

**SANDVIÇ YAPILARDA KULLANILAN
FARKLI DOLGU MALZEMELERİNİN
DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Sina KARİMPOUR REYHAN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı
Prof. Dr. Mustafa YAMAN**

2015

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SANDVIÇ YAPILARDA KULLANILAN FARKLI DOLGU
MALZEMELERİNİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Sina KARİMPOUR REYHAN

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

SANDVIÇ YAPILARDA KULLANILAN FARKLI DOLGU
MALZEMELERİNİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Prof. Dr. Mustafa YAMAN danışmanlığında, Sina KARİMPOUR REYHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 20/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Murat Demir AYDIN

İmza:

Üye: Prof. Dr. Ömer GÜNDOĞDU

İmza:

Üye: Prof. Dr. Mustafa YAMAN

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 23/07/2015 tarih ve 24/1016 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SANDVIÇ YAPILARDA KULLANILAN FARKLI DOLGU MALZEMELERİNİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sina KARİMPOUR REYHAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YAMAN

Bilim ve teknolojinin sürekli ilerlemesi ile mühendislik uygulamalarında kompozit malzemelerin kullanımı daima artmaktadır. Bu malzemelerden biride sandviç yapılardır. Bu çalışmada sandviç yapıların dinamik analizleri (titreşim ve darbe deneyi) deneysel ve nümerik olarak yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında çeşitli dolgu malzemeler (çekirdek malzemeler) kullanılarak farklı kalınlıklarda sandviç yapılar üretilmiştir. Alt ve üst yüzeyler için alüminyum, çekirdek malzeme olarak da farklı kalınlıklarda balsa, bal peteği, poliüretan köpük ve sentetik köpük kullanılmıştır. Birinci test olarak üretilen bu sandviç yapıların ankastre-serbest sınır şartlarındaki doğal frekansları, titreşim biçimleri ve sönüm oranları belirlenerek birbirleri ile karşılaştırılıp incelenmiştir. İkinci testde 10x10 cm boyutlarında üretilen numuneler darbe testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar çeşitli grafikler çizilerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Nümerik analizler ANSYS paket programıyla yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlarla, nümerik olarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

2015, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dinamik analiz, sandviç kompozit yapı, balsa, bal peteği, poliüretan, sentetik köpük

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF SANDWICH STRUCTURE WITH DIFFERENT CORES

Sina KARİMPUR REYHAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Machine Theory and Dynamics Department

Supervisor; Prof. Dr. Mustafa YAMAN

With the continuous advancement of science and technology, composite materials importance in engineering applications is increasing. One of these materials is sandwich structure. In this study dynamic analysis (vibration and impact test) of composite sandwich structures were investigated experimentally and numerically. In this study, sandwich materials were produced in different core and thicknesses. upper and lower layers are Aluminum and as core materials balsa, honeycomb, polyurethane foam and synthetic foam with different thickness are used. In first test natural frequencies under the fixed-free boundary conditions, forms of vibration and damping ratios of these produced sandwich structures were compared with each other and were investigated. Samples produced in the second test; 10 x 10 cm in size were subjected to impact testing. The obtained experimental results were analyzed by comparing various graphics drawing. Numerical analysis programmed with ANSYS. The results obtained experimentally were compared with the results obtained numerically.

2015, 71 pages

Keywords: Dynamic analysis, sandwich composite structure, balsa, honeycomb, polyurethane foam and synthetic foam

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmanın planlamasında, araştırılmasında ve oluşumunda engin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa YAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Sayın Dr. Reza MOHAMMADZADEH GHESHLAGHI'ye tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim, babam ve anneme teşekkürlerimi sunarım.

Sina KARİMPOUR REYHAN

Temmuz, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sandviç malzemeler	1
1.2. Sandviç Panel	3
2. KURUMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Sandviç Malzemelerin Çeşitleri	4
2.1.1.a. Cam elyafları	4
2.1.1.b. Aramid elyafları	4
2.1.1.c. Karbon elyafları.....	5
2.1.1.d. Diğer plastik elyaflar	5
2.1.1.e. Alüminyum.....	5
2.1.2. Çekirdek çeşitler.....	6
2.1.2.a. Sandviç panel iç dolgu malzemeleri.....	6
2.1.3. Yapıştırıcı malzemeleri	11
2.1.3.a. Polyesterler	12
2.1.3.b. Vinylesterler	12
2.1.3.c. Epoksiler.....	13
2.1.4. Sandviç yapılarında uygun malzeme seçimi	14
2.1.4.a. Yapısal etmenler	14
2.1.4.b. Ekonomik etmenler	15
2.2. Farklı Dolgu Malzemeler	15
2.2.1. Köpük sandviçler.....	15
2.2.2. Ahşap sandviçler	17
2.2.3. Bal peteği sandviçler	18

2.2.4. Sentetik köpük sandviçler (synthetic foam sandviç).....	20
2.3. Kompozit Sandviç Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	21
2.3.1. Avantajları.....	21
2.3.1.a. Yüksek mukavemet.....	21
2.3.1.b. Kolay şekillendirebilme.....	22
2.3.1.c. Elektriksel özellikler.....	22
2.3.1.d. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet.....	22
2.3.1.e. Isıya ve ateşe dayanıklılığı.....	22
2.3.1.f. Kalıcı renklendirme.....	23
2.3.1.g. Titreşim sönümlendirme.....	23
2.3.2. Dezavantajları.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal.....	25
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Deneysel analiz.....	27
3.2.2. Nümerik analiz.....	32
3.2.3. ANSYS program ile sandviç kompozit yapının modellenmesi.....	34
3.2.3.a. Analiz tipinin belirlenmesi.....	34
3.2.3.b. Eleman tipi ve özellikleri.....	35
3.2.3.c. Kompozit malzemenin tabaka sayısı ve kalınlığın girilmesi.....	38
3.2.3.d. Modelin oluşturulması.....	40
3.2.3.e. Modelin elemanlara ayrılması.....	40
3.2.3.f. Sınır şartlarının uygulanması.....	42
3.2.3.g. Çözümün yapılması.....	43
3.2.4. Nümerik modal analiz.....	46
3.2.5. Logaritmik azalma.....	46
3.2.6. Harmonik analiz.....	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	49
5. SONUÇ ve TARTIŞMALAR.....	54
5.1. Titreşim Testi.....	54
5.2. Darbe Testi.....	58
KAYNAKLAR.....	69

EKLER	70
EK 1.....	70
EK 2.	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER DİZİNİ

c	kiritik sönüm katsayısı
E	Elastisite modülü
G	Young modülü
Hz	Frekans “hertz”
k	Rijitlik katsayısı
m	Kütle değeri
n	Cözümde kullanılan genlik-zaman grafiginde genlik tepe sayısı
Q	Kalite faktoru
rad	Radyan
s	Karakteristik denklem kökleri
sn	Saniye
T	Sönümlü sistemin periyodu
t	Zaman
v	poission oranı
w	Doğal frekans değeri
W	Sönümlü sistemin frekansı
δ	Logaritmik azalma
Γ	Sönüm oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sandviç yapı	1
Şekil 1.2. Sandviç yapının birinci kirişi şeklinde modellenmesi	2
Şekil 1.3. sandviç panel (üst ve alt yüze :alüminyum ve iç dolgu: balsa)	3
Şekil 2.1. PUR/PIR (Poliüretan)	7
Şekil 2.2. EPS (Expanded Polistren)	7
Şekil 2.3. XPS (Extrude Polistren)	7
Şekil 2.4. Fenolik	8
Şekil 2.5. Taş yünü	8
Şekil 2.6. PVC köpük	9
Şekil 2.7. Balsa	10
Şekil 2.8. Mikrobalon cam kabarcıklar	11
Şekil 2.9. Soğuk oda ve çatı paneli	16
Şekil 2.10. Frigorifik araç kasası	16
Şekil 2.11. Modüler kabin sistemleri	16
Şekil 2.12. Güneş enerjisi sistemleri	16
Şekil 2.13. Dekoratif elemanlar	17
Şekil 2.14. Teknik izolasyon boru	17
Şekil 2.15. Sandviç balsa	17
Şekil 2.16. Bal petek sandviç panel ve yapıları	18
Şekil 2.17. Uçak teknolojisinde kullanılan kompozit malzemeler	19
Şekil 2.18. Çeşitli petek yapıları kompozit uygulamaları	20
Şekil 2.19. Elektron mikroskop ile gösterilmiş sentetik köpük (mikrobalon ve epoksi karışımı)	21
Şekil 3.1. Farklı çekirdekli sandviç nümüneler (darbe testi için)	26
Şekil 3.2. Farklı kalınlıklarda ve farklı çekirdekli sandviç nümüneler (titreşim testi için)	26
Şekil 3.3. Deney düzeneği	27
Şekil 3.4. Bir darbe olayında karşılaşılan eğri tipleri:	29
Şekil 3.5. CEAST-Fractovis Plus test cihazının ana parçaları	30

Şekil 3.6. Deney düzeneği	31
Şekil 3.7. Etki ve tepki fonksiyonlarının zaman ortamından frekans ortamına dönüşürülmesi	31
Şekil 3.8. Analiz tipinin belirlenmesi	34
Şekil 3.9. Eleman tipinin belirlenmesi	36
Şekil 3.10. malzeme özelliklerinin girilmesi (1).....	37
Şekil 3.11. Malzeme özelliklerinin girilmesi (2)	38
Şekil 3.12. malzemenin tabaka sayısı ve kalınlığı	39
Şekil 3.13. modelin oluşturulması	39
Şekil 3.14. Alanın oluşturulması.....	40
Şekil 3.15. Mesh menüsü	41
Şekil 3.16. Sandviç yapının elemanlara ayrılmış hali.....	41
Şekil 3.17. bal petekli sandviç yapının elemanlara ayrılmış hali.....	42
Şekil 3.18. sınır şartlarının uygulanması (1)	43
Şekil 3.19. sınır şartlarının uygulanması (2).....	43
Şekil 3.20. Analiz tipinin seçilmesi	44
Şekil 3.21. modal analiz özelliklerinin girilmesi	44
Şekil 3.22. Modal analiz özelliklerinin girilmesi.....	45
Şekil 3.23. modal analiz işlemi tamamlandı	45
Şekil 3.24. Genlik zaman grafiği	46
Şekil 3.25. Harmonik analiz cevap orneği	48
Şekil 4.1. Sandviç kompozite yapının boyutlandırılması	49
Şekil 4.2. Çekirdek malzemesi (poliüretan köpük) 10 mm kalınlıkta alüminyum yüzeyli sandviç malzemenin ankastre-serbest sınır şartındaki 1.doğal frekansını gösteren FRF grafiği gösterilmektedir.....	50
Şekil 4.3. Çekirdek malzemesi bal petekli 7 mm kalınlıkta alüminyum yüzeyli sandviç malzemenin ankastre-serbest sınır şartındaki genlik-zaman grafiği gösterilmektedir	50
Şekil 4.4. ANSYS programında alüminyum yüzeyli balsa çekirdekli (15mm) kalınlığında sandviç yapının ilk 5 doğal frekansı gösterilmektedir.....	51

