

**KOMPOZİT SANDVİC PANEL ÜRETİMİ VE ÜRETİLEN
PANELLERİN HASAR KRİTERLERİNE GÖRE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Uğur ÖZEN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

2018

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KOMPOZİT SANDVİC PANEL ÜRETİMİ VE ÜRETİLEN
PANELLERİN HASAR KRİTERLERİNE GÖRE
KARŞILAŞTIRILMASI.**

Uğur ÖZEN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi İBRAHİM SAVAŞ DALMIŞ

TEKİRDAĞ – 2018

Her hakkı saklıdır.

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ danışmanlığında, Uğur ÖZEN tarafından hazırlanan “Kompozit sandviç panel üretimi ve üretilen panellerin hasar kriterlerine göre karşılaştırılması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Olcay EKŞİ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT SANDİVİC PANEL ÜRETİMİ VE ÜRETİLEN PANELLERİN HASAR KRİTERLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI.

Uğur ÖZEN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İBRAHİM SAVAŞ DALMIŞ

Bu çalışmada, sandviç kompozit panellerin eğilme ve basma rijitliğini arttırmak amacıyla farklı çekirdek yapıları kompozit paneller incelenmiştir. Piramit, Konik, Federli-Konik olmak üzere üç tip çekirdek yapısı incelenmiştir. Bu panel yapıları yumurta kutu yapımından esinlenerek tasarlanmıştır. Kompozit paneller vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çekirdek ve plaka üretiminde cam elyaf kumaş ve epoksi reçine ve bunları birbirine yapıştırmak için epoksi bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Üretilen kompozit plakaların eğilme dirençleri birbirlerine çok yakın olmakla birlikte piramit çekirdekli panelin eğilme direnci diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Basma testinde ise federli-konik çekirdek yapıları kompozit panelin basma rijitliği ve dayanımı diğer panellere oranla yaklaşık iki kat daha fazladır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak üç nokta eğme testi modellenmiştir. Modelde Tsai hasar kriteri kullanılarak hasar bölgeleri belirlenmiş ve test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, model hasar bölgelerini yeterli yakınlıkta bulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kompozit panel, Yumurta kutusu, Sandviç yapılar, Vakum infüzyon yöntemi

2018, 48 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

MANUFACTURING OF COMPOSITE SANDWICH PANEL, AND COMPARISON OF THE PANELS MANUFACTURED ACCORDING TO FAILURE CRITERIA.

Uğur ÖZEN

Namık Kemal University in Tekidağ
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi İBRAHİM SAVAŞ DALMIŞ

In this study, composite panels with different core structures were investigated to increase the bending and compression stiffness of the panels. Three type of core structures were examined. These were pyramid, conical, and supported-conical. These panels were designed with inspiration from the egg box. Composite panels were produced using vacuum infusion method. Glass fiber fabric and epoxy resin were used to the manufacture cores and the face sheets, and epoxy-based adhesive was used to adhere the core and the facesheets. The bending resistance of the composite panels with different cores was very close to each other, but the bending resistance of the pyramidal core panel was higher than the others. In the compression test, the compressive strength and rigidity of the composite panel with supported conical core structure was about twice that of the other panels. The three-point bend test was modeled using the finite element method. Damage zones were determined using the Tsaih damage criterion in the model and compared with the test results. When the results were examined, the model found the damage areas close enough.

Keywords: Composite panel, Egg box, Sandwich structures, Vacuum infusion method

2018, 48 Sayfa Pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Plaka Üretimi	1
1.1.1. El Yatırma Yöntemi.....	1
1.1.2. Sürekli kalıplama Yöntemi.....	1
1.1.3. Vakum İnfüzyon Yöntemi	2
1.1.4. Püskürtme Yöntemi	2
1.1.5. Santrifüj Kalıplama Yöntemi	2
1.2. Sandviç Kompozit Panel	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Eğilme Test Düzenegi	12
3.1.1.1. Test Düzenegi Ana Elemanları.....	12
3.1.2. Basma Test Düzenegi	13
3.1.3. Basma ve Eğilme Testi Makinası	13
3.1.4. Vakum İnfüzyon Üretim Elemanları	14
3.1.5. Kompozit Çekirdek Kalıbı	15
3.1.6. Cam Elyaf Malzeme	16
3.2. Yöntem	16
3.2.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Plaka Üretimi	16
3.2.2. Kompozit Çekirdek Üretimi:	21
3.2.3. Üretilen Kompozit Çekirdek Formları:	22
3.2.4. Üretilen Çekirdeklerin Kalınlık Dağılımları.....	25
3.2.5. Kompozit Panel Üretimi:.....	27
3.2.6. Eğilme Testleri.....	28
3.2.7. Basma Testleri	28
3.2.8. Sayısal Analiz	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	32
4.1. Eğilme Test Sonuçları.....	32
4.2. Çekirdeklerdeki Eğilme Test Sonuçları.....	35
4.3. Basma Test Sonuçları	39
4.4. Analiz Sonuçları	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	45
6. KAYNAKLAR	46
7. ÖZ GEÇMİŞ	48

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Hexion MGS L285-H285 reçine sisteminin mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. Quadriaxial cam elyaf fiber malzeme özellikleri	16
Çizelge 3.1. A-A kesiti çekirdek kalınlık ölçüleri	26
Çizelge 3.2. B-B kesiti çekirdek kalınlık ölçüleri	26
Çizelge 3.3. Quadriaxial fiber epoxy sistem katmanının mekanik özellikleri (Uzal ve arkadaşları, 2018)	31

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Kompozit Sandviç Panel	3
Şekil 2. Üç nokta eğilme test düzeneği.....	12
Şekil 2.1. Üç nokta eğilme test düzeneği	13
Şekil 2.2. Basma test düzeneği	13
Şekil 2.3. Eğilme ve basma test makinası	14
Şekil 2.4. Vakum infüzyon hattı şematik gösterimi	15
Şekil 2.5 Cam yüzeyine vaks sürülmesi	17
Şekil 2.6. Cam elyaf dizilimi	17
Şekil 2.7. Sök at kumaşı konulması.....	18
Şekil 2.8. Naylon file konulması	18
Şekil 2.9. Vakum bandı yapıştırılması	19
Şekil 2.10 Reçine hattı.....	19
Şekil 2.11. Vakum hattı	20
Şekil 2.12. Sistemin vakumlamaya hazır hali	20
Şekil 3.1. Üretilen dişi kompozit çekirdek kalıbı	21
Şekil 3.2. Üretilen erkek kompozit çekirdek kalıbı	22
Şekil 3.3. Eğilme Testi Piramit Çekirdek Formu	23
Şekil 3.4. Basma Testi Piramit Çekirdek Formu	23
Şekil 3.5. Eğilme Testi Konik Çekirdek Formu	24
Şekil 3.6. Basma Testi Konik Çekirdek Formu.....	24
Şekil 3.7. Eğilme testi piramit konik çekirdek Formu.....	25
Şekil 3.8. Basma testi piramit konik çekirdek Formu	25
Şekil 3.9. Üretilen çekirdeklerin kesit görünümü.....	26
Şekil 3.10. Eğilme testi için üretilen paneller.....	27
Şekil 3.11. Basma testi için üretilen paneller	27
Şekil 3.12. Eğilme testi.....	28
Şekil 3.13. Basma testi	28
Şekil 3.14. Piramit çekirdek yapısının sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları	29
Şekil 3.15. Piramit çekirdek yapısının ağ görüntüsü	30
Şekil 3.16. Kabukta kullanılan fiber yönelimleri	30
Şekil 4.1. Piramit Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi.....	32
Şekil 4.2. Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi.....	32
Şekil 4.3. Federli Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi	33
Şekil 4.4. Tüm panellerin 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrileri	33
Şekil 4.5. Çekirdekte oluşan yapıştırıcı hatası.....	34
Şekil 4.6. Plakalarda oluşan yapıştırıcı hatası	34
Şekil 4.7. Epoksi reçine çekirdek ayrılması	35
Şekil 4.8. Piramit çekirdek için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi.....	35
Şekil 4.9. Piramit çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar.....	36
Şekil 4.10. Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi.....	36
Şekil 4.11. Dairesel çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar	36
Şekil 4.12. Federli Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi	37
Şekil 4.13. Federli Dairesel çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar	37
Şekil 4.14. Federli Dairesel çekirdekte ters eğilme testi sonrası oluşan hasar	38
Şekil 4.15. Eğilme zorlaması şematik gösterimi	38
Şekil 4.16. Tüm çekirdeklerin 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrileri.....	39

Şekil 4.17. Piramit basma testi altında yük-deplasman eğrisi	40
Şekil 4.18. Konik basma testi altında yük-deplasman eğrisi	40
Şekil 4.19. Federli basma testi altında yük-deplasman eğrisi	41
Şekil 4.20. Tüm Panellerin basma yükü altındaki yük-deplasman eğrileri	41
Şekil 4.21. Piramit yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm.....	42
Şekil 4.22. Konik yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm	42
Şekil 4.23. Federli konik yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm	43
Şekil 4.24. Düzlemsel maksimum gerilme dağılımı (üstte), Tsaii hasar kriterine göre hasar dağılımı (ortada), ve hasar bölgelerinin karşılaştırılması (altta).....	44
Şekil 4.25. Düzlemsel maksimum gerilme dağılımı (üstte), Tsaii hasar kriterine göre hasar dağılımı (ortada), ve hasar bölgelerinin karşılaştırılması (altta).....	44

ÖNSÖZ

Öncelikle tezimin başlangıcından sonuna kadar bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ' a ve Dr. Kenan ÇINAR' a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezde maddi manevi destek sağlayan Namık Kemal Üniversitesi'ne ve Uzay Makine A.Ş. ye teşekkür ederim.

Mayıs 2018

Uğur ÖZEN

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemeler hafifliği gibi pek çok avantajı nedeniyle günümüzde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yüksek rijitlik (ağırlık oranına bağlı olarak), yüksek dayanıklılık, yorulma direnci, korozyon direnci gibi birçok özelliğe sahiptirler.

Kompozit malzemeler klasik malzemelere oranla sahip oldukları hafiflik, yüksek dayanım/ağırlık oranı, kolay onarılabilmek, boyutsal kararlılık, yüksek ısı ve kimyasal direnç ve nispeten kolay üretim gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin metallere göre önemli avantajlarının bulunmasının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Kompozit malzemeler metallere göre çok daha kırılabilir (gevrek) bir yapıya sahiptirler ve plastik deformasyon meydana gelmez. Dolayısıyla kompozit yapılarda ani hasarlar olabilmektedir. Metaller ise sünek yapıya sahip olduklarından, yüklemeye altında plastik deformasyon meydana gelebilir. Metallerdeki kırılma olayı belli süreçleri gerektirdiği için kırılmadan önce gerekli önlemlerin alınma şansı vardır. Bu duruma ek olarak kompozit malzemelerin, gerilme yığılmalarındaki davranışları da metallere oranla çok daha farklıdır. Bunun sebebi kompozit malzemelerin anizotropik ve kırılabilir olmalarıdır. Yukarıda belirtilen durumlardan dolayı kompozit yapıların tasarımı metallere oluşan yapıların tasarımına göre oldukça karmaşıktır ve detaylı çalışma gerektirmektedir. (Basmacı 2011)

1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Plaka Üretimi

Kompozit malzeme üretimi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. El yatırma yöntemi, elyaf sarma yöntemi, vakum infüzyon yöntemi, püskürtme yöntemi, sıcak pres kalıplama, ve otoklav pişirme gibi birçok üretim yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.1.1. El Yatırma Yöntemi

Bu yöntemde elyaf malzeme daha önceden hazırlanmış bir kalıp içine yerleştirilir ve reçine bir el aleti vasıtasıyla elyafın üzerine sürülür. İstenilen kalınlık ölçüsü elde edilinceye kadar bu işleme devam edilir ve kompozit plaka üretilmiş olur.

1.1.2. Sürekli kalıplama Yöntemi

Bu kalıplama metodunda elyaf reçine içine daldırılır ve üzerine ayırıcı sürülmüş dönmekte olan kalıp üzerine sarılarak oluşturulan üretim yöntemidir.

1.1.3. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum destekli reçine infüzyonu yöntemi kısaca kalıp ayırıcı sürülmüş bir kalıbın içerisine cam elyaf, karbon, aramid vb. kumaşların belirlenen tabaka dizilişine uygun olarak yerleştirilmesi ve bu kumaşların kalıp çevresine yerleştirilen macun bantlar ve vakum folyosu (torbası) vasıtasıyla dış ortandan izole edilmesi, yapının vakum ortamına alınması ve daha sonrada reçine nüfuz ettirilmesi esasına dayanır. (Potoğlu 2012)

1.1.4. Püskürtme Yöntemi

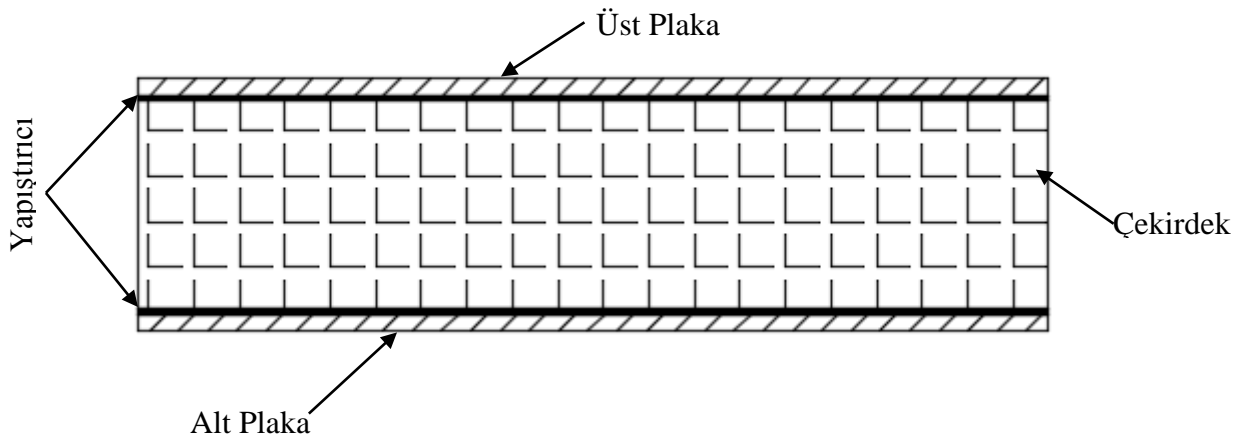
Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli olanı denebilir. Kalıp yüzeyine yerleştirilen elyafların üzerine sertleştirici katılmış reçinenin tabanca ile püskürtülmesi olayıdır.

1.1.5. Santrifüj Kalıplama Yöntemi

Boru ve silindirik malzemelerin imal edilmesinde kullanılır. Elyaf, reçine ve sertleştirici karışımı dairesel bir kaba konur ve döndürülür. Bu döndürme işlemi ile oluşan merkez kaç kuvveti ile elyaf kabin şeklini alır ve böylece üretim gerçekleşir. Bu yöntemde kalıp içine sıcak hava üflenerek kalıbın donması sağlanır.

1.2. Sandviç Kompozit Panel

Sandviç Kompozit paneller hafifliği, yüksek enerji sönümlenmeleri ve eğilme dayanımları yüksek olduğundan birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin; hava ve deniz araçları, otomotiv sektörlerinde kullanılmaktadır. Hafifliğin önemli olduğu mukavemet dayanımının yüksek olmasını istendiği her sektörde kullanılmaktadır. Sandviç panel şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kompozit Sandviç Panel

Kompozit sandviç plakalar alt-üst plaka, çekirdek ve bu malzemeleri birleştirecek bir birleştirici elemandan oluşur. Burada birleştirici elemanın önemi çok büyüktür çünkü bütün sistemin birbirine kenetlenmesini sağlar.

Kompozit Sandviç Malzemelerde kullanılan ana elemanları oluşturan malzemeleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1.2.1. Kompozit Malzeme Yüzey Çeşitleri:

Cam elyafları: Cam elyafına cam ipliği de denir. Silisli kum, kireç taşı, asitrobik, alüminyum ve magnezyum karışımından oluşmaktadır. Cam elyafı oldukça sağlam, yanmaz, çekmeye ve gerilmeye dayanıklı, emici olmayan bir ipliktir.

Aramid elyaflar: Aramid elyaf bir naylon türevi olup yüksek mukavemete sahip organik elyafıdır. Ateşe dayanıklı, aşınma direnci yüksek, yüksek mukavemete sahip olduklarından delinmeme özelliğine sahiptirler, yapısı itibarıyla nem almaya müsaittir.

Karbon elyafları: Mukavemet olarak cam ve aramid elyaflarından çok daha üstün özellikler taşırlar. Darbelerin yutulması için ve çok düşük ağırlıkla rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşük uzama seviyeleri ve kırılma direnci başlarda problem olmuşsa da günümüzdeki yüksek uzamalı karbon elyaflarının bulunmasıyla bu problemler ortadan kalkmıştır. Plastik matris içerisinde ıslanabilme özellikleri oldukça iyidir. (Tortoç 2009)

Diğer plastik elyaflar: Naylon ve poliüretan malzemedен imal edilirler.

Boron elyaflar: Metal takviyeli kompozitlerde kullanılır.

