hiçbir şekilde çözülmemiş olup, numunelere uygulanan ön yüklemeye kuvveti geçen süreye rağmen sabit kalmıştır. Bu durum, plastik esaslı kompozit plakaların ve yapıştırılmalı bağlantılarının sürünme etkisinin, sürekli veya zamana bağlı değişen; termal, kimyasal ve fiziksel ortamlarda tutulabilmesine imkan sağlamaktadır. Böylelikle, üretilen aparat sayesinde farklı ortamlardaki ön yüklemeye etkisinin mekanik özellikleri incelenebilecektir.

Kaynakça

- [1] Akpınar, S. 2019. The Effect of Adherend Thickness and Width on Fracture Behavior in Adhesively bonded Double Cantilever Beam Joints, European Mechanical Science, Cilt. 3(3), s. 83-87. DOI: 10.26701/ems.566773
- [2] Saeedifar, M., Saleh, M.N., De Freitas, S.T., Zarouchas, D. 2019. Damage characterization of adhesively-bonded Bi-material joints using acoustic emission, Composites Part B, Cilt. 176. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107356
- [3] Safar, A.A., Ayatollahi, M.R., Bahreinian S.A., da Silva, L.F.M. 2019. Application of adhesively bonded single lap joints for fracture assessment of adhesive materials, The Journal of Adhesion, Cilt. 95, s. 1-22. DOI: 10.1080/00218464.2017.1329656
- [4] Jairaja, R., Naik, G.N. 2019. Weak bond effects in adhesively bonded joints between the dissimilar adherends, The Journal of Adhesion. DOI: 10.1080/00218464.2019.1702027
- [5] Her, S.C., Chan, C.F. 2019. Interfacial Stress Analysis of Adhesively Bonded Lap Joint, Materials, Cilt. 12(15), s. 1-20. DOI: 10.3390/ma12152403
- [6] Sayman, O., Arıkan, V., Dogan, A., Soykok, I.F., Dogan, T. 2013. Failure analysis of adhesively bonded composite joints under axial impact and different temperatures, Composites Part B Cilt. 54 s.409-414. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.06.017
- [7] De Goeji, W.C., van Tooren, M.J.L., Beukers, A. 1999. Composite adhesive joints under cyclic loading, Materials and Design, Cilt. 20(5), s. 213-221. DOI: 10.1016/S0261-3069(99)00032-1
- [8] Ozdemir, O., Oztoprak, N. 2017. An investigation into the effects of fabric reinforcements in the bonding surface on failure response and transverse impact behavior of adhesively bonded dissimilar joints, Composites Part B, Cilt. 126, s. 72-80. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.06.005
- [9] Atahan, M.G., Apalak, M.K. 2019. Low velocity oblique impact behavior of adhesively bonded single lap joints, Journal of Adhesion Science and

- Technology, Cilt. 34(3), s. 263-298. DOI: 10.1080/01694243.2019.1667203
- [10] Huang, W., Sun, L., Li, L., Shen, L., Huang, B., Zhang, Y. 2019. Investigations on low-energy impact and postimpact fatigue of adhesively bonded single-lap joints using composites substrates, The Journal of Adhesion. DOI: 10.1080/00218464.2019.1602767
- [11] Pang, J., Du, Y., Wu, K., Hu, P., Li, W. 2013. Fatigue Analysis of Adhesive Joints Under Vibration Loading, The Journal of Adhesion, Cilt. 89(12). DOI: 10.1080/00218464.2013.764829
- [12] Kemiklioğlu, U., Baba, B.O. 2019. Investigation of mechanical properties and failure surfaces of adhesively bonded composites subjected to vibration loads, Materials Research Express, Cilt. 6. DOI: 10.1088/2053-1591/ab4534
- [13] Kemiklioğlu, U., Baba, B.O. 2018. Vibration Effects on Tensile Properties of Adhesively Bonded Single Lap Joints in Composite Materials, Polymer Composites, Cilt. 40(3). DOI: 10.1002/pc.24845
- [14] Sankar, H.R., Adamvalli, M., Kulkarni, P.P., Parameswaran, V. 2015. Dynamic strength of single lap joints with similar and dissimilar adherends, International Journal of Adhesion and Adhesives, Cilt. 96, s. 46-52. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2014.07.014
- [15] Zamani, P., Jaamialahmadi, A., da Silva L.F.M., Farhangdoost K. 2019. An investigation on fatigue life evaluation and crack initiation of Al-GFRP bonded lap joints under four-point bending, Composite Structures, Cilt. 229. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111433
- [16] Khalili, S.M.R., Jafarkarimi, M.H., Abdollahi, M.A. 2009. Creep analysis of fibre reinforced adhesives in single lap joints — Experimental study, International Journal of Adhesion and Adhesives, Cilt. 29, s. 656-661. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2009.02.007
- [17] Arman, Y. 2019. İnce Cidarlı Kompozit Kirişlerin Yanal Burkulma Davranışına Şerit Delaminasyonun Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt. 61, s. 271-278. DOI: 10.21205/deufmd.2019216126
- [18] Büyükköz, M., Altınkaya, S.A. 2015. Jelatin Doku İskelesinin Mekanik Özellikleri Üzerine Gözenek Oluşturucu Ajanın Boyutu ve Bağlantı Süresinin Etkileri, CBÜ Fen Bil. Dergi., Cilt. 11(2), s. 167-173. DOI: 10.18466/cbujos.63838
- [19] Erdemir, F., Ozkan, M.T. 2018. Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanlarında Tutma/Çözme Kuvvetinin Malzeme Cinsi ve Sürtünme Katsayısına Göre Yapay Sinir Ağları Metodu ile Modellenmesi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 4(3), s. 207-215. DOI: 10.30855/GJES.2018.04.03.007
- [20] Günay, M. 2019. Modeling of Tensile and Bending Strength for PLA Parts Produced by FDM, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Cilt. 3(3), s. 204-211. DOI: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ij3dptdi/issue/51591/623331>
- [21] Hamade, R.F., Baydoun, A.M.R. 2019. Nondestructive detection of defects in friction stir welded lap joints using computed tomography, Materials and Design, Cilt. 162, s. 10-23. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.11.034
- [22] Soyaslan, D.D. 2019. Tekstil Kompozitlerinin Elektromanyetik Kalkanlama Testlerinin Yapılmasında Kullanılmak Üzere Ekonomik Bir Kutu-Test Düzeninin Geliştirilmesi, European Journal of Science and Technology, Cilt. 17, s. 852-859. DOI: 10.31590/ejosat.646344
- [23] ASTM D5868, 2014. Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding. <https://www.astm.org/Standards/D5868.htm> (Erişim Tarihi: 19.01.2020).
- [24] ASTM D3039, 2017. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. <https://www.astm.org/Standards/D3039> (Erişim Tarihi: 19.01.2020).
- [25] TS 61-30, 2005. Türk Standardı Bağlama Elemanları Tablosu. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073081098105077087071099105085072082> (Erişim Tarihi: 19.01.2020)