Şekil 4.5. Deneysel analizden elde edilen, alüminyum yüzeyli balsa çekirdekli (15mm) kalınlığında sandviç yapının ilk frekans ve sönüm değeri gösterilmektedir	51
Şekil 4.6. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının birinci titreşim modu (nodal solution).....	52
Şekil 4.7. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının ikinci titreşim modu (nodal solution).....	52
Şekil 4.8. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının üçüncü titreşim modu (nodal solution).....	53
Şekil 4.9. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının ikinci titreşim modu (displacement)	53
Şekil 5.1. Ankastre–serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı frekans değişimi grafiği	56
Şekil 5.2. Ankastre–serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı frekans değişimi grafiği	56
Şekil 5.3. Ankastre–serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı sönüm oranı değişimi grafiği.....	57
Şekil 5.4. Ankastre–serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı sönüm oranı değişimi grafiği.....	57
60	
Şekil 5.5. sembolik olarak düşük hızlı darbe sonrası numunede enerjinin iki şekilde depolanması	60
Şekil 5.6. Farklı enerji seviyeleri için balsa sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri.....	61
Şekil 5.7. Farklı enerji seviyeleri için poliüretan köpük sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri.....	62
Şekil 5.8. Farklı enerji seviyeleri için sentetik köpük sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri.....	63
Şekil 5.9. Farklı enerji seviyeleri için bal petekli sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri	64
Şekil 5.10. 45J ve 60J enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması	65

Şekil 5.11. 30J enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması	66
Şekil 5.12. Maksimum enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması	66
Şekil 5.13. Balsa sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri	67
Şekil 5.14. Sentetik köpük sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri	67
Şekil 5.15. Poliüretan köpük sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Optimum malzeme seçimi ile mekanik özelliklerin eldesi.....	13
--	----

1. GİRİŞ

1.1. Sandviç malzemeler

Kompozit bir ürün, sandviç ve monolitik olmak üzere ikiye ayrılır. Monolitik yapılar sadece Karbon, Aramid, cam olmak üzere sadece elyaf ve reçine katlarından oluşurlar. Sandviç kompozitte ise iç ve dış elyaf katmanları arasında çekirdek malzemesi bulunur. Çeşitli malzemelerin çeşitli mekanik özellikler kazandırmak için birbiri içinde çözünmeden birleştirilmesi sonucunda sandviç malzemeler elde edilir. Sandviç konstrüksiyon isimi, bilim adamlarının bir farklı içerikli sandviç ekmeğinden esinlenerek verdikleri isimdir. Sandviç konstrüksiyon, günümüzün uçak, gemi, otomobil vb vasıta sanayisinde kullanımı için tasarlanıp kullanıma hazır bulunan, yapım tekniğidir.



Şekil 1.1. Sandviç yapı

Sandviç malzemeler teknolojik kompozitlerin en önemli uygulamalarındandır. Kompozit malzeme birden fazla esaslı malzemenin belirli bir hedef için makroskobik anlamda birleşmesiyle oluşturulan yapıdır. Sandviç malzemeler aynen bu tanıma uymakta olduğunu diye biliriz. çeşitli yapılar istenilen çeşitli mekanik özelliklerin kazandırmak için birbirleri içinde çözünmeden birleştirilmektedir. Sandviç bir yapı temel olarak üç önemli elemana sahiptir. Yukarı Şekil de gösterildiği gibi en dışta alt ve üst yüzeyler, orta kısımda çekirdek olarak adlandırılan malzeme ve bağlantıyı sağlayan yapıştırıcı malzemelerden oluşmaktadır. Dış yüzeyler ince olmasına rağmen

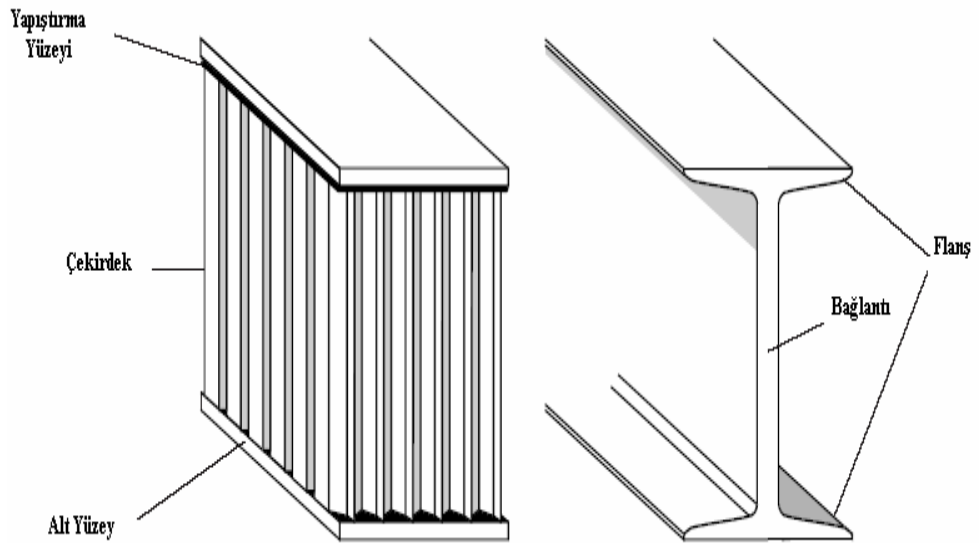
mukavemeti yüksek ve çekirdek malzemenin (iç dolgu malzemenin) mukavemet değeri düşük ama hafiftir bu sayede mukavemeti yüksek bir eleman oluşturduğumuz üzere konstrüktif açıdan da düşük ağırlıklı bir yapı elde etmiş oluruz. İçerideki çekirdek malzemenin (iç dolgu malzemelerin) en önemli görevi dış yüzeyler arasındaki mesafeyi korumaktır. Zira bu mesafe sandviç malzemenin kesit alanına ait atalet momentinin ve de bükülme rijitliğinin yüksek olmasını kazandırmaktadır.

Özet olarak sandviç yapının sahip olması önemli özelliklerini belirleyebiliriz:

- 1) Mukavemeti yüksek olan alt ve üst yüzeyler, çekirdekin düşük yoğunluğu
- 2) yapıştırma bağlantısının Rijit ve yüksek mukavemeti olmasıdır.

Sandviç malzemelerin en önemli konulardan biri sağladığı avantajlardan biri olan konstrüksiyon rijitliğidir.

Bu konuyu anlatmak için ilk önce sandviç bir yapıyı Şekil 1.2'deki gibi birinci kiriş şeklinde modelleme yapmamız gerekir (Tortoç 2009).



Şekil 1.2. Sandviç yapının birinci kiriş şeklinde modellenmesi (Tortoç 2009)

Burada sandviç panelin yüzeyi kirişin flanşlarını oluştururken çekirdek malzeme kirişin bağlantı bölümüne karşılık gelmektedir.

Yük altında sandviç panelin yüzeyleri bükülmeye maruz kalırlar, yüzeylerden biri bası etkisinde iken diğeri çekiye zorlanacaktır. Çekirdek malzeme kayma gerilmelerine direnç gösterirken aynı zamanda yüzeyler arasındaki mesafeyi koruyarak yapının rijitliğini arttırır ve yüzeylere kesintisiz destek vererek düzenli rijit bir sandviç panel oluşturur. Çekirdek, yüzey ve yapıştırma bağlantısı uniform bir konstrüksiyon oluşturarak tek bir birim olarak davranırlar, böylece sandviç yapı yüksek burulma ve bükülme rijitliğine sahip olur.

1.2. Sandviç Panel

Sandviç paneller, bileşenlerinin en iyi özelliklerini alarak oluşan, hafif ama dayanıklı yapı malzemeleridir ve iki boyalı Galvaniz veya Alüminyum trapez levha arasında (PIR, PUR, Taşyünü) iç dolgu malzemesi ile ısı yalıtımı amaçlı üretilen kompozit malzemelerdir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan sert köpük kullanılır. Kullanıldığı alanlarda oldukça yüksek bir ısı-su-ses yalıtımı sağlar, nem yoğunlaşmasını önler. İstenilen boyda üretilebilen paneller sayesinde, özellikle üretim maksatlı işletmelerde, sorunsuz ve süratle monte edilebilir (Şahin 2006).



Şekil 1.3. sandviç panel (üst ve alt yüze :alüminyum ve iç dolgu: balsa)

2. KURUMSAL TEMELLER

2.1. Sandviç Malzemelerin Çeşitleri

Sandviç yapıları malzeme kullanımı açısından sınıflandırmak istesek, bir bütün olarak incelemek çok zordur. Çünkü alt ve üst yüzeyleri oluşturan tabakalar ve çekirdek malzemenin yapı içindeki görevleri ve kullanım amaçları birbirleriyle farklıdır. Bu bölümde genel olarak sandviç malzeme yüzey çeşitleri ve çekirdekler (iç dolgu malzemeler) yapı için kullanılan malzemeler incelenecektir.

2.1.1. Yüzey çeşitleri

Yüzey çeşitleri olarak alüminyum, çelik, paslanmaz çelik ,elyaflar ve iki boyalı Galvaniz sandviç yapılarda çok fazla kullanılır. Ana matriksin içerisinde özel mukavemet sağlanması istenen yerlerde bu amaçla kuvvetlendirici elyaflar kullanılır. Kuvvetlendirici elyafları şu şekilde sınıflandırabiliriz.

2.1.1.a. Cam elyafları

İlk kompozit panellerin yapımında kullanılan elyaf cam elyafı idi. Günümüzde çeşitli mukavemet özelliklerine sahip E, S ve R tipi cam elyafları üretilmekte ve kullanılmaktadır. Cam elyafları reçineyi oldukça iyi özümseyebilen ve kullanımı nispeten kolay elyaflardır.

2.1.1.b. Aramid elyafları

1960'lı yılların sonlarında DuPont de Nemours tarafından piyasaya sürülen Kevlar aramidlerin en bilinenidir. Son yıllarda çeşitli imalatçılar değişik ticari isimlerle piyasaya aramid elyaflar sürmüşlerdir. Aramid elyafın spesifik çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır.

(Yani 1 m boyunda 1 kg ağırlığında bir aramid halat, aynı boy ve ağırlıkta bir çelik halattan 5 kat daha fazla yük taşıyabilir.

Bu üstün çekme mukavemeti özelliği aramidlerin balistik koruma amaçlarıyla da kullanılmasına imkan tanımıştır. Sürtünme ve aşınmaya da çok dayanıklı olan bu tip elyaflar basmada aynı performansa sahip değillerdir. Düşük yoğunlukları ve naylon temelli hidrofob yapıları kullanılan plastik matriksin aramid elyaflarını oldukça problemlili yapmaktadır. Aramidlerde, çok ileri reçine sistemlerinde bile, yapıdaki elyaf oranında %50'den iyisini elde etmek mümkün olamamaktadır. Ayrıca depolamada rutubet almaları bu ıslanmayı çok daha zor hale getirdiğinden yapısal bütünlük için bir tehlike oluşturur.