1.2.2. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Reçine Türleri:

Polyesterler: Reçine matrislerin bilinen en eskilerinden ve en çok kullanılanıdır. Islak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Genelde ortoftalik ve izoftalik olarak iki tip polyester kullanılır. Polyesterin saf halde korozyon elementlere ve suya mukavemeti çok iyi değildir. İmalatta çalışma süresi 30-40 dakika ile sınırlıdır. Bu süreyi uzatmak için çeşitli

inhibitörler kullanılabilir. Ancak reaksiyonun egzoterm özelliği ve hızının güç kontrol edilebilmesi vakum altında imalatta çok büyük zorluklar getirir. (Tortoç 2009)

Vinylesterler: Epoksi bazlı vinilester reçineler standart polyester reçinelerden farklı kimyasal yapısı sayesinde çok daha yüksek ısı ve kimyasal (asidik ve bazik ortam) dayanıma sahiptir. Bu özel yapısal karakteri ile mekanik değerleri ve yük altında deformasyon sıcaklığı (HDT) değerleri de son derece yüksektir.

Epoksiler: Epoksi reçineler, termosetler grubunda yer alan yüksek yapıştırma gücüne sahip olan reçine türüdür. Aside ve suya dirençleri çok yüksek olduklarından dolayı zamanla özelliklerini yitirmezler. Uygulama alanları oldukça geniştir. Epoksilerin genel özellikleri; mükemmel yapışma, kimyasal ve ısı direnci sağlama, mükemmel mekanik özelliklere sahip olma ve çok iyi elektriksel yalıtım sağlamadır

1.2.3. Kompozit Çekirdek Çeşitleri:

PVC köpükler: Kolay ebatlanma, hafif, uygun fiyat avantajları ile kompozit yapılarda en çok kullanılan çekirdek malzemesidir.

Balsa ahşabı: Hafif balsa ağacı, elyafları deriye dik gelecek şekilde kesilerek çekirdek olarak kullanılır. Balsa çekirdekli sandviçler çok iyi bir rijitlik sağlarlar. Ancak, kırılmaları ani ve büyük boyutlu olur. Bunun yanı sıra, tabii kaynaklı malzemenin standardizasyonu imkânsız denecek kadar zordur. Nispeten yüksek yoğunluğu ise, PVC köpük gibi geniş bir seçim şansı vermez. (Tortoç 2009)

Tahta: Balsa dışında tahta da, bilhassa iyi ezilme mukavemeti beklenen yerlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılabilir. Genelde kontura plak veya lamine şeklindedir. Standardizasyonu balsadan daha iyi kontrol edilebilir. Ağırlığı önemli bir dezavantajdır. (Tortoç 2009)

Bal peteği: Hafiflik, basma ve kesme dayanımı, yanmaya, aşınmaya, korozyona karşı dayanıklılık ve kolay işlenebilirlik, enerji sönmeme, gibi özellikleri nedeniyle kara, deniz, havacılık ve uzay sektörlerinde sıkça kullanılırlar. Bal peteği oluşturulan kompozit paneller, mevcut çözümlerden daha hafif ve yüksek mukavemete sahiptirler.

Kompozit sandviç yapımının esnekliği, bu malzemedeki yenilikçi yapısal gelişmeler sağlar. Kompozit malzemeler aynı zamanda inşaat malzemeleri ile birleştirilebilir veya tek tek sandviç yapısı tarafından taşınamayan yükleri taşımak üzere şekillendirilebilir ve oluşturulabilir. Buna ek olarak, sandviç yapısı istenilen sağlamlık ve mukavemet ile çeşitli

yapısal uygulamalara uyacak ek ağırlık bir ağırlık olmaksızın tasarlanabilir. (Manalo ve ark. 2010)

Sandviç yapılar, yüksek sağlamlık ve yüksek mukavemetli iki ince yüz ile düşük yoğunluklu ve düşük sertlikte bir çekirdekten oluşur. Vakum destekli reçine transfer kalıplanmış (VARTM) sandviç yapılarda, yüzler genellikle bir karbon fiber veya cam elyaf kompozit malzemedir yapılır ve çekirdek tipik olarak uç tahıl balsa ahşabı veya polivinil klorid gibi kapalı hücreli polimer köpüklerden oluşur. (J.Dai ve H.Thomas Hahn 2003)

Reçine transfer kalıplama (RTM), ve VARTM(Vakum yardımcı reçine transfer kalıplama) gibi kompozit üretim proseslerinin geliştirilmesiyle birlikte, polimer matris kompozitler kullanılarak üretilen sandviç yapılar 1980'lerin başında keşfedilmiştir. Özellikle VARTM, türbin kanatları, tekneler, raylı araçlar ve köprü katları(desteleri) gibi çeşitli büyük parçaları üretmek için kullanılan düşük maliyetli bir kompozit üretim sürecidir. (Mohamed 2015)

Sandviç yapılarının yapısal davranış ve başarısızlık özelliklerini incelemek gerekliliği son yıllarda artmıştır. Son uygulamalar, fiber takviyeli kompozit sandviç yapının inşaat yapıları ve çeşitli kritik ağırlık uygulamalarında etkin ve ekonomik olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Bu uygulamalarda, yüksek ağırlık tasarrufu ile birlikte iyi bir bükülme ve basınç dayanımı kombinasyonu önemlidir. (Mohamed ve ark. 2014) Elyaf Takviyeli Polimerler (FRP'ler), hafif yapıdaki yapısal uygulamalar için avantaj sağlayan, oldukça sert, güçlü ve hafif malzemelerdir. Bununla birlikte FRP 'ler deforme ve hasara karşı koyma konusunda kısıtlı özellikler sunmaktadır. (Pimenta, Robinson 2014)

Sandviç yapıların daha etkili hafif enerji emici yapılar bulmak için çeşitli malzemeler ve geometrik konfigürasyonlar araştırılmıştır. Bunlardan biriside yumurta kutusu şeklindeki geometrik yapılardır. Bu tip yapıların en önemli avantajı enerji emme kapasitesinin yüksek oluşudur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Mohamed ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada farklı çekirdek tasarımları için poliüretan köpük malzemesi kullanarak sandviç paneller üretilmiştir. Çekirdek yapısı olarak kutu şeklinde ve trapez kıvrımlı geometriler kullanılmıştır. Paneller vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda trapez geometrili çekirdek tasarımlarının eğilme dayanımının diğer geometrilere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Fan ve arkadaşları (2007) Kagome adı verilen bir kafes yapısını sandviç yapının çekirdek kısmına uygulayıp kompozit panel üretilmiştir. Karbon fiber ile desteklenmiş kafes çerçevenin köpük ve bal peteği yapılara kıyasla daha rijit ve sağlam olduğu gözlemlenmiştir.

Fan ve arkadaşları (2014) kompozit sandviç yapıların süneklik davranışını iyileştirmek için çekirdek malzemesi olarak cam elyaf takviyeli piramit şeklinde bir yapı kullanmıştır ve bu yapının ezme testlerinde yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

J.Dai ve H.Thomas Hahn (2003) D-100 balsa ahşap ve H-250 PVC köpük olmak üzere iki farklı çekirdek malzemesi kullanılarak sandviç kirişlerin statik 3 ve 4 noktalı bükülmelerdeki başarısızlık davranışı incelenmiştir. Yüzler yarı izotrop E-cam dokuma olmayan kumaş ve sandviç paneller, VARTM prosesinde Derakane 441-400 epoksi vinil ester reçinesi kullanılarak imal edilmiştir.

A.C. Manalo ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada, tutkal-lamine fiber kompozit sandviç kirişlerin eğilme davranışları üzerine deneysel bir incelemeyi içermektedir. Birbirine yapıştırılmış kompozit sandviç panelli kompozit sandviç kirişler, sertlik ve mukavemet özelliklerini değerlendirmek için düz ve kenarlarda 4 noktalı statik eğilme testine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, kompozit sandviç kirişlerin kenar yönünde konumlandırılmasının,% 25 daha yüksek eğilme mukavemeti ile başarısız olduğunu, fakat düzlem pozisyonundaki kirişlerden% 7 daha düşük bükülme sertliğine sahip olduğunu göstermiştir.

J.G. Chung ve arkadaşları (2007) bu çalışmada kompozit yumurta panellerinin deformasyonu ve enerji emilimini araştırmışlardır. Bu çalışmada yumurta kutusu şeklinde tasarlanan kalıpta cam elyaf takviyeli (GFRP) ve karbon fiber takviyeli (CFRP) kompozit malzemelerin farklı kalınlık ve farklı dizilim sırasındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. CFRP yumurta kutusu panellerinin belli bir gerilme veya ağırlıkta birim kütle başına en yüksek enerji emilimine sahip olduğu, ancak simetrik olarak istiflenmiş GFRP panellerin daha uygun maliyetli enerji emiciler olduğu bulunmuştur.

Anne-Marie Harte ve arkadaşları (2000) örgülü cam / epoksi kompozitlerden yapılan köpük dolgulu dairesel kompozit tüplerin enerji emilimini inceleyip, tüp duvar mukavemeti ve köpük yoğunluğunun etkilerini belirlemişlerdir. Köpük dolgulu örgülü dairesel tüplerin, polimerik köpük çekirdeğin ve cam / epoksi örgülü tüpün enerji emiliminin, kombinasyonundan ötürü daha yüksek enerji emici özellikler sergilediğini bulunmuşlardır.

Cui ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada (2004) enine yüklü kompozit küresel kubbelerin büyük deformasyon davranışlarını tanımlamayı amaçlanmıştır. Kompozit kubbelerin üretilmesi için aynı termoplastik matrikse, polipropilen içine gömülmüş, dokunmuş ve örülmüş, iki farklı cam kumaş kullanılmıştır. Farklı katlar ve oryantasyonlara sahip olan iki kıvrımlı kabuklar iki rijit yassı levha arasında bastırılmıştır.

Deshpande ve Fleck (2003) bir optimizasyon şeması kullanarak, bir alüminyum yumurta kutusu panelinin metal köpüklerden daha yüksek bir enerji emilimine sahip olduğunu ve altıgen petekler gibi hemen hemen aynı enerji emilimine sahip olabileceğini bulmuşlardır.

Soraia Pimenta ve Paul Robinson (2014) yaptıkları çalışmada, simetrik olarak dalgalı kompozit kabukları olan sandviç yapıları için yeni bir tasarım ve gerilme yükü altında büyük gerginlik (kabukların açılmasından dolayı) ve enerji emiliminin (köpük çekirdeğinin ezilmesi nedeniyle) elde edilmesini amaçlayan, ezilebilir bir köpük çekirdeği önermektedir.

A. Tortoç (2009) yaptığı çalışmada PVC ve Balsa çekirdek malzemesine sahip sandviç kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerini, sonlu elemanlar yöntemi ile teorik olarak belirlememiştir. Nümerik olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS yazılımı ile kırılma tokluğu değerleri belirlenmiş ve bulunan sonuçlar deneysel metotla bulunan sonuçla ile karşılaştırılarak, veriler bir tablo halinde sunulmuştur.

U. Potoğlu (2012) yaptığı çalışmada E-camı/epoksi kabuklu PVC ve PET köpüğü çekirdekli sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe test davranışlarını deneysel olarak incelemektir. Düşük hızlı darbe deneyinde kullanılacak sandviç kompozit plakalar için vakum destekli infüzyon kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu plakalardan 100 mm x 100 mm şeklinde kesilen numuneler bir test düzeneği kullanılarak düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuştur. Darbe testine tabi tutulan numuneler için kuvvet, deplasman, absorbe edilen enerji, zaman, hız gibi parametrelerin değişimi kaydedilmiş ve kendi aralarında köpüğe ve katman sayısına göre karşılaştırılmıştır.

A.K Haldar ve arkadaşları (2018) bir yumurta kutusu çekirdeği tasarımına dayanan kompozit çekirdekleri, basit bir basma-kalıplama tekniği kullanılarak üretilmiştir. Çekirdek malzemeleri üretmek için iki tip kompozit prepreg kullanıldı; bunlar, dokuma karbon fiber takviyeli epoksi ve dokunmuş cam elyaf takviyeli epoksidir. Elde edilen çekirdekler, imalat prosedürünü takiben çok az veya hiç buruşma sergilemeyen yüksek kalitedeydi. Karbon bazlı çekirdeklerin yarı statik basma mukavemetinin, özellikle yüksek çekirdek yoğunluklarında, cam elyaf sistemlerinden biraz daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Darbe vuruş kulesi kullanılarak gerçekleştirilen darbe testleri, yumurta-kutu çekirdeklerinin basma mukavemetinin, dinamik oranlarda, yarı-statik oranlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

A.K Haldar ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada yarı statik yüke maruz kalan küresel çatı kompozit çekirdek yapılar ile oluşturulan panellerin enerji emici özelliklerini araştırmışlardır. Cam elyaf takviyeli (GFRP), ve karbon fiber takviyeli (CFRP) panellerin enerji emici özelliklerine, çekirdek formu ve hücre çeperi kalınlığının etkisi incelenmiştir. Panellerin enerji emme kapasitesi çekirdek hücre kalınlığı arttıkça arttığı ve küresel çatı tavanlı çekirdeklerin düz çatı tavanlı çekirdeklerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

S.W. Lam ve arkadaşları (2004) birkaç örme polimer elyafı ve matrislerinden yapılmış, düz tepeli, ızgara kubbeli bir hücreli yapının enerji emme davranışını incelediler. Darbe enerjisinin, lif hacminin ve lif mimarisinin yapının enerji emilimi üzerindeki etkilerini değerlendirdiler. Eşdeğer hücre duvarı kalınlığının, dominant bir faktör olduğu gösterilmiştir. Sabit bir kalınlıkta, fiber hacim fraksiyonunda artış, kompozit tokluğun yanı sıra enerji emme kapasitesinde de artışa yol açtığı saptanmıştır. Hem yapısal hem de duvar kalınlığına bağlı olarak hem örgü hem de dokumasız hücreli kompozitler için farklı deformasyon modları gözlemlenmiştir.

Seong Hwan Yoo ve arkadaşları (2008) kumaş kompozit malzemelerden üretilen yumurta kutusu şeklindeki enerji emici yapılar, basınç özellikleri ve enerji emme kapasitesini belirlemek için imal etmişlerdir. Basma sırasında gerilme-gerinim eğrilerini araştırmak için çeşitli istifleme dizileri ve sınır koşulları (kısıtlanmamış ve bağlanmış) incelenmiştir. İdeal bir enerji emici olarak olasılığını kontrol etmek için köpük dolgululu kompozit yumurta kutusu panelleri üretildi ve test edildi. Test sonuçlarından, köpük dolgululu kompozit yumurta kutusu panellerinin, iyi bir enerji emme kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur.

S.H Yoo ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada köpük dolgululu yumurta kutusu panellerinin enerji emilimini araştırmışlardır. Paneller düz örgülü karbon fiber takviyeli (CFRP) ve bir dizi istifleme dizesine sahip cam elyaf takviyeli (GFRP) kompozit panellerden imal edilmiştir. Bazı testlerde merkezdeki boşluğu doldurmak için düşük yoğunluklu köpük kullanılmıştır. Köpükle doldurulmuş kompozit yumurta çekirdeği sandviç panellerin daha iyi bir enerji emme kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur.

Yu ve arkadaşları (2000) örme kumaşlardan yapılmış ızgara kubbeli tekstil kompozit yapıların enerji emilimini test etmişler ve malzeme davranışını açıklamak için üç aşamalı bir teorik model önermişlerdir. Örme kumaşlardan imal edilmiş üç ızgara kubbeli tekstil kompoziti, yarı statik basma ve darbe durumu altında incelenmiştir. Izgara kubbeli kompozitler arasında, dokumasız bir kumaş preformu, polyester ve polietilen köpükleri birleştiren kompozit malzemeler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Plastik çöküntü sergileyen ızgara kubbeli kompozitler, yüksek basınç seviyelerinde, polyester ve polietilen köpüklerden daha yüksek düzeyde optimum özgül enerji emici kapasiteye sahip olduğu bulunmuştur.

Zhou ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada cam elyaf / epoksi ve karbon fiber / epoksi çekirdeklerine dayalı kompozit sandviç yapıların basma esnasındaki enerji emilimini araştırmışlardır. Yapılar bir dizi bitişik çentik silindir etrafına kompozit prepreg tabakaları sarılarak üretilmiştir. Daha sonra prepreg yüzey tabakaları bu sarılmış silindirlerin alt ve üst yüzeylerine tutturularak tüm yapı sıcak preste sertleştirilmiştir. Karbon fiber takviyeli oluklu yapılar, özellikle daha yüksek oluklu kalınlık değerlerine sahip cam esaslı muadiline göre üstün basma dayanımına sahip olduğu bulunmuştur.

Zu-pan ve arkadaşları (2003) üç farklı sınır koşulu ile bastırılmış alüminyum yumurta kutusu panelleri üzerinde basınç testleri ve sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Kısıtlanmamış, kısıtlanmış ve bağlanmış olmak üzere üç sınır şartı kullanılmıştır. Bu sınır koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar bulmuşlardır. Birim kütle ve birim hacim başına enerji emilimi, nispi yoğunluk ve sınır koşullarının bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Çökme mukavemetinin nispi yoğunluğa fonksiyonel bağımlılığı ve gözlemlenen deformasyon modlarının doğrudan incelenmesi, çökmenin yumurta kutusunun yan duvarlarının bükülmesiyle baskın olduğunu göstermektedir.