2.1.1.c. Karbon elyafları

Mukavemet olarak cam ve aramid elyaflarından çok daha üstün özellikler taşırlar. Darbelerin yutulması için ve çok düşük ağırlık ve yüksek rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşük uzama seviyeleri ve kırılganlıkları başlarda problem olmuşsa da günümüzdeki yüksek uzamalı karbon elyaflarının bulunmasıyla bu problemler ortadan kalkmıştır. Plastik matriks içerisinde ıslanabilme özellikleri oldukça iyidir.

2.1.1.d. Diğer plastik elyaflar

Kompozit yapılarda, az miktarda olsa da amaca uygun olarak naylon (Nomex) ve polyethylen elyaflar da kullanılmaktadır.

2.1.1.e. Alüminyum

Alüminyumun yumuşak ve esnek bir metal olması aynı zamanda korozyona dayanıklı olması bazı üreticilerin alüminyum sandviç panel tercihlerine neden olmaktadır. Metal yüzeyi gofrajlanmış olarak kullanılmaktadır. Gofrajlanmış metal sandviç panelin

yüzeyinin çizilmesini önlediği gibi poliüretanın metale yapışmasını yükseltmektedir. Özellikleri diğer kaplama ürünlerine göre daha iyidir.

2.1.2. Çekirdek çeşitler

2.1.2.a. Sandviç panel iç dolgu malzemeleri

Poliüretan, PIR, PVC, Polistren, Fenolik Köpük, Taş Yünü ve ahşap gibi malzemeler sandviç panel uygulamalarında en çok tercih edilen iç dolgu çekirdek malzemeleridir. Poliüretan, PIR, Polistren, Fenolik gibi tüm malzemeler Plastik Köpük, Taş Yünü ise İnorganik lifli malzeme olarak iki ayrı grupta nitelendirilmektedir. Aralarındaki farklılık veya sundukları performans avantajları sıkça sorulan ve merak edilen konulardan biridir. Geniş kullanım alanına sahip sandviç panellerin teknik özellikleri bakımından ciddi yanlış anlaşılmanın yanısıra eksik bilgi akışının varlığını kabul etmek gerekir. Yapı fiziğine uygun mekanik dayanım, yalıtım, yangın performansı ve üretim prosesleri dikkate alınarak doğru kompozit sandviç panel tercihinde çekirdek malzeme tipi çok önemli rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, malzemelerden beklenen tüm performansların doğru belirlenip doğru karşılaştırılması ayrıca önem kazanmaktadır.

PUR / PIR (Poliüretan)

Poliüretan (PUR) ve Polisoziyanat (PIR) sandviç panel üretiminde en çok kullanılan plastik köpüklerdir. Genellikle laminasyolu hatlarda tercih edilen bu tip plastik köpüklerin Köpürme aşamasında yapışma özelliğinin olması çok ciddi avantajlar sunmaktadır. Son yıllarda kimyasal özellikleri daha da geliştirilerek yangın performansları artırılmıştır. Üretiminde çevreye dost n-pentane şişirici gaz tercih edilmektedir. Sandviç panel üretiminde yaklaşık 50 yıldır kullanılan poliüretan en güvenilir yalıtım malzemesi olarak bilinmektedir.



Şekil 2.1. PUR/PIR (Poliüretan)

XPS / EPS (Polistren)

Extrude (XPS) ve Expanded (EPS) olmak üzere iki formda polistren köpük bulunmaktadır. Sandviç panel uygulamalarında ilave yapıştırıcı kullanılarak metal yüzeylere yapıştırılırlar. Thermoplastik olarak nitelendirilen polistren köpükler düşük sıcaklıklarda erimekte-dirler.



Şekil 2.2. EPS (Expanded Polistren)



Şekil 2.3. XPS (Extrude Polistren)

Fenolik (PF)

Fenolik köpük diğer plastic köpüklere nazaran daha yeni bir malzemedir. Sandviç panelede çok az tercih edilmektedir. Plastik köpükler içerisinde en iyi yangın performansını sunmaktadır.



Şekil 2.4. Fenolik

Taş yünü

Bazalt, diyabaz, dolomit gibi kayaların ergitilerek püskürtüldükten ve bakalit ile karıştırılıp daha sonra özel işlemlerden geçirilmesi sonucu elde edilen mineral yün çeşididir. Yangın dayanımı ve ses yalıtımında mükemmel sonuçlar veren taş yünü, ısı yalıtımında plastic köpüklere nazaran daha düşük yalıtım değerlerine sahiptir.

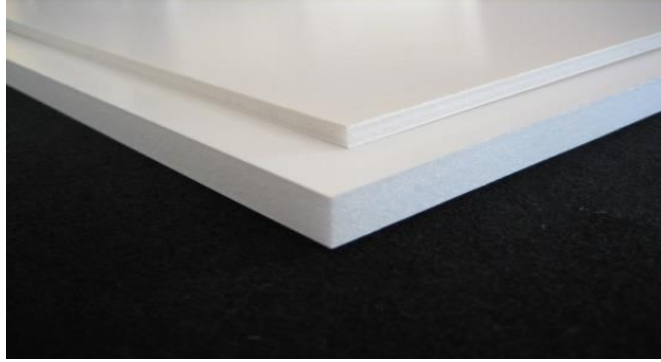


Şekil 2.5. Taş yünü

PVC köpükler

PVC köpükler çok kullanılan çekirdek malzemelerden biridir. Rutubet/su absorpsiyonu direnci iyidir. 40-300 kg/m³ yoğunluklarda bulunabilir (Atas 2010). Yapılarına göre:

- a) Çapraz bağlı PVC köpük: nispeten kırılğan
- b) Doğrusal PVC köpük: mukavemet özellikleri bozulmadan deformasyon kabul edebilen
- c) Yüksek ısı dirençli tipleri vardır.



Şekil 2.6. PVC köpük

Balsa

Hafif balsa ağacı, elyafları deriye dik gelecek şekilde (end grain) 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 imkansız denecek kadar zordur. Nispeten yüksek yoğunluğu ise, PVC köpük gibi geniş bir seçim şansı vermez (Vural 2003)



Şekil 2.7. Balsa

Tahta

Balsa dışında tahta da, bilhassa iyi ezilme mukavemeti beklenen yerlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılabilir. Genelde konturplak veya lamine şeklindedir. Standardizasyonu balsadan daha iyi kontrol edilebilir. Ağırlığı önemli bir dezavantajdır.

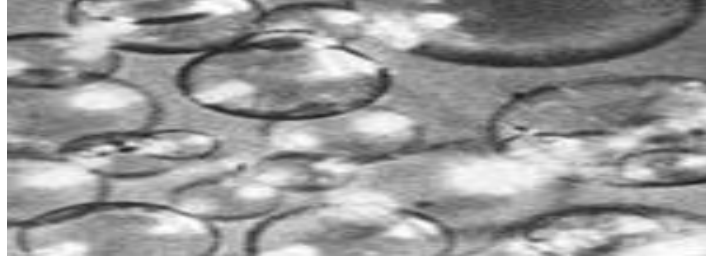
Bal peteği (Honeycomb)

Bal peteği metalik veya kompozitten yapılabilir. Metalik bal peteği çok ince alüminyumdan, kompozit bal peteği ise kağıt , naylon- aramid elyafları ve epoksi veya herhangi bir fenolik reçineden yapılırlar. Ateşe dayanıklı olan Nomex en çok kullanılan bal petek sistemlerinden biridir. Bal petek sistemleri dış derilere yapıştırılması oldukça zor, ama üstün mukavemet-ağırlık oranları sağlayan çekirdek yapıları oluştururlar. (Onuk 2004)

Mikrobalon

Mikrobalonlar içi boş mikroskopik cam kürelerden oluşan hafif bir serbest-akışlı beyaz tozdur . Bu yüksek kaliteli cam küreler ezilmeye karşı dirençli olduğu için, her türlü kimyasal köpürtmelerden yapılan köpüklere göre daha güçlü, sert ve su geçirmezdir. Epoksi ile karıştırılırsa ağırlığını arttırmadan daha hacimli bir malzeme elde edilir. İhtiyaca göre değişen oranlarda karıştırılır. Mikrobalon oranı arttıkça karışım donduktan

sonar işlenmesi, zımparalanması, kolaylaşır ancak mukavemeti azalabilir bu nedenle karışım oranına dikkat etmek gerekir.



Şekil 2.8. Mikrobalon cam kabarcıklar

2.1.3. Yapıştırıcı malzemeleri

Mühendisliğin genel olarak her dalındaki amacı insanlığın ihtiyaçlarına cevap verebilecek araç gereçleri tasarlamak üretmek ve geliştirmektir. Bu üretimin gerçekleşmesi için birçok parçayı bir araya getirmek ve birleştirmek gerekmektedir. Makine mühendisliği dalında parçaların birleştirilmesinde genel itibariyle mekanik bağlama elemanları kullanılır. Bu elemanlar kaynak, lehim, perçin, civata, vida gibi parçalar olup alışılmış birleştirme yöntemleri olarak bilinir. Bu tekniklerin yanında geliştirilen malzeme teknolojisi ve üretilen farklı malzemelerin birleştirilmesinde değişik yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Farklı malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim (metal, plastik, kompozit vb.) yapısal elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir yöntemlerin ortaya çıkmasını ve dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden farklı birleştirme yöntemlerine ihtiyaç duyurmuştur. Bu yöntemlerin başında gelen yapıştırma teknolojisidir (Maranci 2009).

Yapıştırıcı, malzemeleri bir arada tutan madde olarak tanımlanır. Yapışma iki yüzeyin, moleküller, iyonlar ve atomlar arası etkileşimden dolayı oluşan çekim kuvvetleriyle bir arada tutturulması olarak tanımlanır. Yapıştırıcılar sıvı, katı, macun, bant gibi birçok fiziksel şekilde olabilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak iki temel birleştirme işlemi vardır. Yapısal yapıştırma, tasarım sınırları içinde yapının

sürekliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal birleştirmede yapısal yapıştırıcılar kullanılır. Yapısal yapıştırıcılar yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanları göz önüne alındığında endüstriyel yapıştırıcıların özellikleri şunlardır:

1. Yapıştırma bağlantıları, yapıştırıcı ve yüzeyler arasında tam temas olmasına dikkat edilmelidir.
2. Başarılı bir yapıştırma için tasarımda , uygun bir yüzey hazırlama yöntemi ve uygun yapıştırıcı belirlenmelidir.
3. Birleştirilecek iki malzemenin yüzeyleri arasını dolduracak şekilde akıcı olmalı akarken birleştirilen malzemelerin yüzeylerini tamamen ıslatmalı istenilen yükleri taşıyacak kuvvete katı veya viskoz jel yapıştırma bağımlı oluşturmalı (Marancı 2009).

2.1.3.a. Polyesterler

Reçine matrikslerin 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 korozif 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.

2.1.3.b. Vinylesterler

Polyesterlerden sonar bulunmuş bir matriks tipidir. Vinylester reçine ıslak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Vinylesterler su ve koroziflere karşı yüksek dirence sahiptirler. Polimerizasyon çeşitli ajanlar vasıtası ile 10-12 saate kadar uzatılabilir, bu sayede büyük yüzeylerde vakum tatbikatı yapılabilir.

2.1.3.c. Epoksiler

Epoksi reçineler de polyester ve vinylesterler gibi kimyasal polimerizasyon sonucu sertleşir. Ancak yapılarında açığa çıkan bir solvent yoktur. İmalatta çalışma süresi oda sıcaklığında 15 saat civarında olabilir. Epoksi reçineler karışımı yapılmış halde, soğuk ortamlarda (0 C altında) iki aya kadar muhafazaedilebilir (Tortoç 2009).

Çizelge 2.1. Optimum malzeme seçimi ile mekanik özelliklerin eldesi

	FİBER			REÇİNE					ÇEKİRDEK					
	E-CAM	KEVLAR	KARBON	POLYESTER	VINYLESTER	EPOKSI	PHENOLIC	TERMOPLASTİK	BALSA	ÇAPRAZ PVC	DOĞRUSAL YAPILI PVC	ALUMİNYUM BAL PETEĞİ	TERMOPLASTİK BALPETEĞİ	SENTETİK KÖPÜK
Statik Çekme Dayanımı	☺	☺	☺	☹	☹	☺	☹	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☹
Statik Çeki Rijitliği	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☹
Statik Basma Dayanımı	☺	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☺	☹	☹	☹
Statik Basma Rijitliği	☹	☹	☺	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☹
Yorulma Dayanımı	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☹	☺	☹	☺	☹
Hasar Dayanımı	☹	☺	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☹	☺	☺	☹	☹	☹
Su Geçirmezliği	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☹	☺	☺	☹	☹	☹
Yangın Dayanımı	☺	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☹
İşlenebilirlik	☺	☹	☹	☺	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☹	☹	☹	☺
Maliyet	☺	☹	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☹	☹	☹	☺	☺
	☺	İyi Performans												
	☹	Kötü Performans												

2.1.4. Sandviç yapılarında uygun malzeme seçimi

Sandviç bir yapının dizaynında belirli bir plan ve prosedür oluşturulması gerekir. Mukavemet, statik, mekanik ve malzeme bilimleri kombinasyonu ile oluşturulan sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyulur. Yapının çalışma şartları göz önüne alınarak konstrüksiyondan beklenen verimin sağlanması hedef alınmalıdır. Tüm bunlar detaylı bir mühendislik araştırması ve yaklaşımı ile mümkün olacaktır. Her mühendislik uygulamasında olduğu gibi girdi ve çıktılar tanımlanmalı prosesler arasında geri beslemelerle optimum dizaynlar oluşturulmalıdır. İmkanlar dahilinde bilgisayar destekli mühendislik programlarıyla simülasyonlar yapılmalıdır (Anonymous 2015).

2.1.4.a. Yapısal etmenler

Dayanım

Giriş bölümünde bahsettiğimiz üzere kompozit bir malzemede her bir eleman kendi mekanik özelliklerini koruyabilmekteydi, bu kuralı göz önüne alarak sandviç yapının çalışacağı yük koşullarını düşünerek düzgün çekirdek ve yüzey malzemesi kombinasyonu oluşturmalıyız.

Rijitlik

Sandviç malzemeler çok düşük ağırlıklarda yüksek rijitlik sağlamak için kullanılırlar. Pek çok çekirdek malzemesi düşük kayma modülüne sahiptir, ancak deplasman hesaplamalarında bükülmeden kaynaklanan çökmeye ilaveten kaymadan kaynaklanan çökmeyi de inceleyebilmeliyiz.

Yapıştırma Bağlantısı Performansı

Bir yüzeyden diğer yüzeye düzgün yük iletimi için yüzeyler çekirdek malzemeye rijit bir şekilde yapıştırılmalıdır. Uygun yapıştırıcılar yüksek kayma modülüne sahiptirler. Depolama, tamirat veya kullanım sırasında hasara maruz kalabilecek hafif sandviç yapılarda kesinlikle düşük soyulma gerilmesine sahip yapıştırıcılar ile relativ olarak gevrek yapıştırıcılar kullanılmamalıdır.

2.1.4.b. Ekonomik etmenler

Kompozit sandviç panellerden maliyet konusunda çok etkili sonuçlar alınabilmektedir. Ancak toplam maliyet hesaplamaları sırasında üretim maliyetleri yanında montaj, ilk kurulum ve de sandviç yapı destek sitemlerinin de masrafları hesaba katılmalıdır (Tortoç 2009).

2.2. Farklı Dolgu Malzemeler

2.2.1. Köpük sandviçler

Köpük sandviçlerde en sık kullanılan malzeme, PVC ve Poliüretan köpüklerdir. Sıcağa mukavimdir, nispeten makul fiyatı ve farklı yoğunlukta çeşitleri vardır. PET köpükler polietilenden üretilirler. Aynı mukavemetteki PVC köpüğe göre daha ağırdır.

Köpük çekirdekler en sık kullanılan sandviç materyaldir. İnfüzyon uygulaması için delikli ve kanallı olanları mevcuttur. Hatta kaplanacak alanın şeklinde PVC ve Poliüretan köpük ürettirmek mümkündür Bu sayede boşluksuz ve mükemmel bir kaplama yapılabilir. Köpük sandviç kullanım alanları diğer sayfadaki fotoğraflarda gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Soğuk oda ve çatı paneli



Şekil 2.10. Frigorifik araç kasası



Şekil 2.11. Modüler kabin sistemleri



Şekil 2.12. Güneş enerjisi sistemleri



Şekil 2.13. Dekoratif elemanlar



Şekil 2.14. Teknik izolasyon boru

2.2.2. Ahşap sandviçler

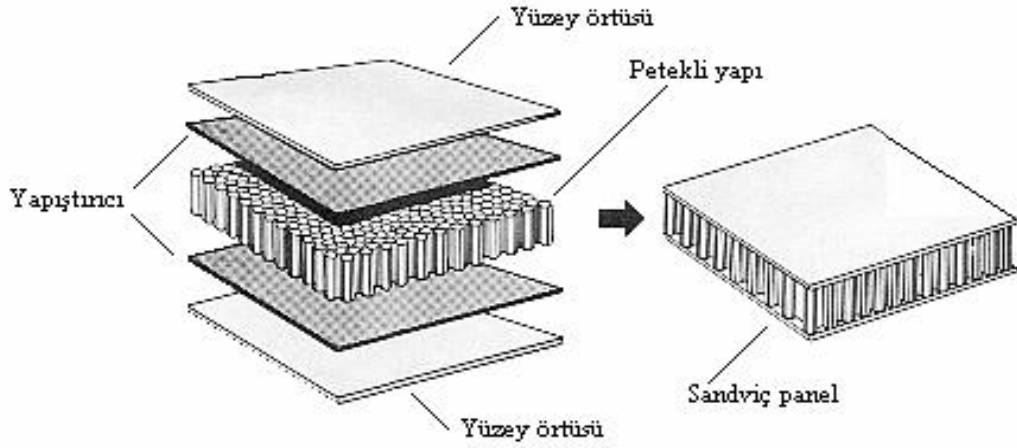
Bu grupta kontrplak ve Balsa'yı örnek verebiliriz. Fakat sandviç yapının en önemli özelliği olan hafiflik için en uygun ahşap Balsa ağacından yapılan çekirdektir. Balsa ağacı oldukça düşük yoğunluğa sahip (250kg/m^3) ve çok rijit bir materyaldir. Doğal bir malzemedir ve oldukça fazla kullanılan bir seçenektir. Olumsuz yanı ise daha düşük yoğunluklarda bir seçeneği olmamasıdır Ayrıca bir darbe anında ahşap su emeceği için tamir esnasında çok geniş bir alanı tamir etmek gerekir.



Şekil 2.15. Sandviç balsa

2.2.3. Bal peteği sandviçler

Bal peteği, form itibariyle ezilmeye çok mukavimdir. Bu şekilde üretilen birçok çekirdek materyal vardır. Bunlar plastic, alüminyum ve Aramid'dir. Plastik bal petekleri daha çok yapısal olmayan hafif paneller üretmekte kullanılır. Alüminyum petekler ise ağırlığına göre oldukça yüksek mukavemet sunarken düşük maliyete sahiptir (Bolat 2011).



Şekil 2.16. Bal petek sandviç panel ve yapıları

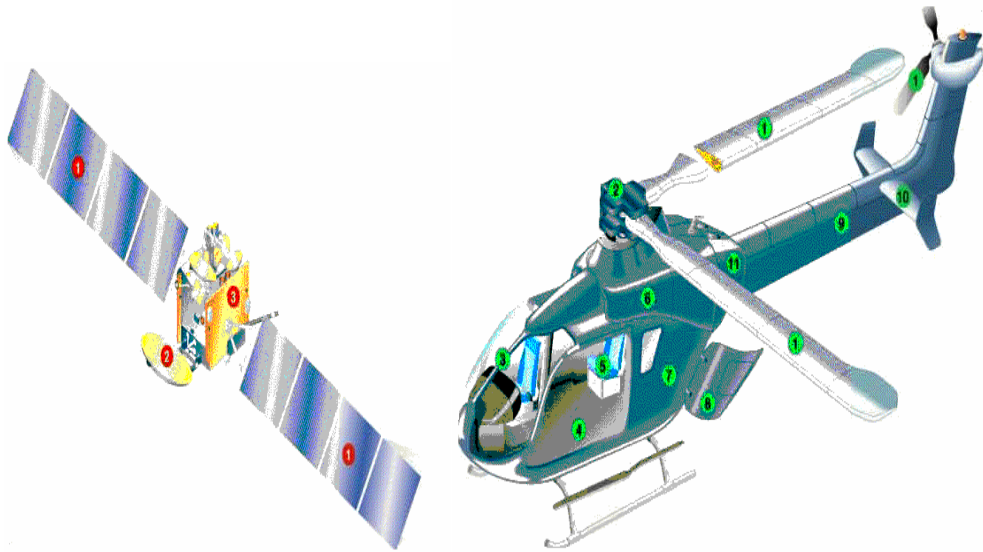
Bal peteği sandviç yapılar hafif malzemeler olmalarının yanında yüksek eğilme ve burkulma dayanımlarına sahip olduklarından dolayı birçok mühendislik yapısında sıkça kullanılmaktadır. Özellikle havacılık sanayinde uçak gövde ve kanatlarının büyük bir kısmı bu yapılardan oluşmaktadır. Uçakların başlıca kullanım alanları kargo ve yolcu taşımacılığıdır. Ticari ve insani ihtiyaçların artmasından dolayı; kargo ve yolcu uçaklarının kapasiteleri ve sefer sayıları giderek artmakta ve çalışma şartları daha ağır bir hale gelmektedir. Uçakların yapısının büyük bir kısmında kullanılan sandviç yapıların dayanımlarının bu gelişmelere paralel olarak iyileştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır (Solmaz and Kaman 2010).