Guo-dong Xuve arkadaşları (2018) 3D oluklu çekirdek sandviç yapıların mekanik davranışları ve bozulma mekanizmasını incelemiştir. Mukavemet, sertlik ve baskın hata modlarını tahmin etmek için analitik modeller geliştirilmiştir. Oluklu parametrelerin 3D

oluklu çekirdek sandviç yapıların mekanik davranışları üzerindeki duyarlılığını göstermek için, farklı dereceli parametrelere sahip örnekler imal edilmiş ve basma ve bükme yükleri altında test edilmiştir. Sonuçlar, dereceli parametrelerin, 3D oluklu çekirdek sandviç yapılarının mekanik özellikleri ve bozulma modlarını açıkça etkilediğini göstermiştir. Tahminler ayrıca deneylerle karşılaştırılmış ve sonuçlar iyi şekilde örtüşmüştür.

J. Zhou ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada, hafif darbelere dayanıklı sandviç yapılarda kullanılmak üzere kompozit tüp takviyeli PVC köpük çekirdeklerinin enerji emici özelliklerini araştırmışlardır. Basma testleri, hem cam elyafı hem de karbon / cam elyaf kompozit tüplerle güçlendirilmiş, 40 ila 130 kg / m³ arasında değişen yoğunluklarda çapraz bağlı PVC köpük çekirdekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu güçlendirilmiş köpüklerin enerji emici özelliği, her bir konfigürasyonun spesifik enerji emiliminin belirlenmesiyle değerlendirilmiştir. Boru takviyeli köpüklerin mekanik tepkisi de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Dinamik performanslarını ve çarpışma koşullarında enerjiyi emebilme yeteneklerini araştırmak için düşme darbe testleri de yapılmıştır. Boruların bir köpük panel içine gömülmesinin, kompozit borularda meydana gelen ve büyük ölçüde enerji emebilme yeteneklerini arttırdığı gösterilmiştir.

A.J. Malcom ve arkadaşları (2013) Hafif, enerji emici, cam elyaf kompozit sandviç yapısını yapmak için bir yöntem tanımlamışlar ve bunu basma tepkisi (düzlem dışı) aracılığıyla araştırmışlardır. Sandviç yapısı, üçgen kesitli prizmatik kapalı hücreli, PVC köpük uçları üzerine katlanmış, delaminasyona dirençli 3D dokunmuş E-cam elyafı tekstillerden imal edilen oluklu kompozit çekirdekler kullanmıştır. Oluklu yapı, 3D dokunmuş S2-cam elyafı yüz tabakalarına dikilmiştir ve kauçuk ile sertleştirilmiş, darbeye dayanıklı epoksi ile filtrelenmiştir.

Denis D. Cartie ve arkadaşları (2003) Titanyum ve karbon fiber pimleri, kalınlık mukavemetini arttırmak için bir sandviç panelin (karbon fiber yüz tabakaları) polimetakrilimit köpük çekirdeğine yerleştirilmişlerdir. Köpük çekirdeğin pimleri elastik burkulmaya karşı stabilize ettiği ve pim takviyeli çekirdeğin köpük ve desteklenmeyen pimlerden gelen bireysel katkıları aşan bir güç ve enerji emme kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur.

H. Hamada ve arkadaşları (2000) 3-boyutlu kompozit malzemeler için yakın-net şekilli preformların üretilmesine izin veren, sürekli olarak yönlendirilmiş fiber takviyeli entegre bir örgü tekniği geliştirilmiştir. Örgülü çubuk, 3 boyutlu yakın net şekilli bir kompozitin basit bir birimidir. Bu açıdan örgülü çubukları değerlendirmek için ezme testleri

yapılmıştır. Bu malzemenin özgül enerji emilimi (Es) değerleri, cam bezi / epoksi tüpünden daha yüksektir. Bu çalışmada, üstün enerji emilimi özellikleri elde etmek için örgülü çubuklara esnek bir interfaz konseptini uygulamaya çalışmışlardır. Esnek bir interfaz ile örgülü kompozit çubuklar, aşamalı kırma olarak adlandırılan karakteristik kırma modunu da göstermiştir. Sonuç olarak, çubuğun esnek bir interfazla spesifik enerji emilimi, esnek bir interfaz içermeyen bir kompozitinkinden % 30 daha yüksektir.

A. Basmacı (2011) yaptığı çalışmada cam elyaf takviyeli sandviç kompozit plaklarda pimli bağlantıların hasar mekanizmasının deneysel olarak incelemektedir. Deney esnasında kullanılan sandviç kompozit numuneler, vakum destekli reçine infüzyon sistemi kullanılarak üretilmiştir. Öncelikle dolgusuz pimli bağlantıya sahip numuneler üretilmiş ve çekme deneyleri yapılmıştır. Ardından çeşitli geometrik parametrelere sahip pim etrafı elyaf-reçine dolgulu numuneler üretilmiş ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve uygun parametreler temel alınarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar tartışılmış, dolguların hasar mekanizmalarına etkisi hakkında faydalı sonuçlara ulaşılmıştır.

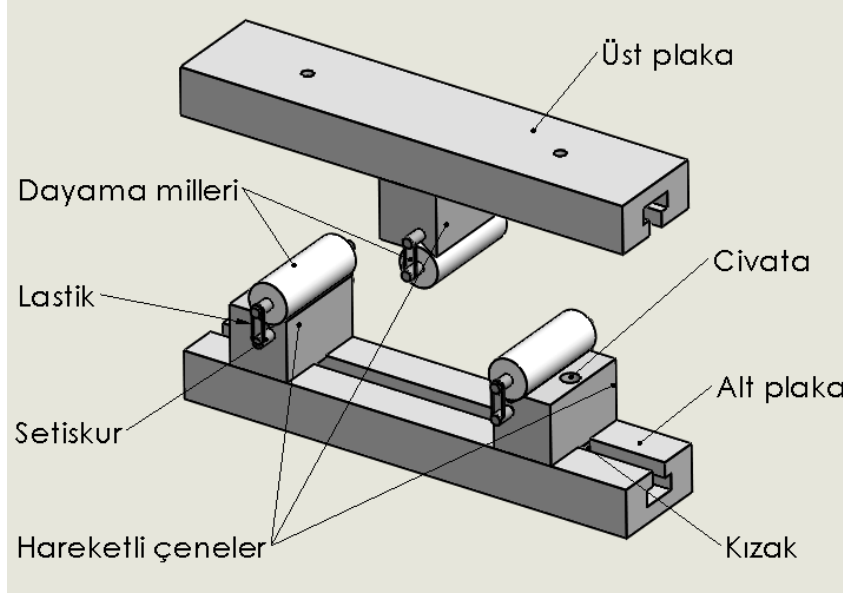
A.R. Akisanya ve N.A. Flec (2006) yaptıkları çalışmada, deneyler ve sonlu eleman hesaplamaları ile 30 derecelik ve 45 derecelik yarı-koni açıları ile konik metalik kabuk üzerinde kesme çökmesi tepkisini belirlemek için araştırmalar yapmışlardır. Basma yüklemesi ve kombine kesme yükü için ek sonlu eleman tahminleri yapılmıştır. Kuvvet ve enerji emiliminin geometriye bağımlılığı araştırılmıştır. Bir dizi konik kabuğun öngörülen tepkisi, sert yüz tabakaları arasına bastırılmış bir yumurta kutusu malzemesinin genel tepkisini vermek için kullanmışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Eğilme Test Düzenegi

Üç nokta eğilme ve basma testleri için üretilen test düzenegi şekildeki gibi standartlara uygun şekilde talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilmiştir. (Şekil 2).



Şekil 2. Üç nokta eğilme test düzenegi

3.1.1.1. Test Düzenegi Ana Elemanları

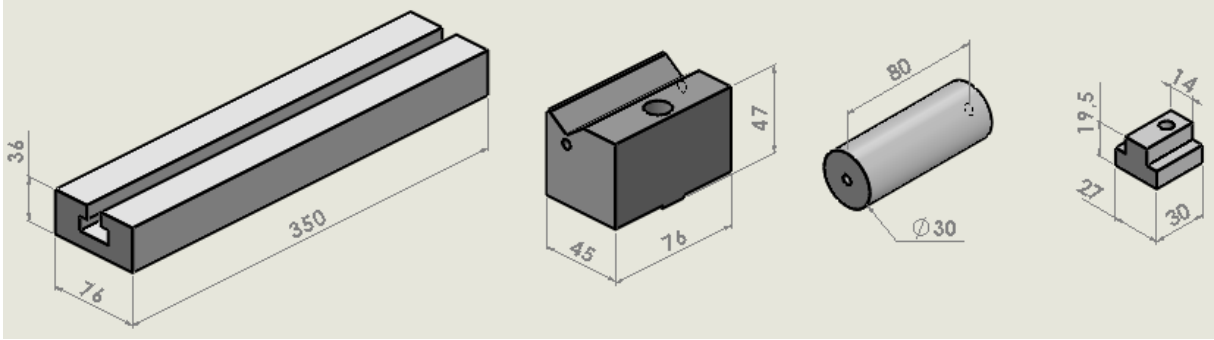
Test düzenegi ana elemanlarının ölçüleri Şekil 2.1 'de verilmiştir.

Alt üst plakalar: Alt ve üst plakalar test düzeneginin makine üzerinde sabitlenmesi için kullanılan parçalardır. 350x76x36 ebadında St 37-2 Platina malzemedен üretilmiştir.

Hareketli çeneler: Hareketli çeneler üzerinde bulunan “v” tipi kanal sayesinde dayama millerinin baskı anında hareketini engeller ve malzeme boyutuna veya test standartlarına göre sağa ve sola hareket edebilmektedir. Alt tabanında bulunan çıkıntı sayesinde alt ve üst plakaya sağa sola hareketi esnasında aksel sapmaların ve baskı esnasında hareketin önüne geçmektedir. 45x76x47 ebadında St 37-2 Lama malzemedен talaşlı imalat yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

Dayama milleri: Test edilecek malzemenin dayandığı millerdir. Ø30x80 mm ebadında St 37-2 malzemedен üretilmiştir. İki başında M6 setiskur deliği mevcuttur. Bu deliklere konulan setiskurlar bir lastik yardımı ile hareketli çenelere çektilir ve sabitlenmesi sağlanır.

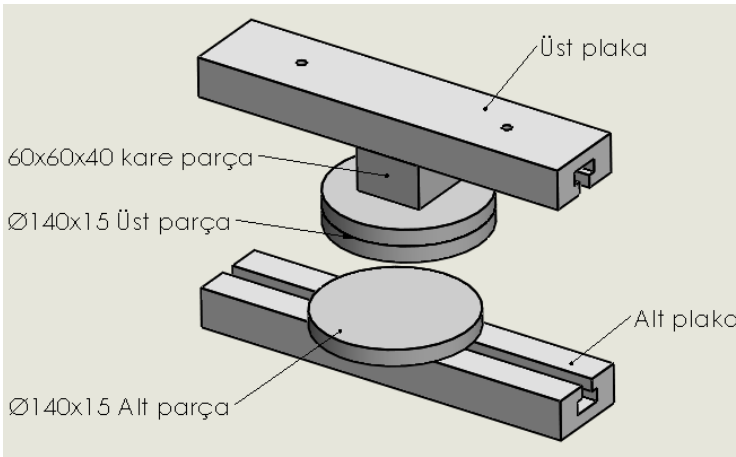
Kızak: Kızaklar, hareketli çenelerin tepesinde bulunan civata yardımı ile çekirme yapılarak hareketli çene ile alt üst plakalar arasında yüzey teması ile birlikte yüksek bir sürtünme kuvveti oluşturup hareketli çenenin sabitlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.1. Üç nokta eğilme test düzeneği

3.1.2. Basma Test Düzeneği

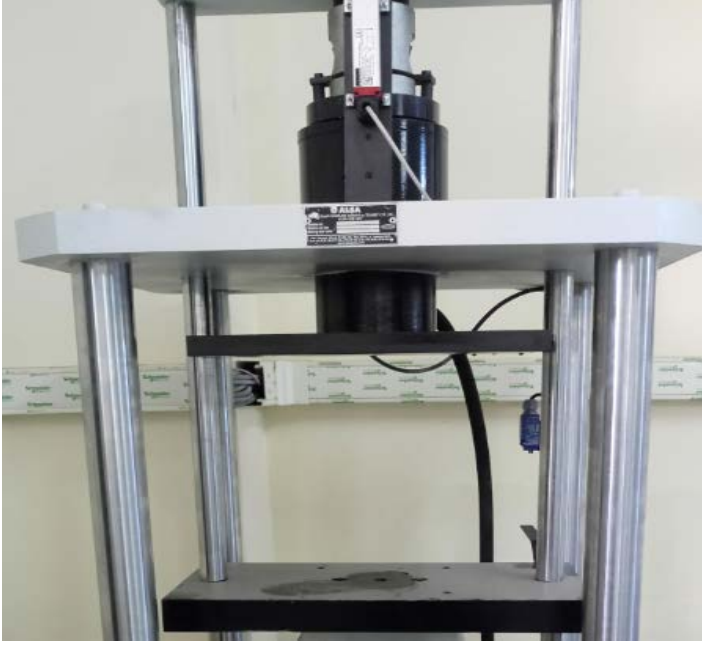
Basma test düzeneğinde eğilme testi için kullanılan alt üst plakalara ek olarak 3 adet $\text{Ø}140 \times 15$ mm St 37-2 Transmisyon malzemedan imal edilmiş disk ve 1 adet $60 \times 60 \times 40$ St 37-2 lamadan imal edilmiş kare parça kullanılmıştır (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Basma test düzeneği

3.1.3. Basma ve Eğilme Testi Makinası

Testler Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde bulunan 100 kN yük uygulama kapasiteli ALŞA marka makinada yapılmıştır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Eğilme ve basma test makinası

3.1.4. Vakum İnfüzyon Üretim Elemanları

Vakum Torbalama yöntemi ana elemanları: (Şekil 2.4).

Kalıp Ayırıcısı(vaks): Kompozit malzemelerin kalıp yüzeyine yapışmasını önler.

Akış filesi: Fazla reçinenin katmanlı kompozit malzemelerin arasından sızarak reçine emici kata geçirilmesini sağlar. Genellikle naylon ve polyesterden üretilmektedir.

Reçine emici kat(sök-at kumaşı): Fazla reçineyi emer ve kompozitin sistemden ayrılmasını kolaylaştırır. Üst kısımdaki vaks görevini görür.

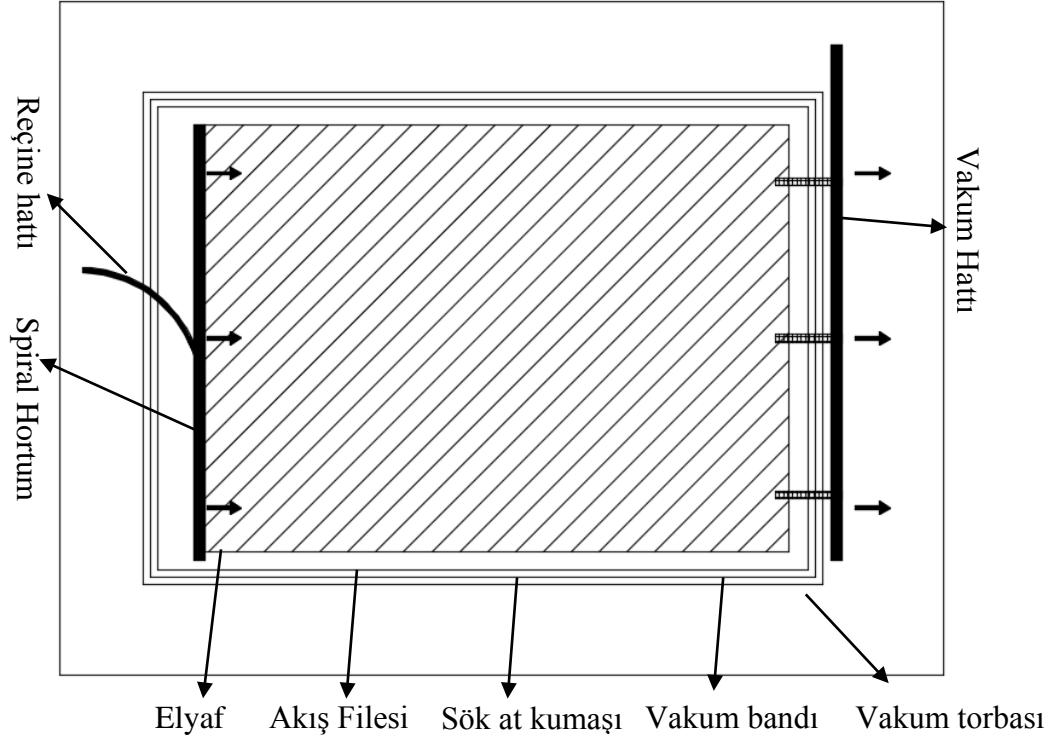
Hava sızdırmazlık elemanı (vakum bandı): Vakum torbasını kalıbın yan yüzeylerine yapıştırarak kenarda yapışma yüzeyinden meydana gelebilecek olan hava kaçaklarını önler.

Vakum torbası: bütün kalıbı içine alacak şekilde kalıp üzerine yerleştirilerek vakum uygulamasının gerçekleşmesini sağlar.

Reçine hattı: Reçinenin sisteme aktarıldığı hattır.

Spiral hortum: Sisteme aktarılan reçinenin toplanıp sisteme homojen bir şekilde yayılmasını sağlar.

Vakum pompası: Vakumlama işlemini gerçekleştirir.



Şekil 2.4. Vakum infüzyon hattı şematik gösterimi

3.1.5. Kompozit Çekirdek Kalıbı

Kompozit çekirdek kalıpları dişi çekirdek kalıbı, sert erkek çekirdek kalıbı ve yumuşak erkek çekirdek kalıbı olmak üzere üç çeşit kalıp üretilmiştir.