Bal peteği sandviç yapıların bazı kullanım alanları:

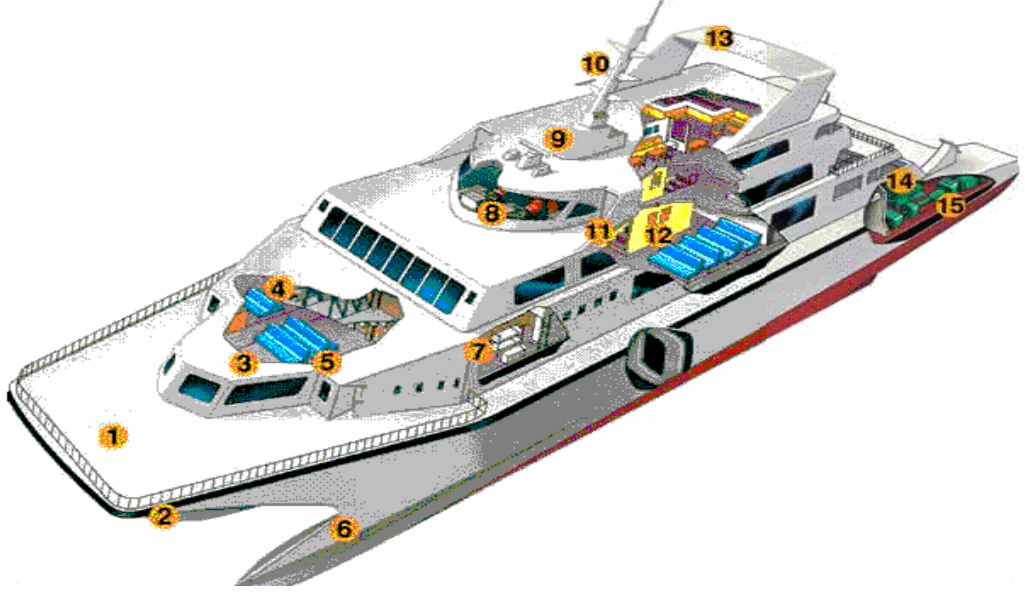
- Zemin plakası; Airbus 300/600 uçaklarında kullanılan takviyeli Polieterimid
- Uçak EAPS kapağı; karbon elyafı+PEEK+bal peteği sandviç (Yiğit 2010)



Şekil 2.17. Uçak teknolojisinde kullanılan kompozit malzemeler



Şekil 2.18. (devam)

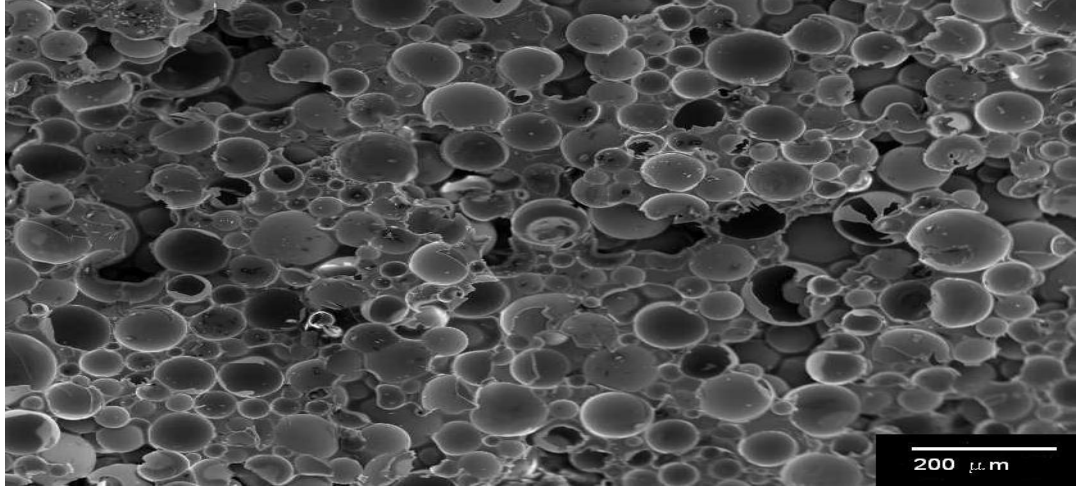


Şekil 2.18. Çeşitli petek yapılı kompozit uygulamaları

1..Kanat, 7.. Gövde, 8.. Kargo kapıları, 1. Güneş panelleri 9. Kuyruk:, 2. Yansıtıcı antenler 2. ve 6. Gövde dış kısmı, 4. Asma tavanlar 7. kamara bölmeleri, 9. Hava kalkanı: Sandviç Petekli kompozit Epoksi-karbon, cam elyaf petekli yapı 3. Gövde:: alüminyum petekli . yapı ve epoksi karbon kompozite

2.2.4. Sentetik köpük sandviçler (synthetic foam sandviç)

Sentetik köpükler bir dolgu ile sentezlenen metal, polimer, ya seramik matris ile iç boş parçacıkları, mikro balon denilen kompozit malzemelerdir. Bir fenolik epoksi ve ya polyester matrisine bağlanmış içi boş fenolik mikroküreler den oluşan hafif kompozit olduğu için bu terim ilk kez 1955 yılında, New York bakalit Company tarafından icat edildi. Bu maddelerin en büyük avantajlarından biri şekillerde değişebilir imkanındır. Matris malzemesi hemen hemen herhangi bir metal, polimer, veya seramik den seçilebilir. Mikrobalonlar, cam mikroküreler, cenospheres, karbon ve polimerlerlerden dahil olmak üzere, boyutları ve malzemeleri çeşitli olarak mevcuttur. . En yaygın olarak kullanılan ve çalışılan köpükler, cam mikro-küreler (epoksi ya da polimerlerlerde) ve cenospheres veya seramiklerdir (alüminyum da).



Şekil 2.19. Elektron mikroskop ile gösterilmiş sentetik köpük (mikrobalon ve epoksi karışımı)

2.3. Kompozit Sandviç Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

2.3.1. Avantajları

Kompozit malzemelerin birçok özellikleri metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik ızalasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Bu malzemelerin avantajlı olduğu bazı yönler:

2.3.1.a. Yüksek mukavemet

Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve

bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

2.3.1.b. Kolay şekillendirebilme

Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

2.3.1.c. Elektriksel özellikler

Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

2.3.1.d. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet

Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

2.3.1.e. Isıya ve ateşe dayanıklılığı

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

2.3.1.f. Kalıcı renklendirme

Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

2.3.1.g. Titreşim sönümlendirme

Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Kısaca kompozite sandviç malzemelerin özelliklerini sıralandırsak :

- Yüksek bükülme dayanımı ve rijitlik
- Hafif malzemelerden oluşması
- Uygun malzeme kombinasyonu ile düşük maliyet eldesi
- Termal yalıtım özelliği
- Ses Yalıtım özelliği
- Radar dalgalarına yakalanmaması
- Uygun aerodinamik yüzeyler oluşturabilmesi
- Yüksek hızlara dayanım

2.3.2. Dezavantajları

1. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
2. Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
3. Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.

4. Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassa imalattan söz edilemez.

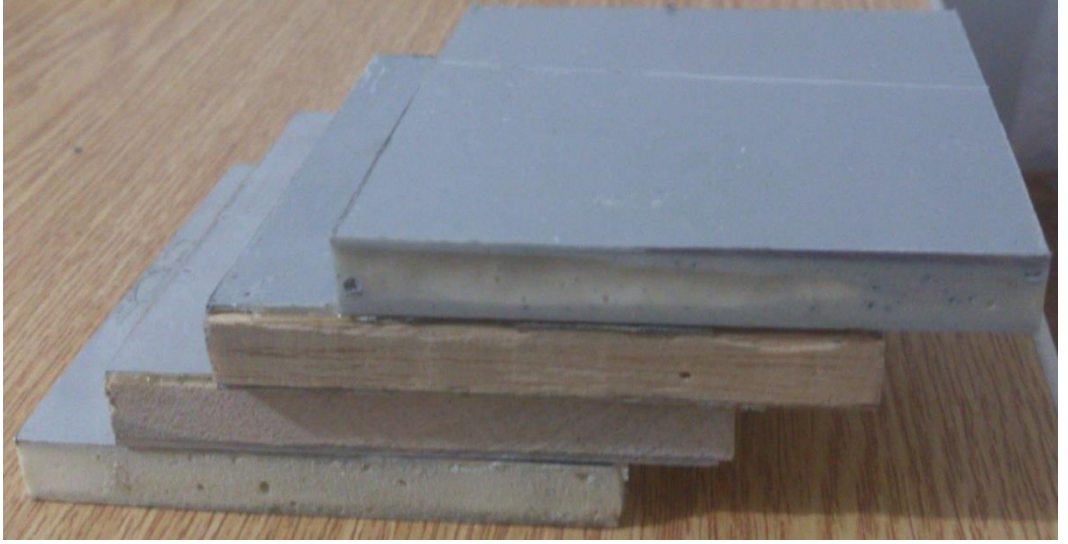
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, farklı dolgu Malzemelerden (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) ve yüzeyler olarak alüminyum ile elde edilen sandviç yapının dinamik analizi (titreşim ve darbe testi) deneysel ve nümerik olarak yapılmıştır. Farklı kalınlık ve dolgu malzemeler ile, birinci testde sandviç yapıların ankastre-serbest sınır şartlarındaki doğal frekansları, bunlara karışık gelen titreşim biçimleri ve sönüm oranları incelenmiştir. İkinci testde üretilen bu numuneler darbe testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar çeşitli grafikler ve numune resimleri (test sonrası) ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

3.1. Materyal

Deneysel çalışmada kullanılan numuneler sandviç kompozit yapılardır. Numunelerin alt ve üst yüzeyi alüminyum ve çekirdek malzemeler ise poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük den oluşmaktadır.

Parçaların birleştirilmesinde sandviç malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan ARALDİTE AW 106 TU ve HARDNER HV 953 U yapıştırıcıları kullanılmıştır. yapıştırma sonrasında belirli bir basınç altında oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve çalışma için hazır hale getirilmiştir. Üretilen numuneler şekil de gösterilmiştir.

Üretilen numuneler

Şekil 3.1. Farklı çekirdekli sandviç nümüneler (darbe testi için)



Şekil 3.2. Farklı kalınlıklarda ve farklı çekirdekli sandviç nümüneler (titreşim testi için)

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel analiz

Titreşim testi

İlk deneysel çalışmada bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi olan PULSE titreşim ölçüm sistemi ile yapılmıştır. Bu sistem çeşitli veri toplama üniteleri ve yazılımlardan oluşan modüler bir yapıya sahiptir. Deney sistemi şekil 3.3. de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deney düzeneği

Bu çalışmada deney numunesi üzerine belirli noktalardan darbe çekici vurulmuş , tepki ise lazer vibrometre ile ölçülerek yapılmıştır. Deney numunesinin titreşim cevabı aradaki transfer fonksiyonu (FCF) ME'Scope VES modal analiz yardımıyla elde edilmiştir.

Deneysel çalışmada 30 cm boyundaki deney nümüneleri 2 cm mesnetlenmiş ve kalan 28 cm parçaların orta noktalarına darbe çekici ile kuvvet uygulanarak cevap fonksiyonları pulse titreşim ölçüm sistemi ile alınmıştır.

Deneysel çalışmada uyarıcı kuvvetin oluşmasını sağlayan çekicinin numuneye tek bir noktadan ve düzgün vurulması önemlidir. Bu pulse titreşim ölçüm sistemi ekranındaki cevap fonksiyonunun doğru bir şekilde yansınmasını sağlayacaktır.

Darbe deneyi

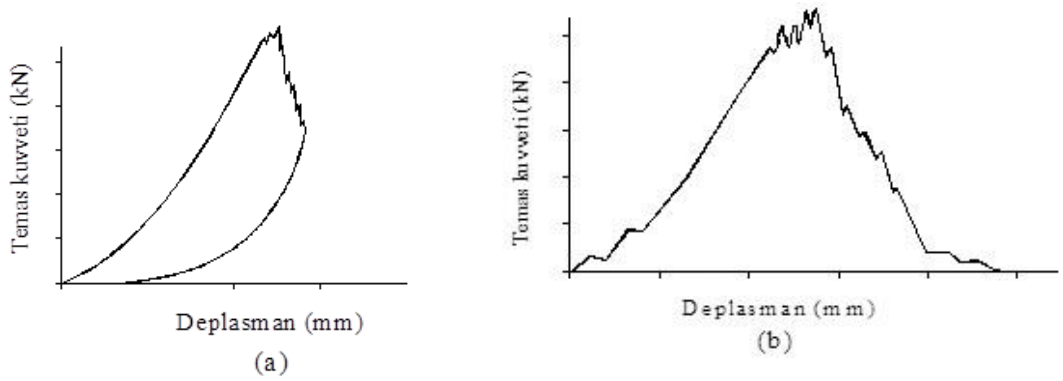
Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Darbe deneyinin genel olarak amacı, metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını, kuvvete göre deplasman (form) değişikliklerini ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmektir.

Bu testde hazırlanan nümüneler ağırlık düşürme esasına göre çalışan CEAST-Fractovis Plus, (Şekil) cihazında yapılmıştır. Cihaz ile küçük enerjilerden (2-3 J) büyük enerji (1800 J) değerlerine kadar test yapma imkânı vardır. Cihazın, ağırlığın numuneye çarptıktan sonra geri sıçrayıp (delinmeyen numuneler için) tekrar ikinci (veya daha fazla) kez çarpmasını engelleyen bir mekanizması (anti-reboundsystem) mevcuttur. Cihazın ortam fırını sayesinde testler -100°C ile $+150^{\circ}\text{C}$ arasında yapılabilmektedir. Testlerde 12.7 mm çapında küresel uca sahip bir darbe ucu kullanılmıştır. Kullanılan yük hücresinin (load-cell) kapasitesi 22.4kN'dur. Darbede düşürülen toplam kütle (darbe ucu, load-cellvsdahil) 5 kg'dır. Enerji değişimleri vurucu kütlenin yüksekliği değiştirilerek sağlanmaktadır.

Sistemde ayrıca yüksek enerjiler elde etmek için yay sistemi bulunmaktadır. Testlerde 100 mm x 100 mm boyutlarında kare numuneler kullanılmıştır. Vurucu ucun çarpma anındaki hızı bir hız sensörü ile ölçülür. Darbe testinde; çarpan uca bağlı olan kuvvet-ölçer (load-cell) yardımı ile kuvvet- zaman eğrisi elde edilir. Daha sonra cihazdan ilgili

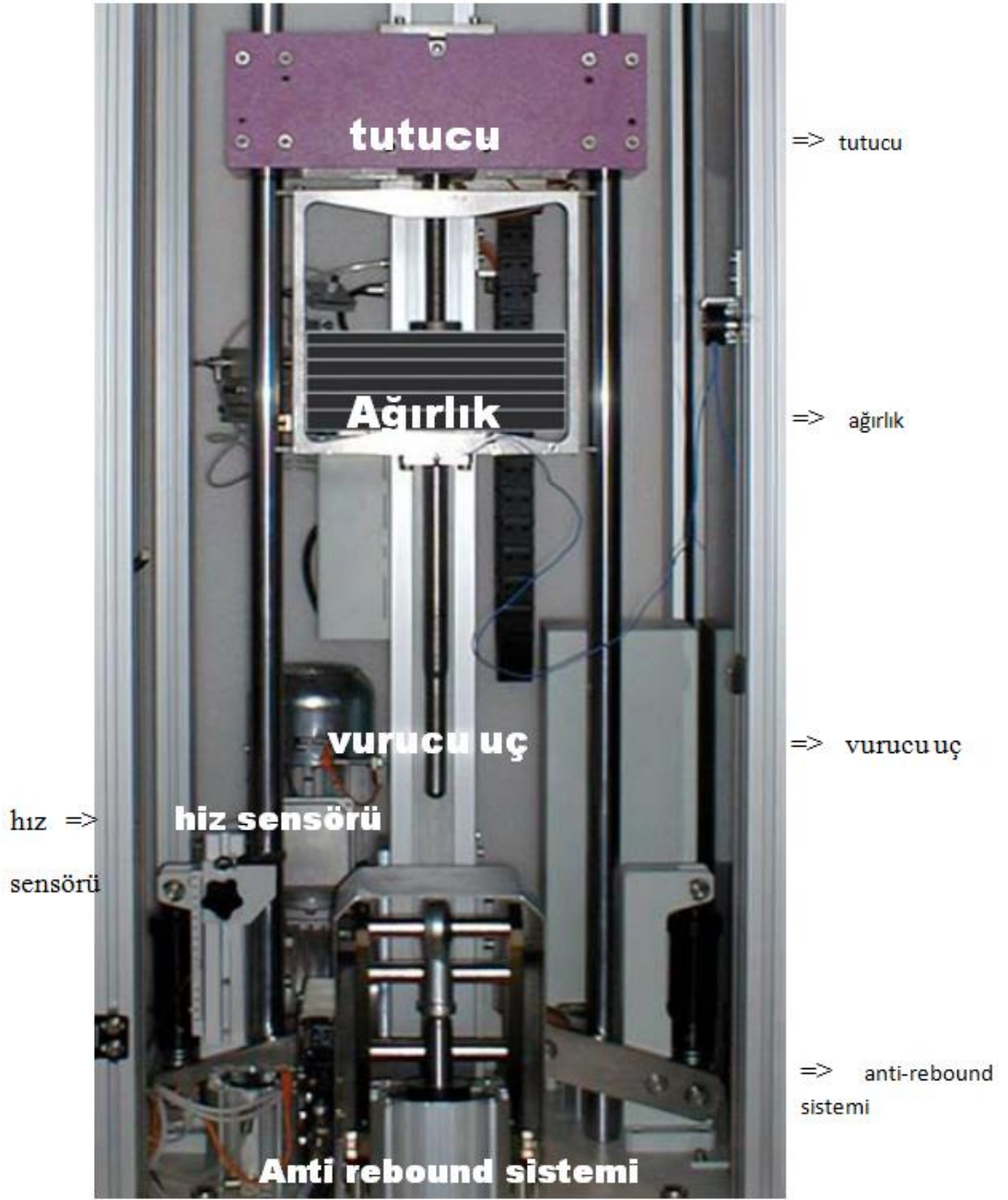
data (bir program vasıtası ile) çok çeşitli eğriler (kuvvet-deplasman, absorbe edilen enerji-zaman, hız-zaman, vb) ve veriler elde edilebilir. Darbe testlerinin yorumlanması da bu verilerden yararlanılarak yapılabilmektedir. Özellikle kuvvet-deplasman eğrileri darbe süresince malzeme cevabında meydana gelen değişimleri ve hasarları yorumlamak için çok önemli ipuçları içerir. Darbe enerjisi değerine bağlı olarak değişmekle birlikte, bu eğriler genellikle kapalı ve açık eğri olarak ortaya çıkar (Şekil 3.4).

Kapalı eğriler delinmemiş, açık eğriler ise delinme eşiğindeki veya delinmiş numunelerin hasar mekanizmalarını temsil ederler. Bu eğrilerin altındaki alan (eğri ile yatay deplasman eksenini arasındaki alan) bize darbe olası süresince numune tarafından absorbe edilen enerji değerini vermektedir. Darbe enerjisi ise düşen ağırlığın serbest bırakılmadan önce sahip olduğu potansiyel enerji olarak ifade edilebilir. Ayrıca, darbe enerjisine bağlı olarak absorbe edilen enerji değişimini ifade eden “enerji profili diyagramı” da bir malzemenin darbeli yüklere karşı direncini veya cevabını karakterize etmede kullanılabilen önemli bir gösterimdir.



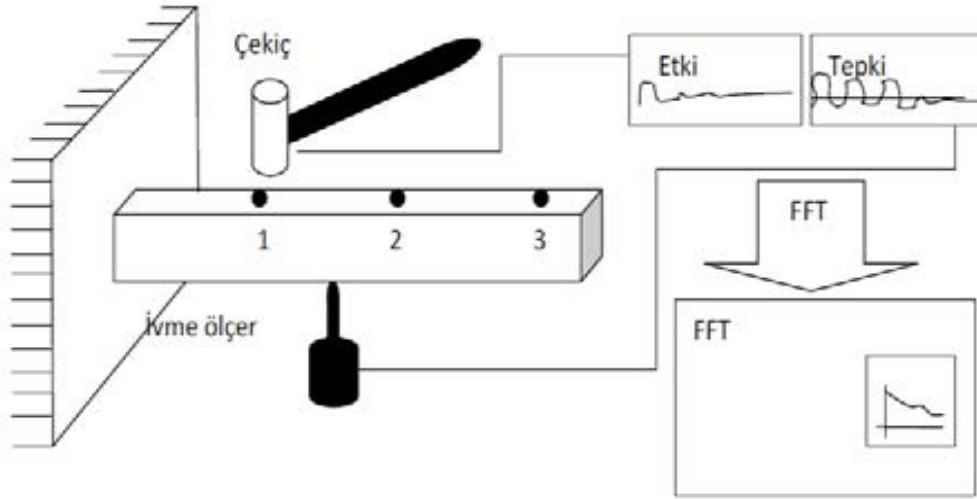
Şekil 3.4. Bir darbe olayında karşılaşılan eğri tipleri:
(a) kapalı eğri , (b) açık eğri

Bir darbe testini yorumlarken, kuvvet-deplasman grafiği, enerji profili diyagramı ve hasarlı (darbe sonrası) numunelerin çapraz olarak incelenmesi büyük katkılar sağlamaktadır.