Solidworks programında tasarlanan dişi çekirdek kalıpları Poliüretan malzemenen 500x500x30mm ölçüsünde kesilerek, çekirdek yapılarına göre CAM programı kullanılarak üretilmiştir.

Sert erkek kalıp üretiminde epoksi HEXION MGS L285 reçine ve H285 sertleştirici kullanılmıştır. Sıvı halde bulunan epoksi reçine vaks sürülen dişi kalıbın içine dökülerek donması beklenmiştir. Reçinenin mekanik özellikleri Çizelge 2.1 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Hexion MGS L285-H285 reçine sisteminin mekanik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞERİ
Çekme gerilmesi [MPa]	70-80
Basma gerilmesi [MPa]	120-140
Elastisite modülü [GPa]	3.2
Poisson oranı	0.36
Kayma modülü [GPa]	1.18

Yumuşak kalıp OttoSil Rtv2 kalıp silikonu kullanılarak imal edilmiştir. Sıvı halde bulunan silikon dişi kalıp üzerine dökülerek kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Silikon katılaşmaya başladıktan sonra kalıptan çıkarılmıştır.

3.1.6. Cam Elyaf Malzeme

Plaka ve çekirdek üretiminde Q625 E10C kodlu 0/-45/90/45 Quadriaxial cam elyaf kullanılmıştır. E-Cam elyaf fiber malzemenin özellikleri Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Quadriaxial cam elyaf fiber malzeme özellikleri

ÖZELLİK	DEĞERİ
Elastisite modülü [GPa]	72.4
Poisson oranı	0.22
Kayma modülü [GPa]	26.2

3.2. Yöntem

3.2.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Plaka Üretimi

Öncelikle üretim yapılacak yüzey düz ve pürüzsüz olmalı ve iyice temizlenmelidir (Plaka üretimi cam üzerinde yapılmıştır).

Üretilen ürün boyutunun 4 tarafından en az 50'şer mm daha büyük olacak şekilde etrafına kâğıt bant yapıştırılır. Yapıştırılan bu bandın amacı üretim yapılacak olan alana cam elyafın yapışmaması ve üretim sonunda rahat sökülebilmesi için vaks sürülmektedir. Yapıştırılan bant alanı temiz kalmaktadır.

Yapıştırılan bandın iç kısmına yani üretilen ürün kısmına kalıp ayırıcısı (vaks) sürülür. Bir süre (Yaklaşık 5 dakika) vaksın kuruması beklendikten sonra bir kat daha sürülür ve tekrar kuruması beklenir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Cam yüzeyine vaks sürülmesi

Cam elyaflar üretim için gerekli ölçülerde kesilir. Kesim ölçüsü 320x720x1 mm'dir.

Cam elyaflar;

- 0°, +45°, -45°, 90°
- 90°, -45°, +45°, 0°

Olacak şekilde simetrik olarak üst üste yerleştirilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Cam elyaf dizilimi

Reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı kat (sök at kumaşı) cam elyaftan 5'er cm artacak şekilde kesilir (vakum verilecek köşe daha uzun kalacak şekilde) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Sök at kumaşı konulması

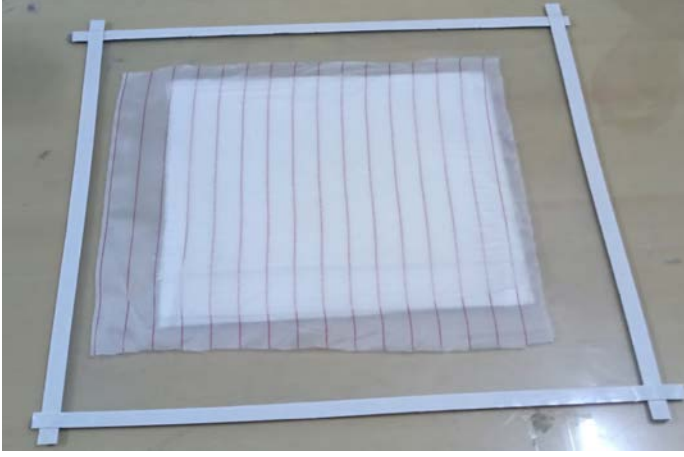
Reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı katın üzerine bu naylondan geçen fazla reçineyi emmesi için reçine emici kat yerleştirilir (Naylon file) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Naylon file konulması

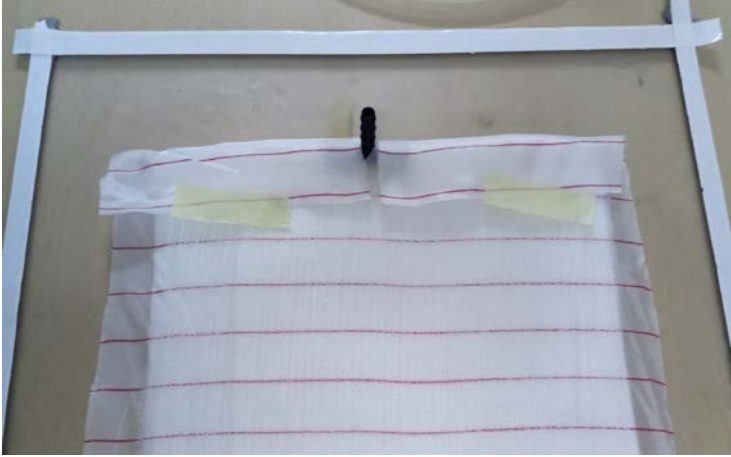
Vakum torbası cam üzerine yapıştırdığımız kâğıt bantlardan taşacak şekilde kesilir.

Kâğıt bantlar sökülüp sökülen bant izlerine hava boşluğu kalmayacak şekilde vakum bandı yapıştırılır (Şekil 2.9).



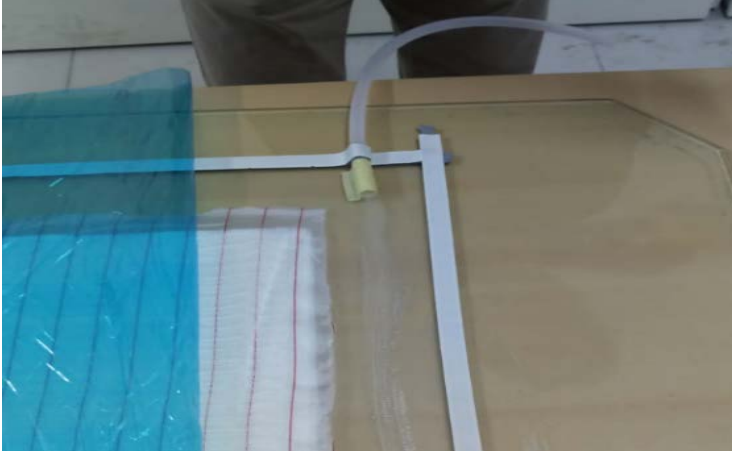
Şekil 2.9. Vakum bandı yapıştırılması

Reçine hattı döşenir. Burada şeffaf hortum kullanılır ve ucuna spiral hortum takılır. Uzun kesilen sök-at kumaşı spiral hortum etrafına sarılır ve sabit kalması amacıyla kâğıt bant yapıştırılır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Reçine hattı

Vakum hattı döşenir. Vakum hattı akışı sağlamak amacıyla reçine hattının karşısına gelecek şekilde döşenir. Vakum hortumunun ucuna vakum torbasına zarar vermemesi için kâğıt bant sarılır (Şekil 2.11).



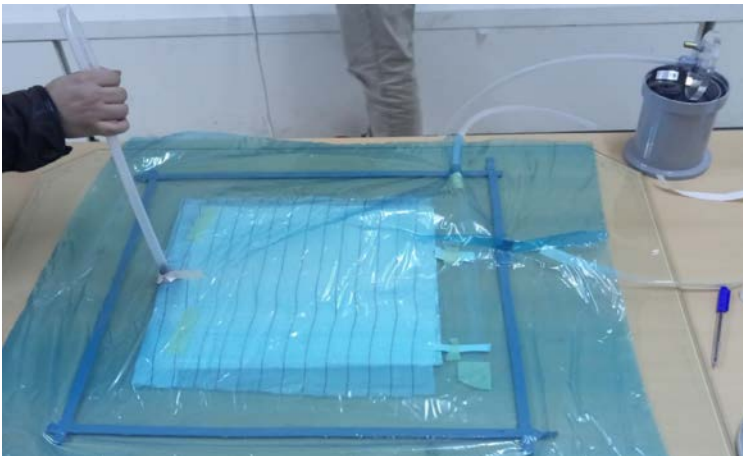
Şekil 2.11. Vakum hattı

Döşenen vakum hattı ucuna hava akışını sağlamak amacıyla naylon file ve cam elyaf ile naylon file arasına kâğıt konulur.

Reçine ve vakum hattı döşendikten sonra vakum torbası yerleştirilir. Reçine geçişini sağlamak amacıyla spiral hortumun bulunduğu noktadan vakum torbası delinir ve delinen noktadan sızdırmazlık sağlanacak şekilde yapıştırılır.

Vakum torbası daha önceden cam üzerine yerleştirilmiş olan çift taraflı vakum bantları ile sızdırmaz olarak yapıştırılır.

Hazırlık aşamaları tamamlanıp reçine enjekte etmeden önce kontrol amaçlı vakumlama yapıp bir süre beklendikten sonra eğer sisteme hava geçişi yoksa reçine enjekte edilir ve vakum infüzyon işlemi gerçekleştirilir (Şekil 2.12).



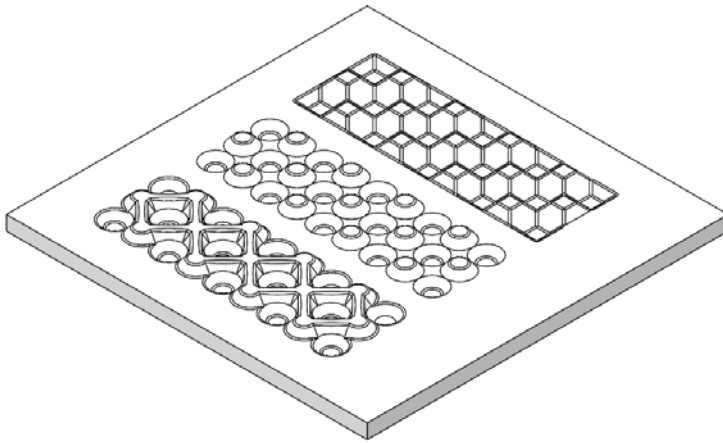
Şekil 2.12. Sistemin vakumlamaya hazır hali

Kompozit plaka üretiminde laminasyon epoksi HEXION MGS L285 reçine kullanılmıştır. Kullanılan reçine özelliklerine göre reçine miktarının ağırlıkça %40 oranında sertleştirici (H285) reçine ile karıştırılarak vakumlama işlemi yapılmıştır.

Plaka üretiminde 375 gr reçineye 150 gr sertleştirici konulmuş hava kabarcığı oluşmayacak şekilde 5 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra vakumlama işlemi ile reçine enjekte edilmiştir. 320x720x1 mm ölçülerinde kompozit plakalar üretilmiştir. Plaka üretiminde Q625 E10C kodlu 0/-45/90/45 Quadriaxial cam elyaf kullanılmıştır.

3.2.2. Kompozit Çekirdek Üretimi:

Vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üç çeşit formda çekirdek üretilmiştir. Çekirdek üretimi için bir adet dişi, iki adet erkek kalıp tasarlanmıştır. Dişi kalıp Poliüretan malzemenen 500x500x30mm ölçüsünde tasarlanmıştır (Şekil 3.1).

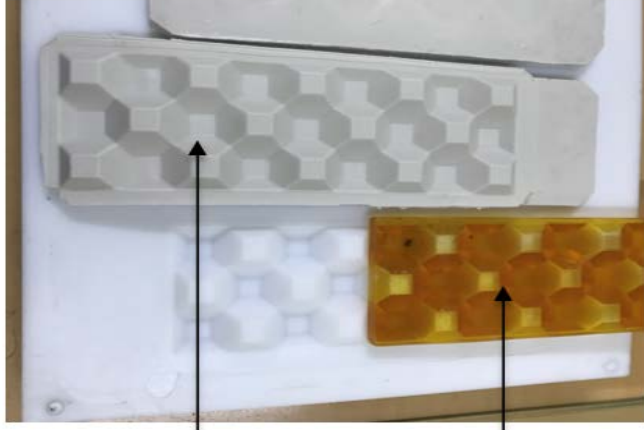


Şekil 3.1. Üretilen dişi kompozit çekirdek kalıbı

Sert ve Yumuşak olmak üzere iki adet erkek kalıp üretilmiştir (Şekil 3.2) :

Sert kalıp cam takviyeli elyaf kompozitleri kalıp üzerinde dizilimini yapıldıktan sonra elyafın dişi kalıp yüzeyi ile tam temas sağlaması için tasarlanmıştır.

Yumuşak kalıp vakumlama esnasında elyafa baskı yaparak elyafın dişi kalıbın tam şeklini almasını sağlar. Yumuşak kalıp sert kalıp yardımı ile kalıp şeklini alan elyafın üzerine kapatılıp vakumlama işlemi yapılır.



Yumuşak Erkek Kalıp

Sert Erkek Kalıp

Şekil 3.2. Üretilen erkek kompozit çekirdek kalıbı

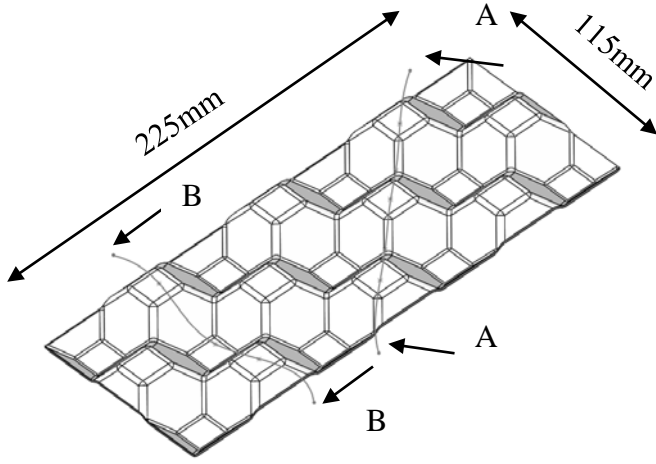
Üretilecek her bir çekirdek boyutu 110x340x20 mm'dir. Kalıp ile çekirdek üretimi için elyaflar 160x410x0.5mm boyutlarında 2 adet kesilmiştir ve birbirine simetri olacak şekilde kalıba yerleştirilmiştir. Kalıba yerleştirilen elyaflara kalıbın şeklini vermek için sert erkek kalıp ile kalıp kapatılmıştır. Bu işlem tamamlandıktan sonra yumuşak erkek kalıp kalıba yerleştirilerek vakumlama işlemine geçilmiştir.

Üretimde HEXION MGS H285 kodlu 300 gr. Reçine ve HEXION MGS H287 kodlu 120 gr. Sertleştirici kullanılmıştır.

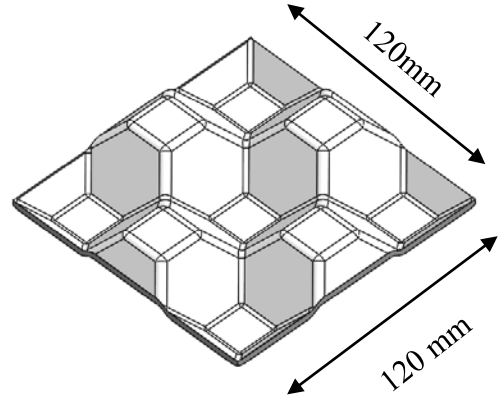
3.2.3. Üretilen Kompozit Çekirdek Formları:

a) Piramit Formlu Kompozit Çekirdek

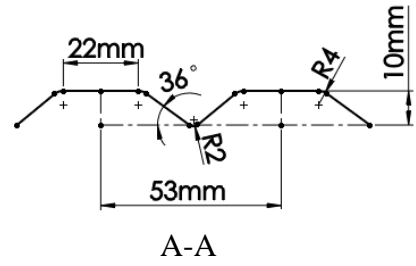
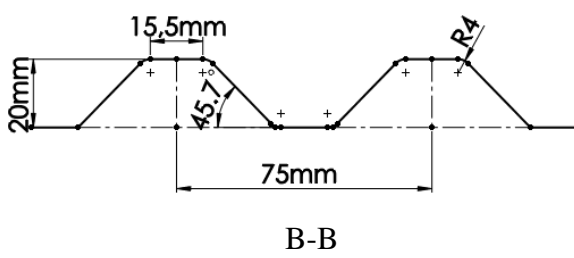
Eğilme(Şekil 3.3) ve Basma (Şekil 3.4) testleri için kullanılacak piramit formlu kompozit çekirdeğin yapısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3. Eğilme Testi Piramit Çekirdek

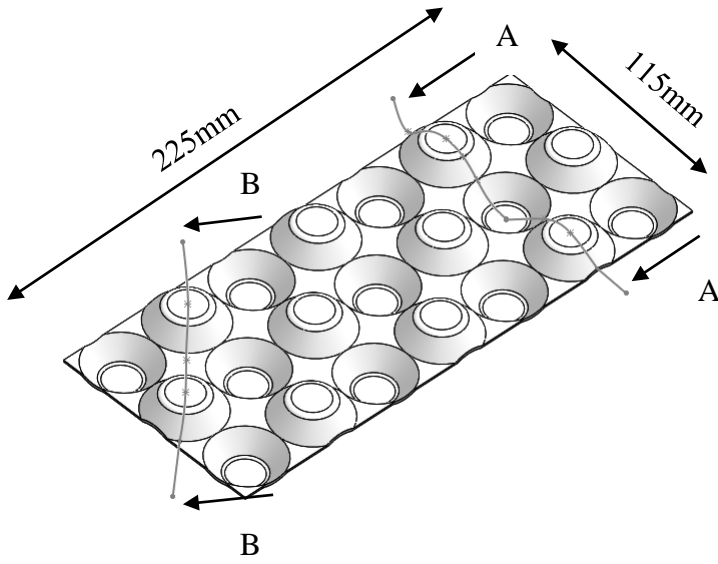


Şekil 3.4. Basma Testi Piramit Çekirdek Formu

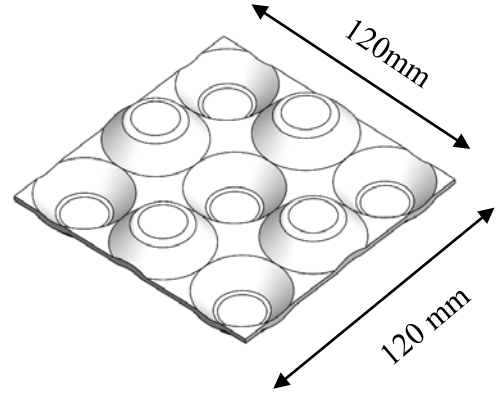


b) Konik Formlu Kompozit Çekirdek

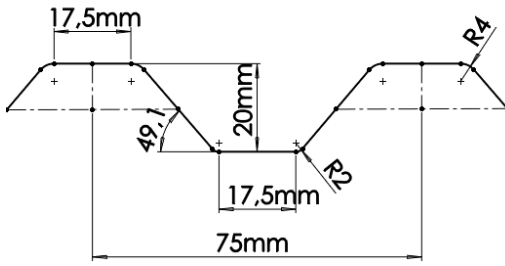
Eğilme(Şekil 3.5) ve Basma (Şekil 3.6) testleri için kullanılacak konik formu kompozit çekirdeğin yapısı aşağıdaki gibidir.



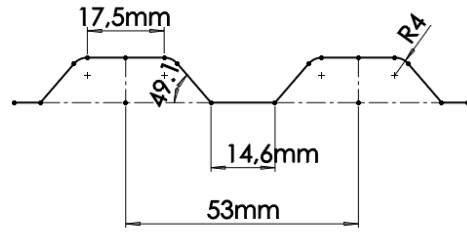
Şekil 3.5. Eğilme Testi Konik Çekirdek



Şekil 3.6. Basma Testi Konik Çekirdek



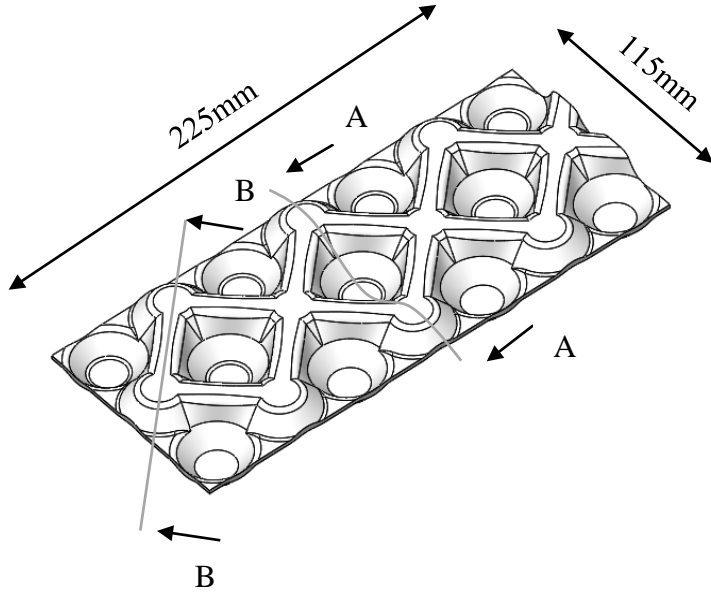
B-B



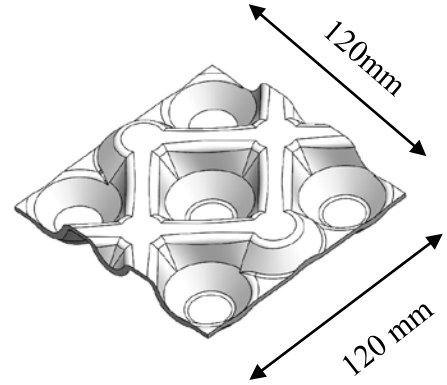
A-A

c) Federli Konik Formlu Kompozit Çekirdek

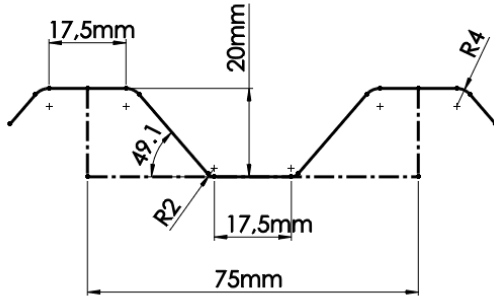
Eğilme (Şekil 3.7) ve Basma (Şekil 3.8) testleri için kullanılacak federli-konik formu kompozit çekirdeğin yapısı aşağıdaki gibidir.



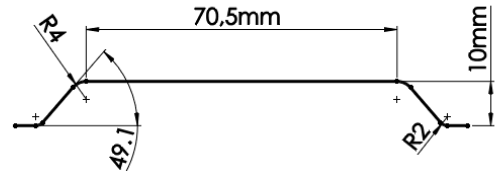
Şekil 3.7. Eğilme testi piramit konik çekirdek



Şekil 3.8. Basma testi piramit konik çekirdek



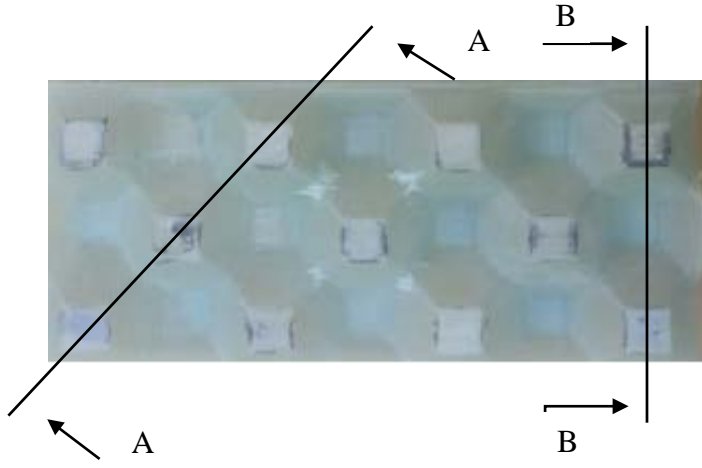
B-B



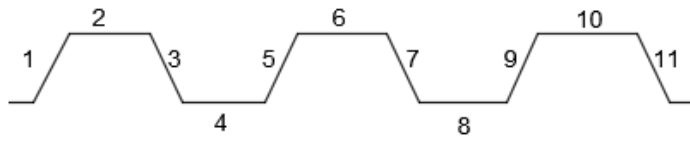
A-A

3.2.4. Üretilen Çekirdeklerin Kalınlık Dağılımları

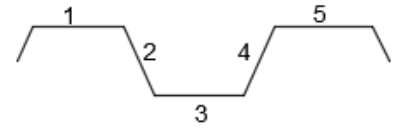
Üretimi tamamlanan üç farklı kompozit çekirdeklerin kesit görünümü Şekil 3.9 de, kesit kalınlıkları ise Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 'de verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde federli konik yapının taban kısmında ki kalınlığın daha fazla çıktığı anlaşılmıştır. Bunun sebebi olarak elyafın tam olarak kalıbın şeklini alamayıp fazla reçinenin kalıbın tabanını doldurmasıdır.



Şekil 3.9. Üretilen çekirdeklerin kesit görünümü



A-A Kesiti



B-B Kesiti

Çizelge 3.1. A-A kesiti çekirdek kalınlık ölçüleri

A-A Kesiti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Piramit	2,1	2,57	2,12		2,35	2,92	2,55		2,43	3,67	2,7
Konik	1,97	2,88	1,82	2,1	1,7	2,19	2,12	2	1,75	2,9	2,13
Federli Konik	1,53	2,75	2,05	1,5	2,1	2,28	1,98	1,2	2,14	2,5	2,1

Çizelge 3.2. B-B kesiti çekirdek kalınlık ölçüleri

B-B Kesiti	1	2	3	4	5
Piramit	0,95	1,7	1,82	2,28	1,33
Konik	1,23	1,42	2,74	1,3	1,33
Federli Konik	2,57	2,26	1,8	1,96	2,04

3.2.5. Kompozit Panel Üretimi:

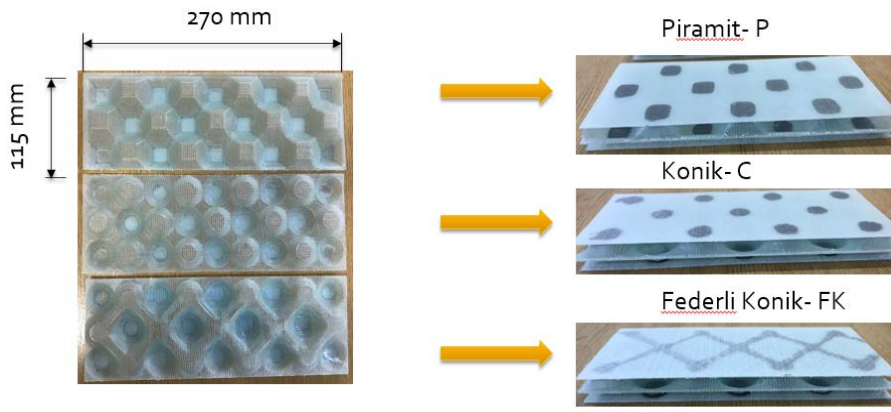
İki kompozit plaka arasına yapıştırıcı yardımı ile yerleştirilen farklı formlarda kompozit plakanın (çekirdeğin) birleştirilmesine kompozit panel denir.

Kompozit paneller havacılık sektörü, denizcilik sektörü, inşaat ve makine sektörleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu panellerin en önemli özellikleri hafif ve yüksek mukavemete sahiptirler.

Üretilen kompozit çekirdek ve plakalar birleştirilerek panel haline getirilip eğilme ve basma testleri uygulanacaktır.

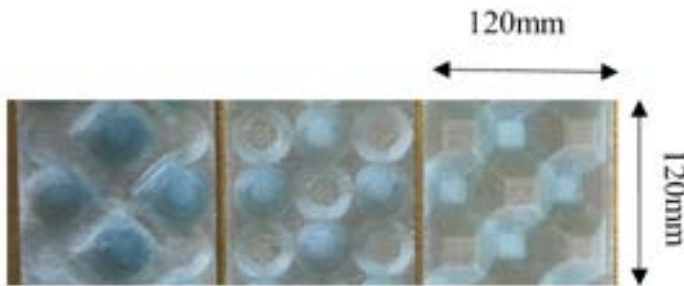
Eğilme testi için plakalar elmas uçlu şerit testere ile 270x115x1 mm ölçüsünde kesilmiştir.

Aynı şekilde kompozit çekirdekler 270x115x1 mm ölçüsünde kesilip plaka ve çekirdekler birbirine J-B WELD yapıştırıcı ile birbirlerine yapıştırılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Eğilme testi için üretilen paneller

Basma testi için plakalar elmas uçlu şerit testere ile 120x120x1 mm ölçüsünde kesilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Basma testi için üretilen paneller

3.2.6. Eğilme Testleri

Testler Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde bulunan 100 kN yük uygulama kapasiteli ALŞA marka makinada yapılmıştır. 3 nokta eğilme ve testleri ASTM C-393 test standartlarına göre yapılmıştır. Numunenin test anı Şekil 3.12 'de gösterilmiştir. Test 6mm/dk. hızla gerçekleştirilmiştir. Testlerde her bir panel için üç ayrı numune kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Eğilme testi

3.2.7. Basma Testleri

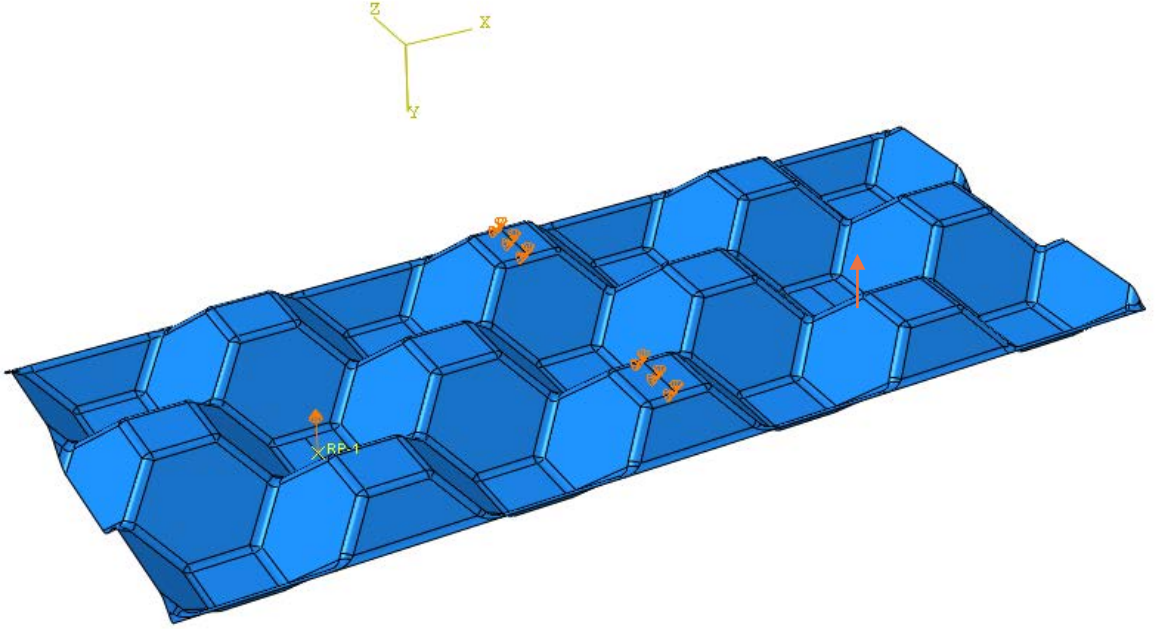
Basma testi aynı makinada 6mm/dk. hızla gerçekleştirilmiş olup Şekil 3.13 de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Basma testi

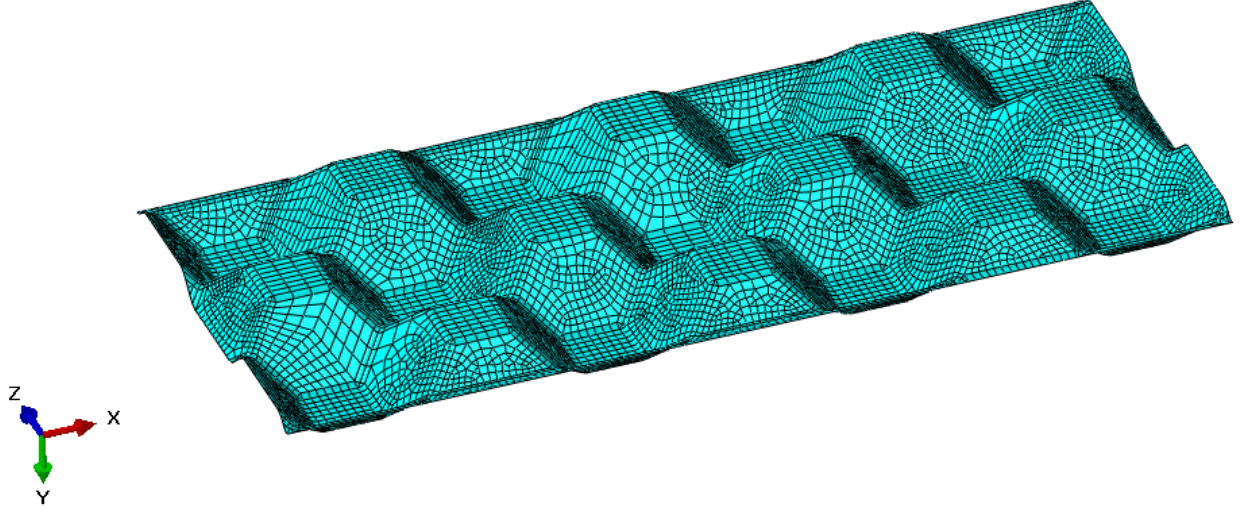
3.2.8. Sayısal Analiz

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz işlemleri Abaqus paket programı kullanılarak yapılmıştır. Model ile 3 nokta eğilme testi analiz edilmiş olup piramit şekilli yapının sonlu elemanlar modeli Şekil 3.14 'te gösterilmiştir. Numunenin alt kısmında eğme fikstürünün silindirik elemanlarına denk gelen çizgisel kısımlar y yönünde 30 mm hareketli, fikstürün üst kısmındaki silindirik elemana denk gelen çizgisel kısım x ve y yönünde sınırlandırılmış şekilde tanımlanmıştır.