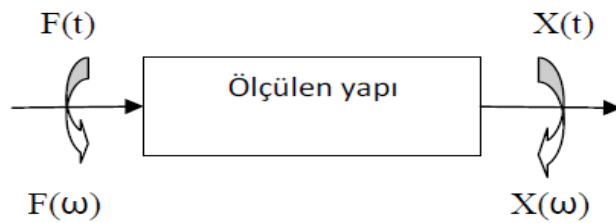
Şekil 3.5. CEAST-Fractovis Plus test cihazının ana parçaları

Titreşim Deney düzeneği



Şekil 3.6. Deney düzeneği (Dahil vd. 2011)

Programın Fourier dönüşümünün kullanılarak etki ve tepki fonksiyonları zaman ortalamasından frekans ortalamasına dönüştürülmektedir.



Şekil 3.7. Etki ve tepki fonksiyonlarının zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülmesi

Bir titreşim probleminin çözümünü bir girdi/çıkı ilişkisi olarak görebiliriz—burada kuvvet girdi titreşim ise çıktıdır. Eğer kuvveti ve titreşimi frekans tabanında gösterirsek(genlik ve faz) aşağıdaki ilişkiyi yazabiliriz:

$$X(\omega) = H(\omega) * F(\omega) \quad \text{or} \quad H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} \quad (3.1)$$

$H(\omega)$ frekans cevabı fonksiyonu olarak adlandırılır (aynı zamanda transfer fonksiyonu olarak da adlandırılır fakat teknik olarak çok doğru değildir) ve hem genlik hem de faz bileşenlerini (eğer kompleks sayı olarak gösterilirse reel ve sanal bileşenler) içerir. Frekans cevabı fonksiyonunun (FRF-Frequency Response Function) genliği daha önce kütle-yay-sönüm modeli için gösterilmişti.

$$|H(\omega)| = \left| \frac{X(\omega)}{F(\omega)} \right| = \frac{1}{k} \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, \quad r = \frac{f}{f_n} = \frac{\omega}{\omega_n} \quad (3.2)$$

Frekans davranış fonksiyonları kullanılarak yapının doğal frekansları mod şekilleri ve sönüm oranları belirlenir (Dahil vd. 2011).

Üretilen numuneler üzerindeki deneysel çalışmalar PULSE titreşim ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel bulguların doğrulunu test etmek amacıyla numeric analiz gerçekleştirilmiştir. Numerik analiz ANSYS paket programıyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Nümerik analiz

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal metoddur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de başarı ile kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde bir çok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metodlardan birisi olmuştur.

Metodun değişik mühendislik alan için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir.

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşıması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Elde bulunan konvansiyonel matematiksel araçların kesin sonucu, hatta yaklaşık bir sonucu dahi bulmakta yetersiz kalması durumunda ise sonlu elemanlar metodu kullanılacak tek metod olmaktadır (Arkan 2010).

Özel problemlerin çözümü için genel bir programın kullanılabilmesi, sonlu elemanlar metodunun güçlü ve çok amaçlı bir araç olmasına neden olmuş ve çok sayıda genel amaçlı sonlu elemanlar program paketi geliştirilmiştir. Bu paketlerden bazıları oldukça genel amaçlı olup, değişik mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümü için çok az veya hiç bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. Süper bilgisayarların gelişmesi, sonlu elemanlar teknolojisinin de gelişmesine neden olmuş, bu tip bilgisayarların özelliklerinden tümüyle yararlanabilmek için paralel sayısal algoritmalar, programlama stratejileri ve programlama dilleri geliştirilmiştir. Günümüzde düşük fiyatlı mikrobilgisayarların yaygınlaşması ile de birçok sonlu elemanlar program paketi mikrobilgisayarlar üzerinde de çalışabilecek şekilde adapte edilmiş veya geliştirilmiştir. Ucuz olmalarına, kolay kullanılabilir olmalarına karşılık, daha büyük sistemler ile kıyaslandığında, mikrobilgisayarların düşük hesaplama hızları, sınırlı bilgi depolama kapasiteleri ve genellikle aynı anda tek iş yapabiliyor olmaları gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Arkan 2010).

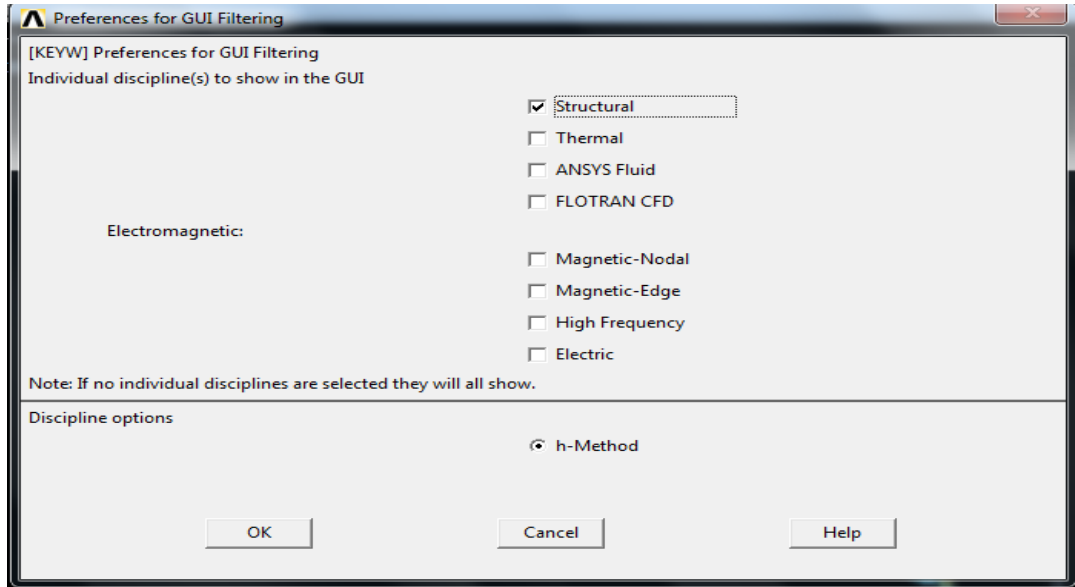
ANSYS paket programında bunlardan biridir. Bu program kullanılarak modelin tasarlanması, tanımlı geometrik yapıya sahip parçalara yüklenme yapılması, mukavimetre analizleri, farklı sıcaklıklarda termodinamik analizler ve dinamik analiz (doğal frekans,

sönüm değeri ve ...) yapılabilmektedir. Bu sayede imalat öncesinde gerekli düzeltmeler yapılarak hem emniyet kontrol edilmiş olur hem de maliyet minimum edilmiş olur.

3.2.3. ANSYS program ile sandviç kompozit yapının modellenmesi

3.2.3.a. Analiz tipinin belirlenmesi

Main menu > preferences'den structural (yapısal analiz) seçilir.



Şekil 3.8. Analiz tipinin belirlenmesi

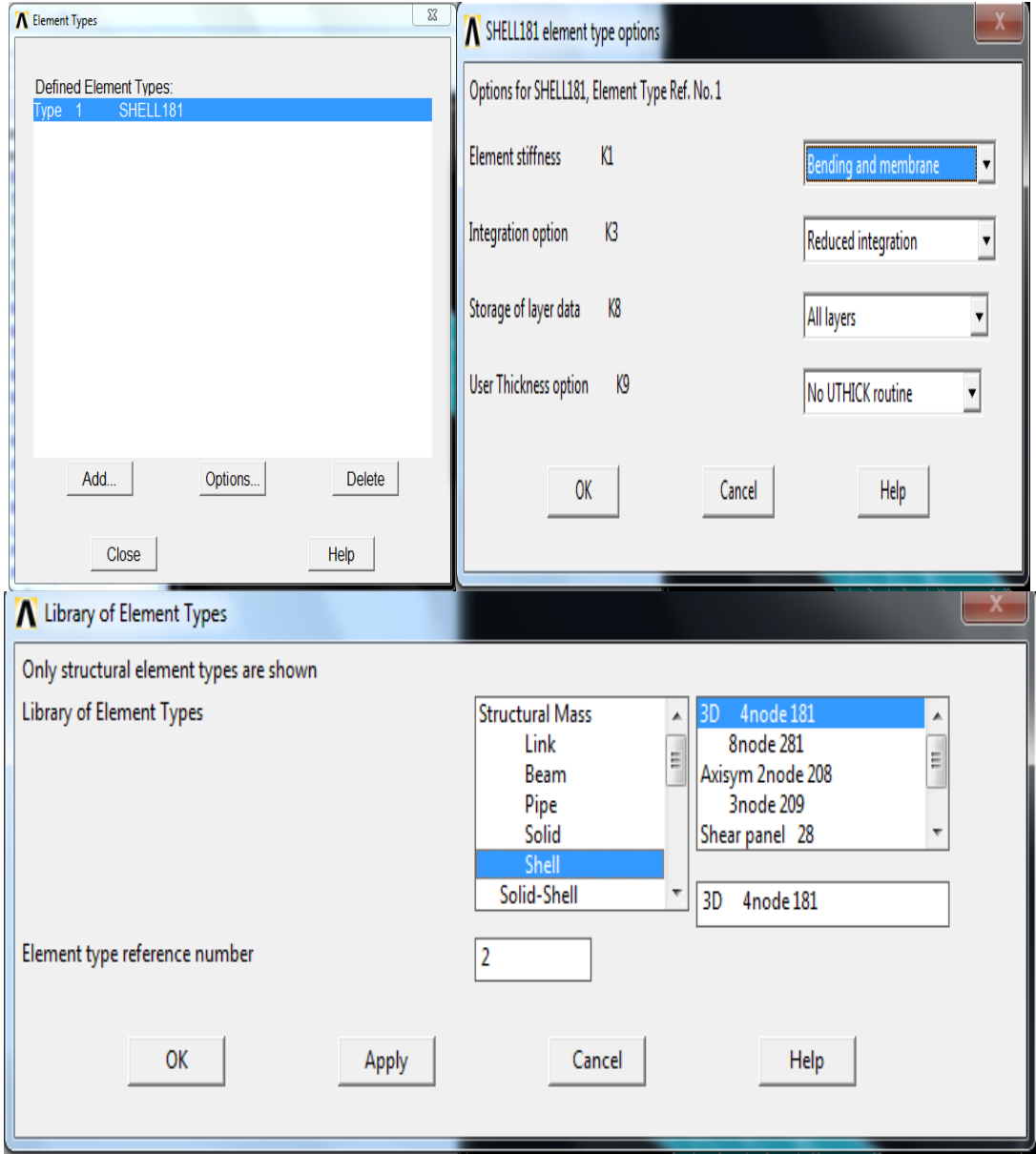
3.2.3.b. Eleman tipi ve özellikleri

Eleman tipi olarak çekirdek malzeme, alt ve üst tabakalar Shell 181 (3D 4nod 181) seçilir:

Main menu > Preproccer > Element Type > Add / Edit / Delete seçilir. Burdan açılan pencerede add seçilir ve istenilen malzeme tipleri seçilir.