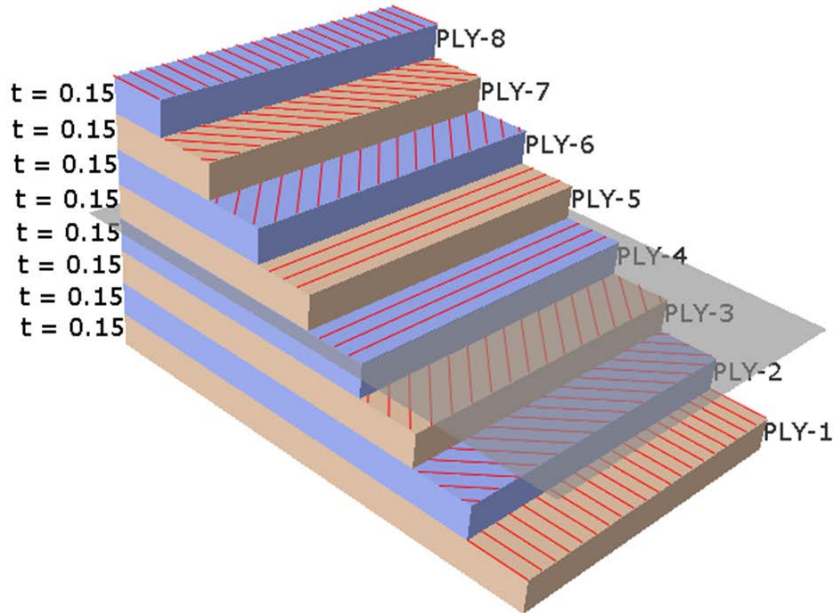
Şekil 3.14. Piramit çekirdek yapısının sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları

Kompozit kabuk malzemeleri kabuk elemanlar kullanılarak modellenmiş olup SR8 kabuk elemanlar kullanılmıştır. Şekil 3.15 'te seçilmiş iki modelin ağ yapısı gösterilmiş olup 9478 elemandan oluşmuştur.



Şekil 3.15. Piramit çekirdek yapısının ağ görüntüsü

Fiber yönelimlerini tanımlamak için kabuk elemanlarda kompozit istifleme (composite layup) yöntemi kullanılmıştır. Kabuk elemanlarda ki fiber oryantasyonları Şekil 3.16 'da gösterilmiştir olup 8 kat lamina kullanılmıştır. Kabuk kalınlığı 1.2 mm olarak ölçüldüğünden her bir laminanın kalınlığı 0.15 mm olarak alınmıştır. Her bir katmanın mekanik özelliği Çizelge 3.3 'te verilmiştir.



Şekil 3.16. Kabukta kullanılan fiber yönelimleri

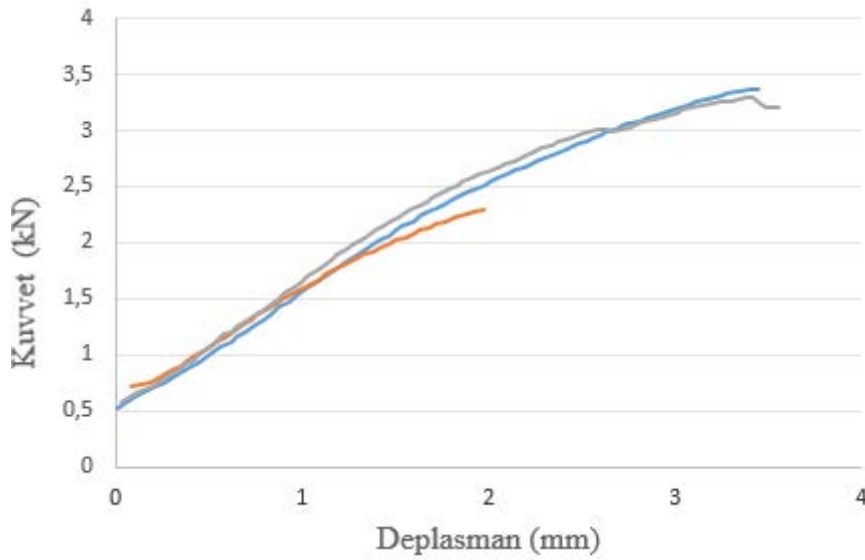
Çizelge 3.3. Quadriaxial fiber epoxy sistem katmanın mekanik özellikleri (Uzal ve arkadaşları, 2018)

ÖZELLİK	DEĞERİ
Fiber yönünde elastisite modülü [GPa]	30
Fiber eksenine dik yönünde elastisite modülü [GPa]	5
Yüzeyde Poisson oranı	0,29
Kayma modülü [GPa]	1.8
Fiber yönünde çekme dayanımı [MPa]	612
Fiber yönünde basma dayanımı [MPa]	-600
Fiber eksenine dik yönünde çekme dayanımı [MPa]	69
Fiber eksenine dik yönünde basma dayanımı [MPa]	-120
Kayma dayanımı [MPa]	40

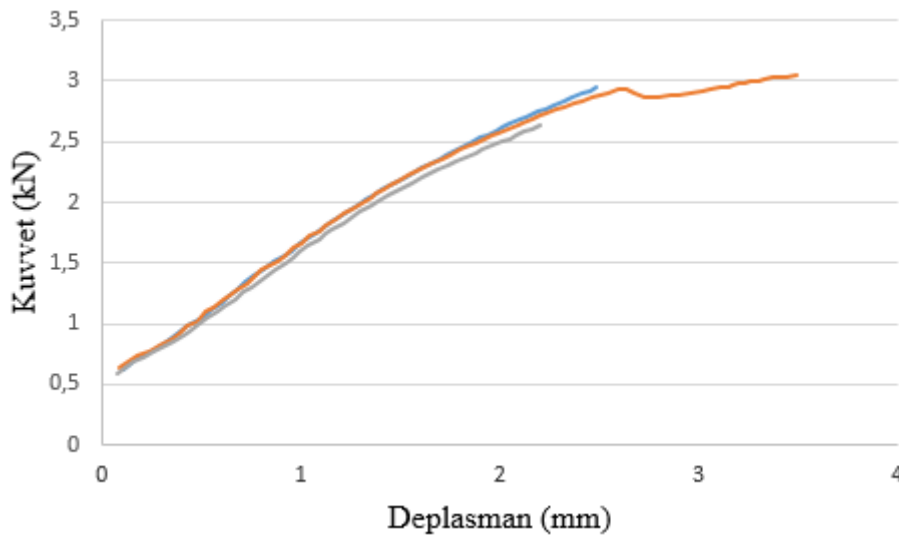
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Eğilme Test Sonuçları

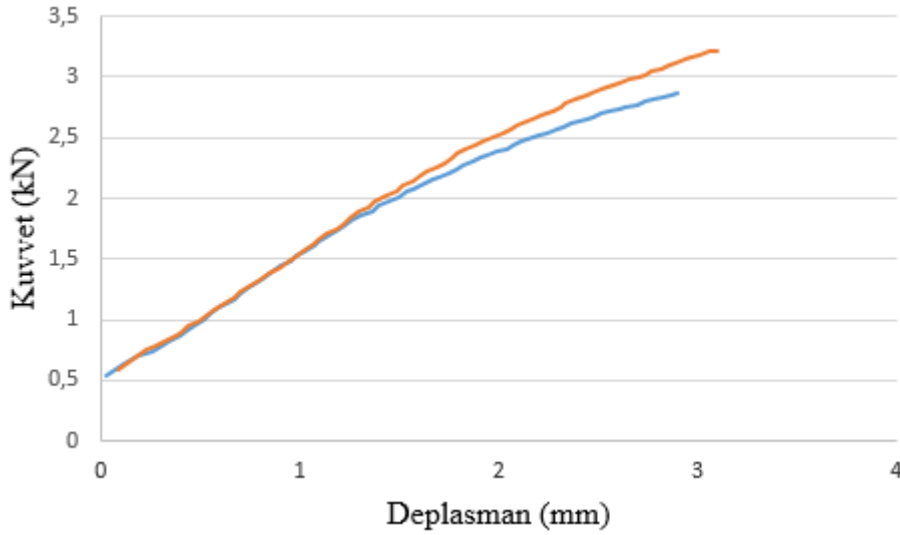
Üç farklı çekirdek yapısıyla üretilen kompozit panel numunelerinin eğilme testleri gerçekleştirilmiş olup kuvvet-deplasman eğrileri sırasıyla Piramit eğilme (PE), Konik eğilme (KE), Federli Konik Eğilme (FKE) Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 'te verilmiştir. Tüm eğrilerin aynı grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.4 'te verilmiştir.



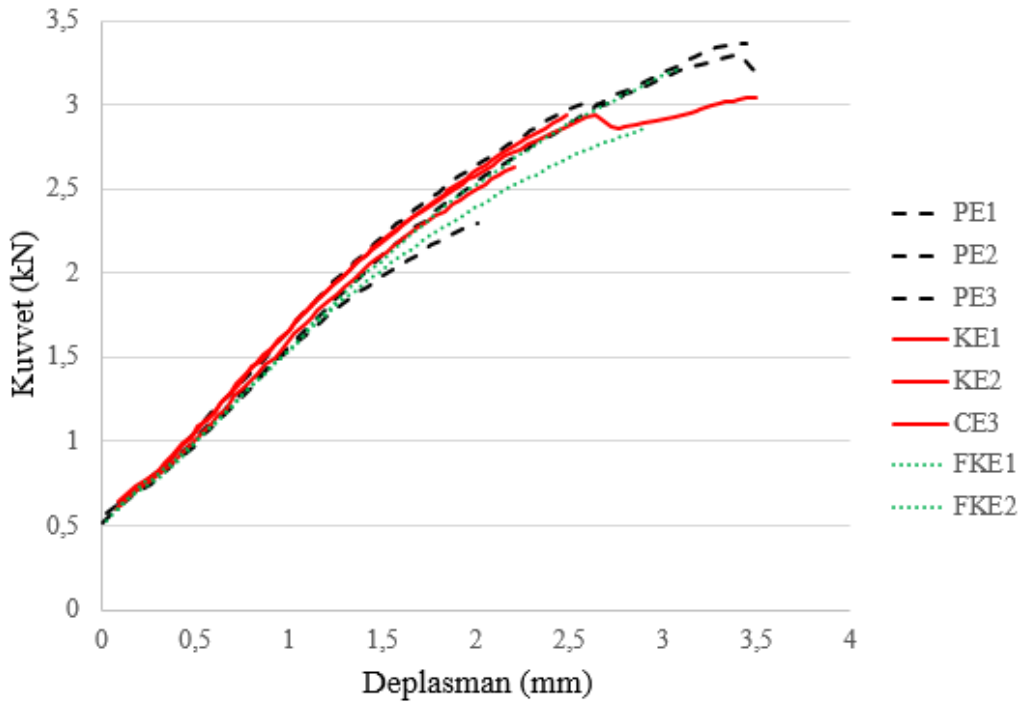
Şekil 4.1. Piramit Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.2. Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi

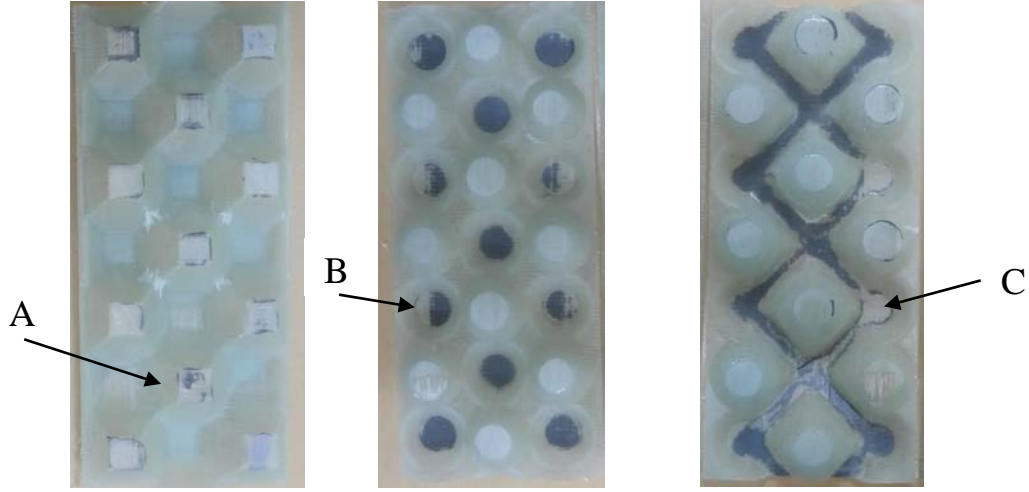


Şekil 4.3. Federli Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.4. Tüm panellerin 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrileri

Şekil 4.4 'te görüldüğü gibi üç farklı çekirdek yapısının hemen hemen aynı yük taşıma kapasitesi olduğu gözlemlenmiştir. Fakat Piramit çekirdek yapıları kompozit panelin en fazla yükü taşıdığı görülmüştür. Konik çekirdek yapıları kompozit yapının daha az yükü taşıdığı gözlemlenmiştir. Piramit çekirdek yapısının yapıştırma yüzey alanlarının yüksek oluşu üst ve alt kompozit plakalarla bağ gücünün artmasını sağlamıştır aynı zamanda piramit yapıda keskin köşelerin bulunması eğilmeye karşı daha mukavemetli olmasına neden olmaktadır. Eğilme testlerindeki ana başarısızlık yapışkan başarısızlığı olarak görülmüştür. Bu durum Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



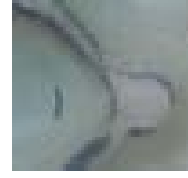
Şekil 4.5. Çekirdekte oluşan yapıştırıcı hatası



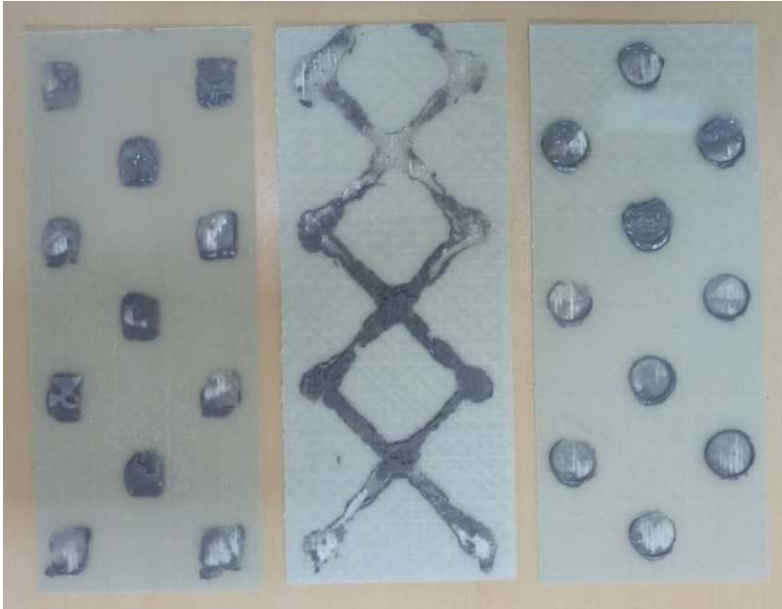
A Detayı



B Detayı



C Detayı



Şekil 4.6. Plakalarda oluşan yapıştırıcı hatası

Aynı zamanda üst plaka çekirdek ayrılması yapıştırıcının haricinde epoksi reçine kısmından da gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4.7 te gösterilmiştir.

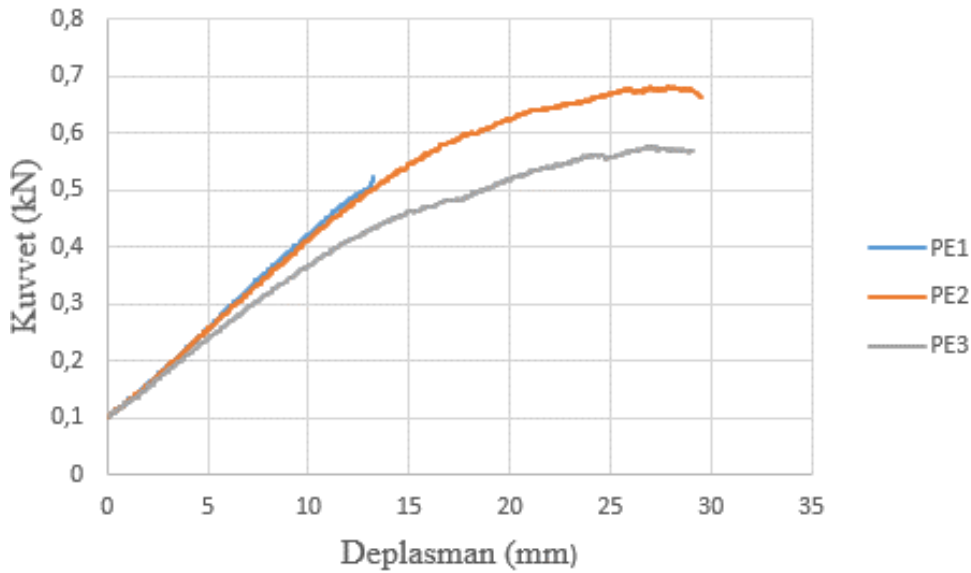


Şekil 4.7. Epoksi reçine çekirdek ayrılması

Yapıştırma noktalarından plakalar birbirlerinden ayrıldığı için düşündüğümüz çekirdek tasarımlarının eğilme rijitliği gözlemlenememiştir. Bu yüzden alt ve üst plakalar çekirdekten ayrılarak tekrardan çekirdeklere eğilme testi uygulanmıştır.

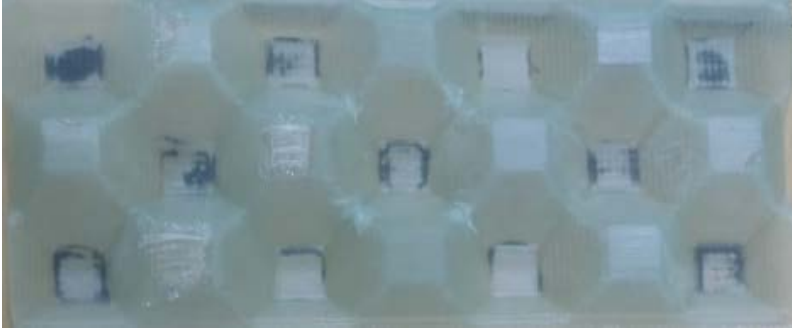
4.2. Çekirdeklerdeki Eğilme Test Sonuçları

Üç farklı çekirdek yapısıyla üretilen Kompozit numunelerinin eğilme testleri gerçekleştirilmiş olup kuvvet-deplasman eğrileri sırasıyla Piramit eğilme (PE), Konik eğilme (KE), Federli Konik Eğilme (FKE) Şekil 4.8, Şekil 4.10, Şekil 4.12 te verilmiştir. Tüm eğrilerin aynı grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.16 te verilmiştir.

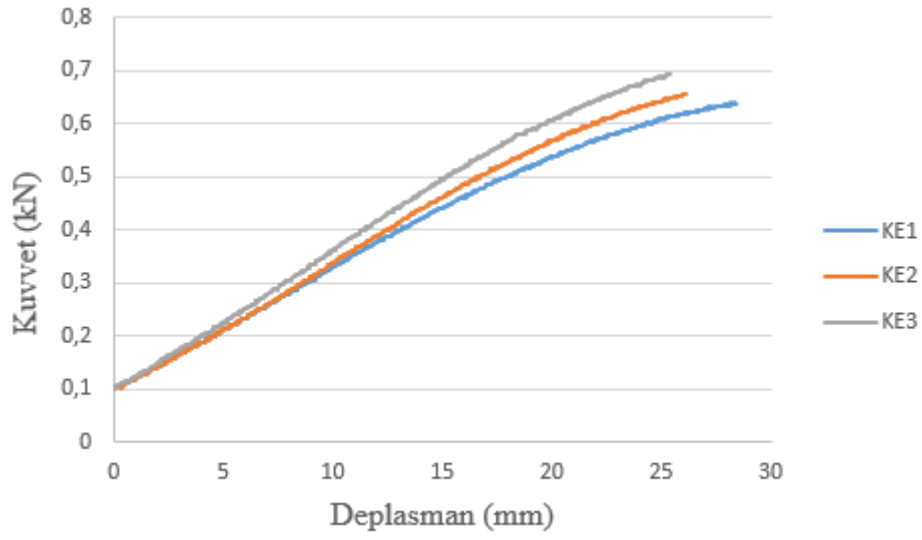


Şekil 4.8. Piramit çekirdek için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi

Piramit çekirdekte eğilme testi sonrası lokmaların birleştiği köşe kısımlarında hasarlar oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.9).

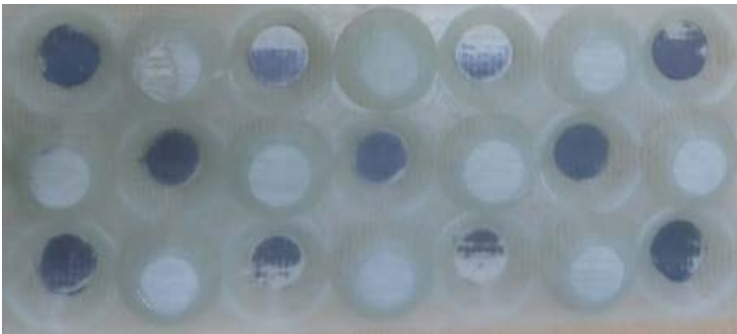


Şekil 4.9. Piramit çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar

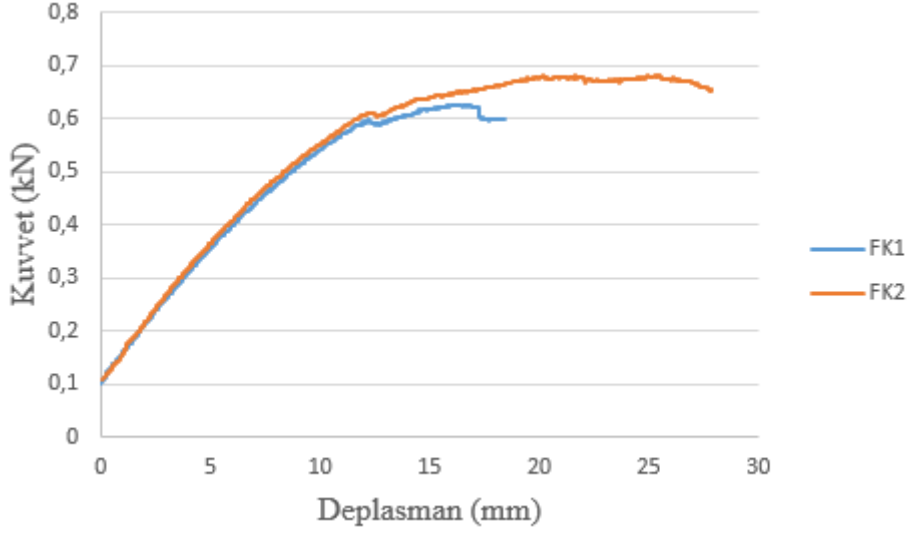


Şekil 4.10. Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi

Dairesel çekirdekte eğilme testi sonrası herhangi bir hasara rastlanmamıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Dairesel çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar



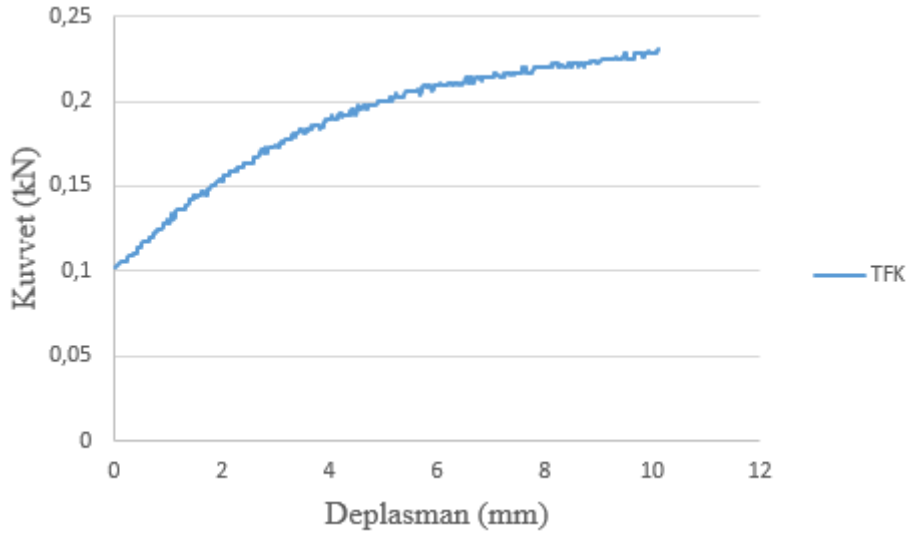
Şekil 4.12. Federli Konik Eğilme için 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrisi

Federli dairesel çekirdekte çekirdeklerin alt kısımlarında hasar meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.13).



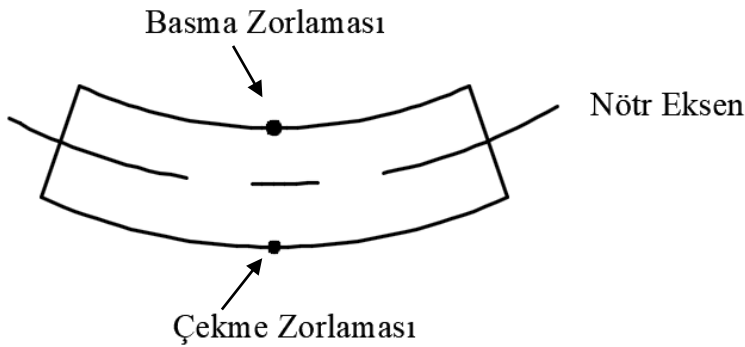
Şekil 4.13. Federli Dairesel çekirdekte eğilme testi sonrası oluşan hasar

Federli dairesel çekirdeğe eğilme testini ters uyguladığımızda eğilme direncinin düşük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.14).

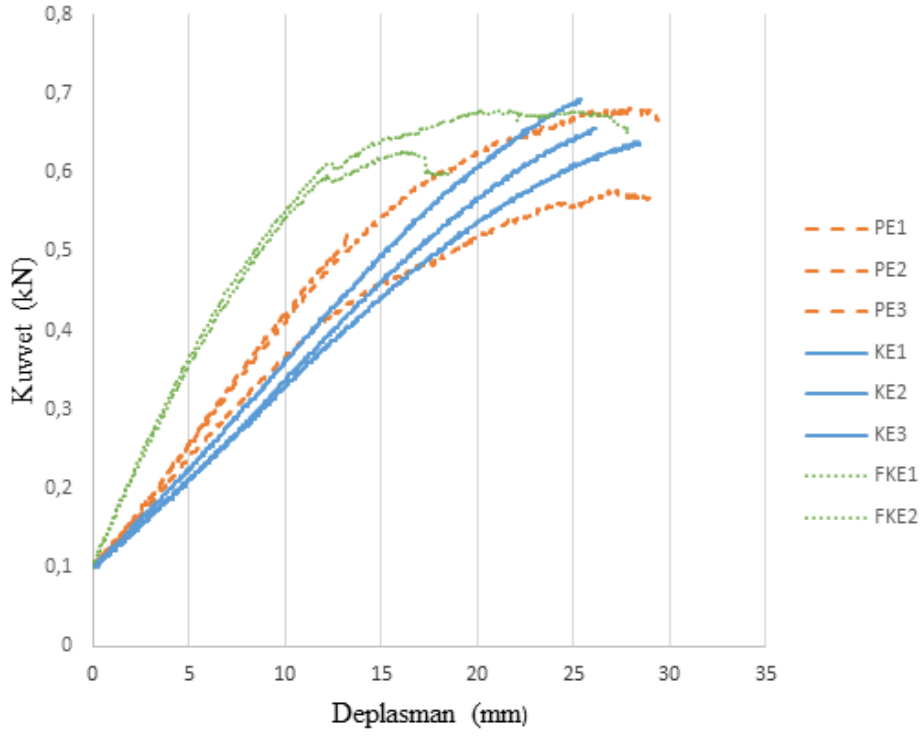


Şekil 4.14. Federli Dairesel çekirdekte ters eğilme testi sonrası oluşan hasar

Bunun nedeni çekirdeğin düz tabakasının çekirdeğin bir yüzeyine sıfır konumda olmasından kaynaklanmaktadır. Eğilme testi uygulanan malzemenin bir yüzeyi basmaya maruz kalırken diğer yüzeyi çekmeye maruz kalmaktadır. Şekil 4.15 'te şematik olarak gösterilmiştir. Federli konik çekirdeğin yapısı gereği bir yüzünde boşluklar bulunmaktadır ve bu da çekirdeğin eğilme direncini düşürmektedir.



Şekil 4.15. Eğilme zorlaması şematik gösterimi

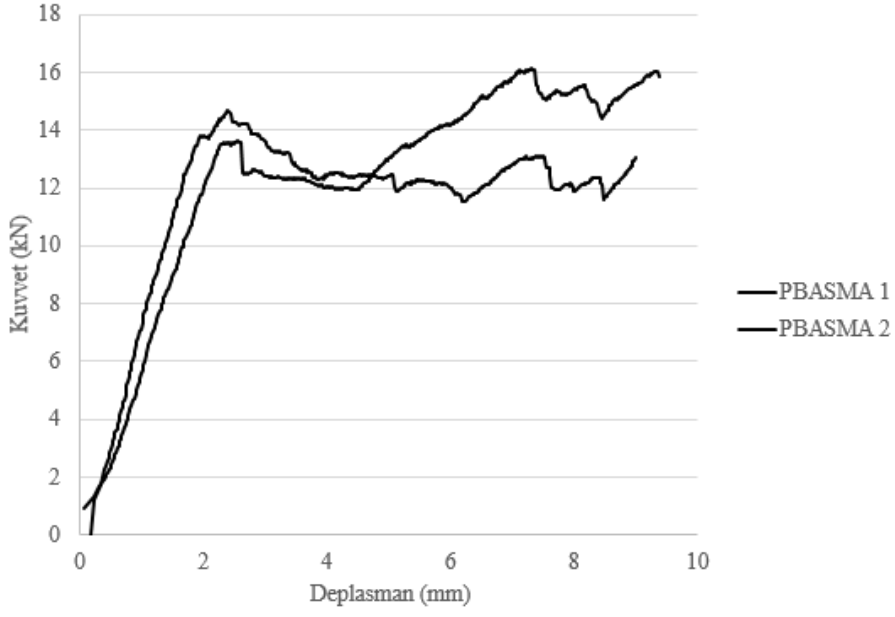


Şekil 4.16. Tüm çekirdeklerin 3 nokta eğilme testi altında yük-deplasman eğrileri

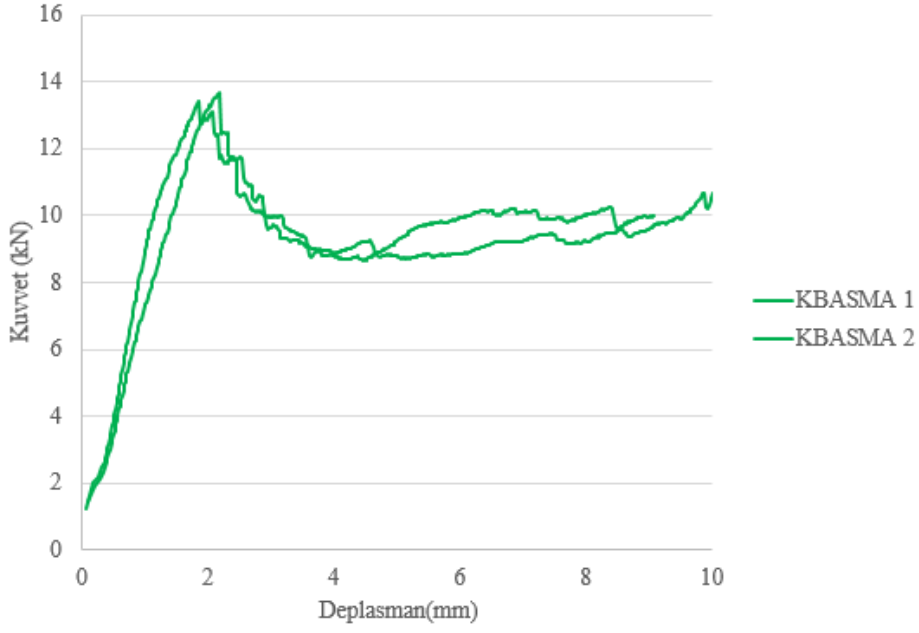
Şekil 4.16 incelendiğinde federli konik çekirdek yapısının eğilme rijitliği diğer yapılara göre daha yüksek çıkmıştır. Eğilme rijitliği en düşük çıkan tasarım konik şekilli çekirdek yapısıdır. Bunun nedeni rijitliği artıracak tabakanın eksende yoğunlaşmasıdır.

4.3. Basma Test Sonuçları

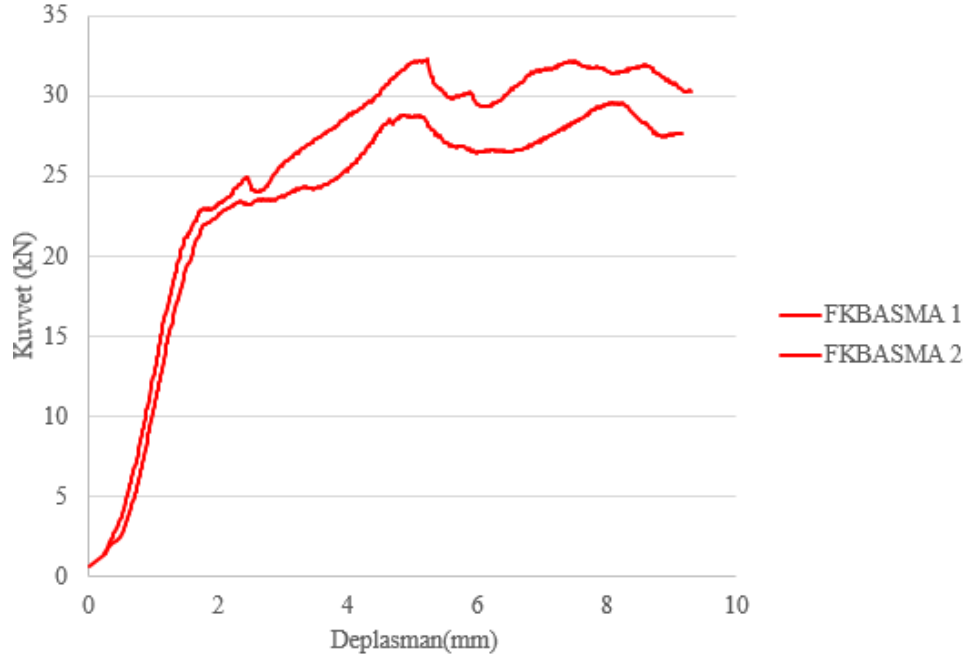
Üç farklı çekirdek yapısıyla üretilen kompozit panel numunelerinin basma testleri gerçekleştirilmiş olup kuvvet-deplasman eğrileri sırasıyla Piramit basma (PB), Konik basma (KB), Federli Konik basma (FKB) Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 'da verilmiştir. Tüm eğrilerin aynı grafik üzerinde gösterilişi Şekil 4.20 'te verilmiştir.



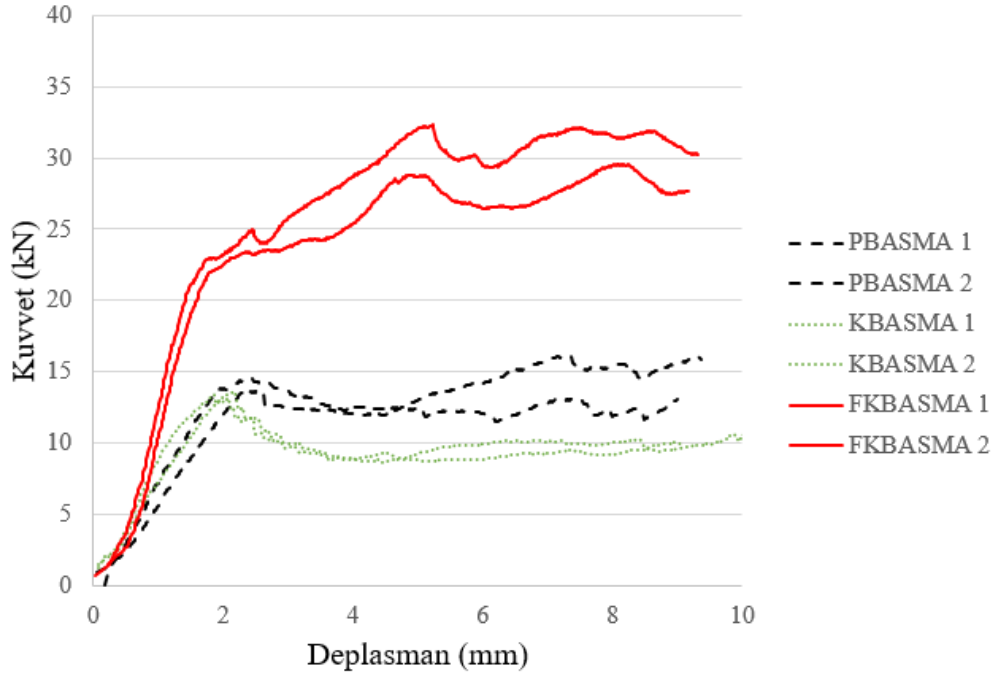
Şekil 4.17. Piramit basma testi altında yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.18. Konik basma testi altında yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.19. Federli basma testi altında yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.20. Tüm Panellerin basma yükü altındaki yük-deplasman eğrileri

Basma testi altında, federli-konik çekirdek yapısının örnekleri diğer tasarımlara kıyasla daha yüksek yük taşımaktadır. Federli-konik çekirdek yapının piramit ve konik çekirdek yapının yaklaşık iki katı daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. Bunun yanı sıra eğilme rijitliği de diğer yapılara göre daha yüksek çıkmıştır.

Basma testlerinde genel olarak fiber kopması ve reçine kırılması gözlemlenmiştir. Piramit yapılı çekirdeğe uygulanan basma testinde köşelerde fiber kopması, duvarlarında ise reçine kırılması meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Piramit yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm

Konik yapılı çekirdeğe uygulanan basma testinde çekirdeğin daha çok orta kısımlarında reçine kırılması ve konik olan üst kısımlarında ise fiber kopması meydana gelmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Konik yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm

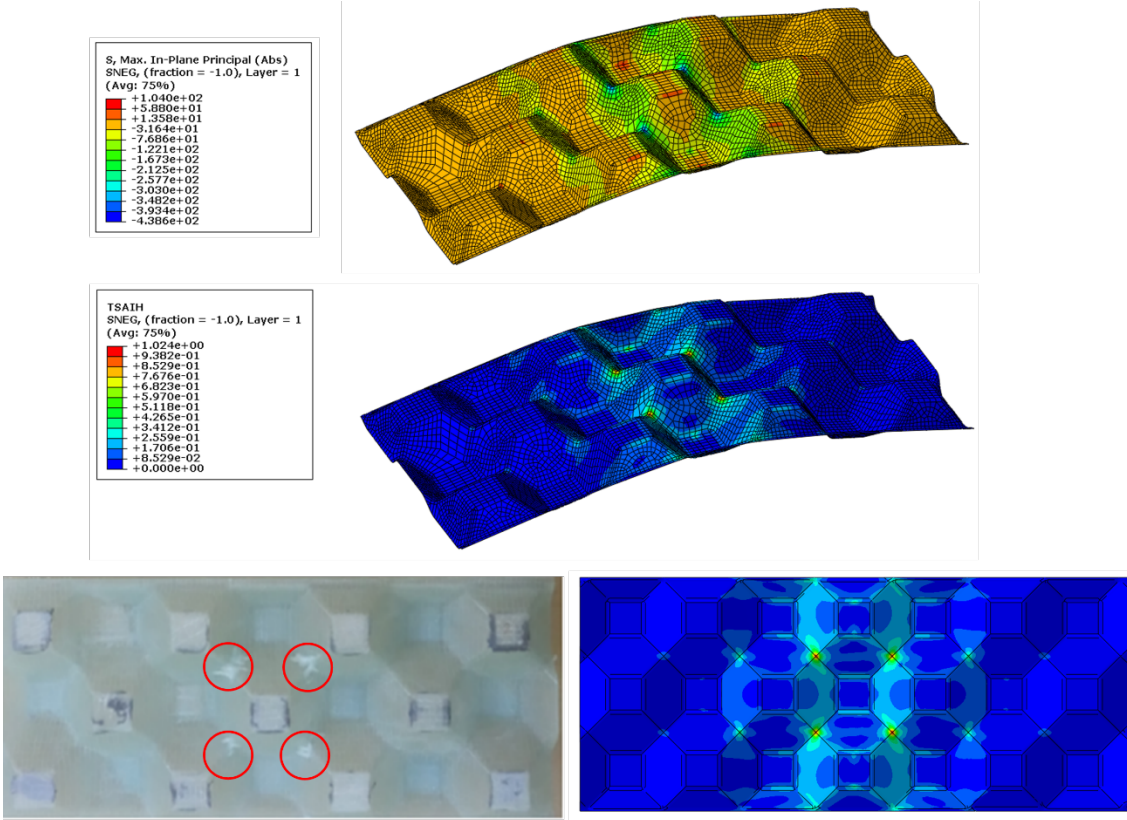
Federli konik yapılı çekirdeğe uygulanan basma testinde çekirdeğin uç noktalarında fiber kopması meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.23)



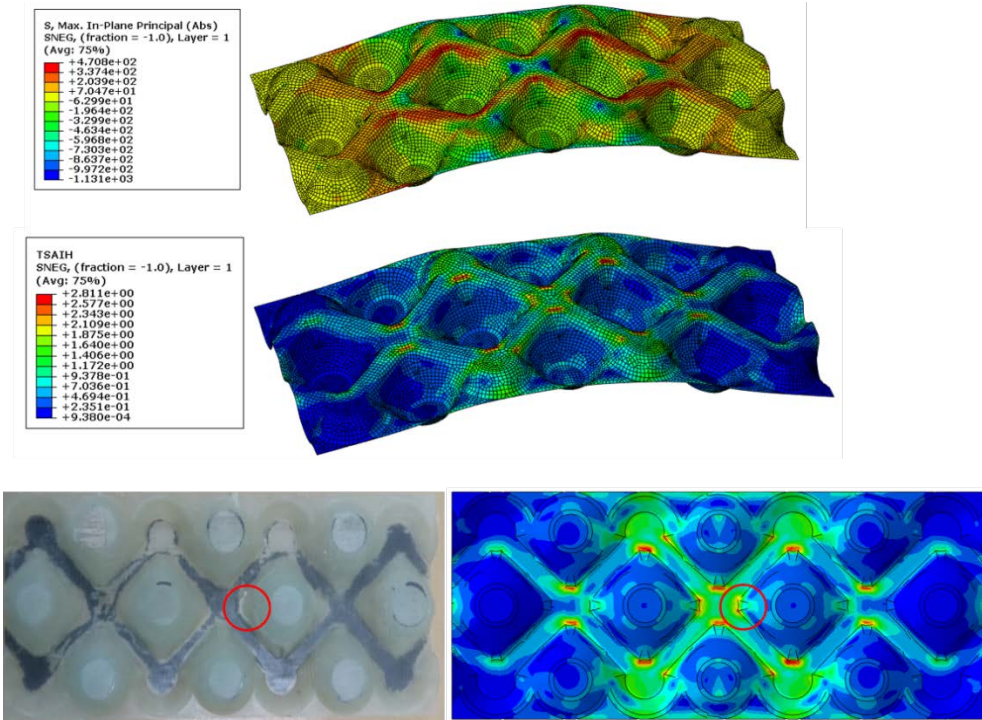
Şekil 4.23. Federli konik yapılı çekirdek basma testi sonrası görünüm

4.4. Analiz Sonuçları

Her bir çekirdek şekli için analiz sonuçları elde edilmiştir. Piramit şekilli yapının düzlemsel maksimum gerilme dağılımı ve Tsai hasar kriterine göre elde edilmiş hasar bölgeleri Şekil 4.24 'te gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği üzere hasar piramit yapıların birleşme köşelerinde meydana gelmektedir. Bu hasar bölgeleri deneysel olarak bulunan hasar bölgeleriyle birebir örtüşmektedir. Konik şekilli yapıda deney sonrasında bir hasar gözlemlenmediği için konik şekilli yapının analizi yapılmamıştır. Federli yapının gerilme değerleri ve hasar bölgeleri Şekil 4.25 'da gösterilmiştir. Her iki çekirdek formunda da sonlu elemanlar metodu kullanılarak geliştirilen sayısal modeller hasar yerlerini yeterli doğrulukta öngörmüştür.



Şekil 4.24. Düzlemsel maksimum gerilme dağılımı (üstte), TsaiH hasar kriterine göre hasar dağılımı (ortada), ve hasar bölgelerinin karşılaştırılması (altta).



Şekil 4.25. Düzlemsel maksimum gerilme dağılımı (üstte), TsaiH hasar kriterine göre hasar dağılımı (ortada), ve hasar bölgelerinin karşılaştırılması (altta).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, sandviç kompozit panellerin eğilme ve basma rijitliğini arttırmak amacıyla farklı çekirdek yapıları kompozit paneller incelenmiştir. Piramit, Konik, Federli-Konik olmak üzere üç tip farklı çekirdek yapıları kompozit çekirdek tasarlanmıştır. Üretilen kompozit yapıları eğilme ve basma testleri uygulanmıştır.

Üretilen kompozit panellere uygulanan eğilme ve basma testleri neticesinde eğilme testinde kompozit çekirdek ile alt ve üst kompozit panelin birbirinden yapıştırıcı hatası ve epoksi reçineden kaynaklı olarak birbirlerinden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Epoksi reçineden kaynaklı meydana gelen çekirdek plaka ayrılmasının nedeni kalıplama anında cam elyafın kalıbın yüzeylerine tam olarak nüfus edememesinden kaynaklanmaktadır. Burada boşluklarda biriken epoksi reçine eğilme testi esnasında çekirdek ve plakanın ayrılmasına neden olmuştur.

Plakalardan ayrılan çekirdeklere tekrardan eğilme testi uygulanmıştır. Yapılan test sonucunda çekirdeklerin eğilme rijitlikleri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Piramit yapıları çekirdekte köşe birleşme noktalarında elyaf kopma hasarı gözlemlenmiş, konik yapıları çekirdekte hiçbir hasar gözlemlenmemiş ve son olarak federli konik yapıları çekirdekte ise alt tabakasında hasar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Üretilen kompozit çekirdeklere uygulanan basma testinde ise federli konik yapıları kompozit çekirdeğin dayanımının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Basma testi hasarlarının reçine kırılmasından ve fiber kopmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın devamında çekirdek-yüzey plakası ayrılması üzerine çalışmalar yapılarak birleştirme bölgeleri iyileştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- A. Basmacı. (2011) Sandviç Kompozit Plaklarda Bağlantı Noktalarının Hasar Analizi
Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- A.C. Manalo, T. Aravinthan, W. Karunasena, (2010) Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams. *Composite Structures* 92, 2703–2711
- A.J. Malcom, M.T. Aronson, V.S. Deshpande, H.N.G. Wadley (2013). Compressive response of glass fiber composite sandwich structures. *Composites: Part A* 54, 88–97
- A.K. Haldar, J. Zhou, Z. Guan (2016) . Energy absorbing characteristics of the composite contoured-core sandwich panels. *Materials Today Communications* 8, 156–164
- A.K. Haldar, Z.W. Guan, W.J. Cantwell, Q.Y. Wang (2018). The compressive properties of sandwich structures based on an egg-box core design. *Composites Part B* 144, 143–152
- Anne-Marie Harte, Norman A. Fleck, Michael F. Ashby (2000). Energy absorption of foam-filled circular tubes with braided composite walls. *Eur. J. Mech. A/Solids* 19, 31–50
- A.R. Akisanya, N.A. Fleck (2006) Plastic collapse of thin-walled frusta and egg-box material under shear and normal loading
- A. Tortoç (2009) Balsa / Pvc Sandviç Yapılarda Kırılma Tokluğu Etkisinin Nümerik Çalışması
Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- A. Uzal, F. O. Sönmez, F. E. Öz, K. Çınar, N. Ersoy (2014). A composite sandwich plate with a novel core design. *Composite Structures* 193, 198-211.
- Denis D. Cartie, Norman A. Fleck (2003). The effect of pin reinforcement upon the through-thickness compressive strength of foam-cored sandwich panels. *Composites Science and Technology* 63, 2401–2409
- Fan H.L, Meng F:H, Yang W. (2007) sandwich panels with Kagome lattice cores reinforced by carbon fibers. *Composite Structures*, 81,533-539
- Fan H.L,Qu Z. Xia Z. Sun F. (2014) Desining and compession behaviours of ductile hierarchical pyramidal lattice composites. *Materials and Desing*, 58, 363-367
- Guo-dong Xu, Zhi-hai Wang, Tao Zeng, Su Cheng, Dai-ning Fang (2018). Mechanical response of carbon/epoxy composite sandwich structures with three-dimensional corrugated cores. *Composites Science and Technology* 156, 296-304
- H. Hamada, K. Kameo, M. Sakaguchi, H. Saito, M. Iwamoto (2000). Energy-absorption properties of braided composite rods. *Composites Science and Technology* 60, 723-729
- Jin Dai, H. Thomas Hahn, (2003) Flexural behavior of sandwich beams fabricated by vacuum-assisted resin transfer molding. *Composite Structures* 61, 247–253
- J.G. Chung, S.H. Chang, M.P. F. Sutcliffe, (2007) Deformation and energy absorption of composite egg-box panels. *Composites Science and Technology* 67, 2342–2349
- J. Zhou, Z.W. Guan, W.J. Cantwell (2016). Scaling effects in the mechanical response of sandwich structures based on corrugated composite cores *Composites Part B* 93, 88-96

- J. Zhou, Z. Guan, W.J. Cantwell (2018). The energy-absorbing behaviour of composite tube-reinforced foams. *Composites Part B* 139, 227–237
- M. Mohamed, S. Anandan, Z. Huo, V. Birman, J. Volz, K. Chandrashekhara (2014) Manufacturing and characterization of polyurethane based sandwich composite structures. *Composite Structures* 123, 169–179
- Marc Zupana, C. Chen, N.A. Fleck (2003). The plastic collapse and energy absorption capacity of egg-box panels. *International Journal of Mechanical Sciences* 45, 851–871
- S.W. Lam, X.M. Tao, T.X. Yu (2004). Comparison of different thermoplastic cellular textile composites on their energy absorption capacity. *Composites Science and Technology* 64, 2177–2184
- Seong Hwan Yoo, Seung Hwan Chang (2008). An experimental study on energy absorbing structures made of fabric composites. *Composite Structures* 86, 211–219
- S.H. Yoo, S.H. Chang, M.P. F. Sutcliffe (2010). Compressive characteristics of foam-filled composite egg-box sandwich panels as energy absorbing structures. *Composites: Part A* 41, 427–434
- Soraia Pimenta, Paul Robinson (2014) Wavy-ply sandwich with composite skins and crushable core for ductility and energy absorption. *Composite Structures* 116 364–376
- T.X. Yu, X.M. Tao, P. Xue (2000) . The energy-absorbing capacity of grid-domed textile composites. *Composites Science and Technology* 60, 785-800
- U. Potoğlu (2012) Sandviç kompozit plakaların darbe davranışları Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- V.S. Deshpande, N.A. Fleck (2003). Energy absorption of an egg-box material. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 51, 187–208
- Z. Cui, G. Moltschaniwskyj, D. Bhattacharyya (2004). Buckling and large deformation behaviour of composite domes compressed between rigid platens. *Composite Structures* 66, 591–599

7. ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini 2003 yılında Şair Abay Konanbay lisesinde tamamladı. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2015 Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimi'ne başladı. 2011 yılından bu yana Uzay Makine A.Ş. Ar-Ge departmanında çalışmaktadır.