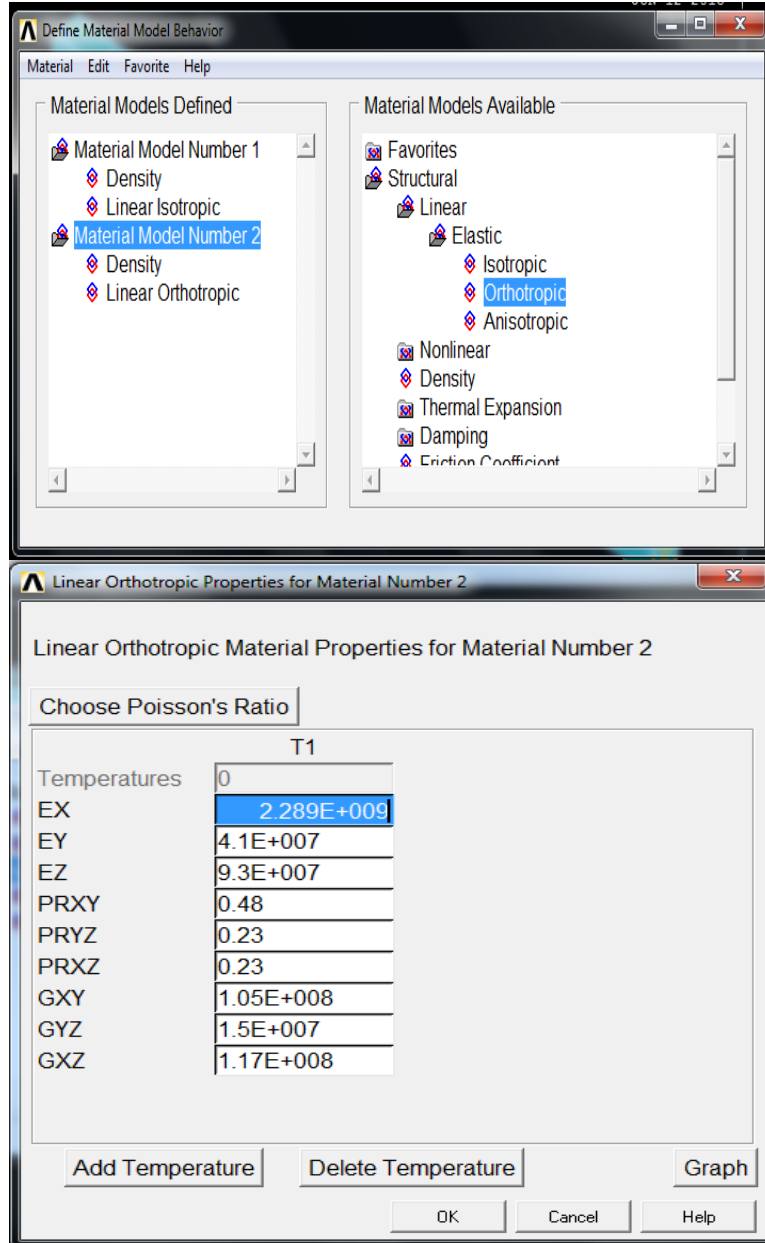
Ve aynı zamanda:

Main menu > Preproccer > Element Type > Add / Edit / Delete /Option /Storage of layer data k8 /All layers



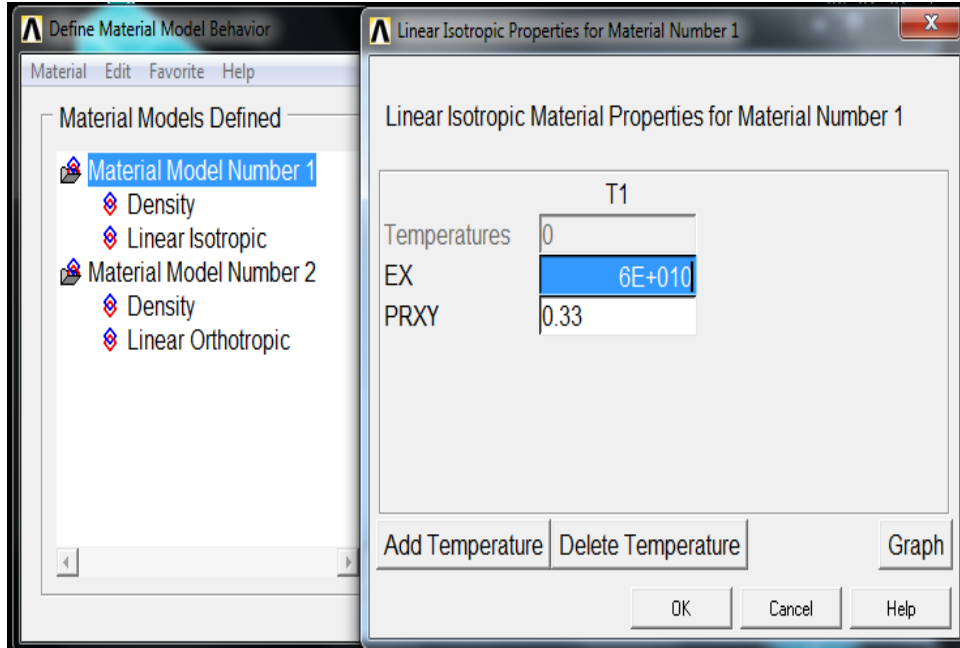
Şekil 3.9. Eleman tipinin belirlenmesi

Ardından elemanlara ait özellikler belirlenir. Main menu > preprocessor > material props > material models seçilir. Açılan ekranda uygun yerlere malzeme özellikleri atanır ve malzemenin bir çok mekanik özelliğide bu bölümde girilir.



Şekil 3.10. malzeme özelliklerinin girilmesi (1)

Burada EX, EY ve EZ malzemenin elastisite modülleri PRXY, PRYZ ve PRXZ malzemenin poisson katsayısı ve GXY, GYZ ve GXZ de kayma modülleridir.

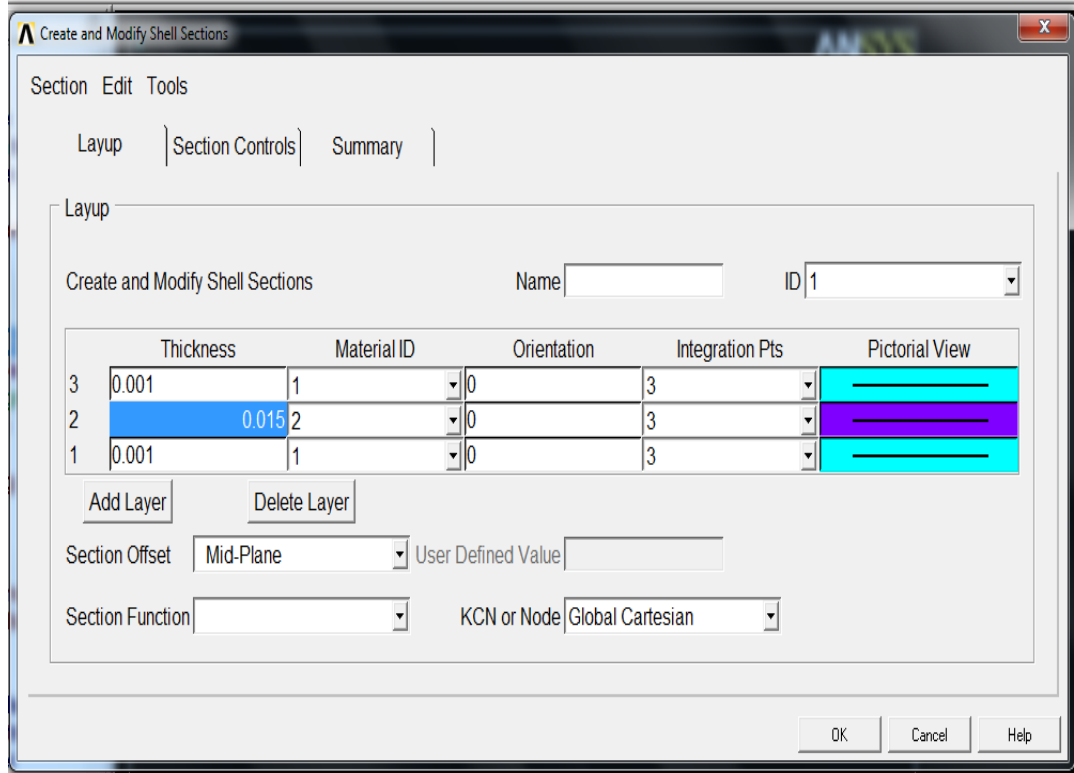


Şekil 3.11. Malzeme özelliklerinin girilmesi (2)

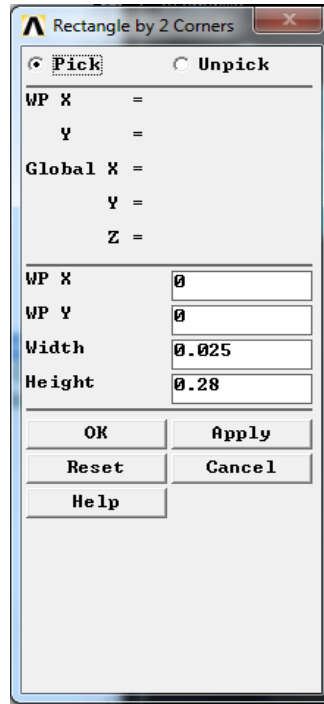
3.2.3.c. Kompozit malzemenin tabaka sayısı ve kalınlığının girilmesi

Deneyde kullanılan farklı iç dolgu malzemeleri (çekirdekler) farklı kalınlıklarda (7mm, 10mm, 15mm) ama üst ve alt yüzeyler alüminyum sabit bir kalınlıktadır (1mm).

Main menu > preprocessor > sections > shell > lay-up > add /edit menüleri izlenir ve açılan pencerede istenilen veriler girilir.



Şekil 3.12. malzemenin tabaka sayısı ve kalınlığı



Şekil 3.13. modelin oluşturulması

3.2.3.d. Modelin oluşturulması

İlk önce koordinatları metre cinsinden bir rectangle (dikdörtgen) oluşturulur.

Main menu > Preprocessor > Modeling > Create > Area > Rectangle > by 2 corners



Şekil 3.14. Alanın oluşturulması

Ardından modeli üç boyutlu yapmak için :

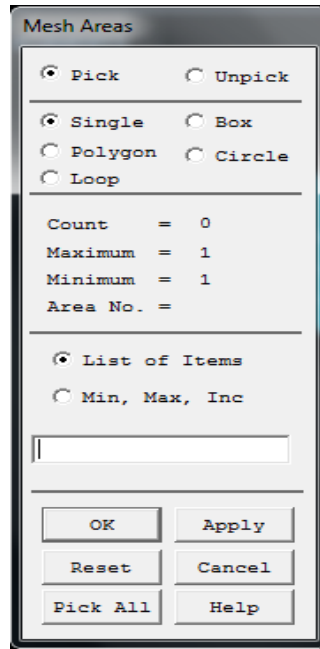
PlotCtrls > Style > Size and shape > Display of element > on menüsü izlenir.

3.2.3.e. Modelin elemanlara ayrılması

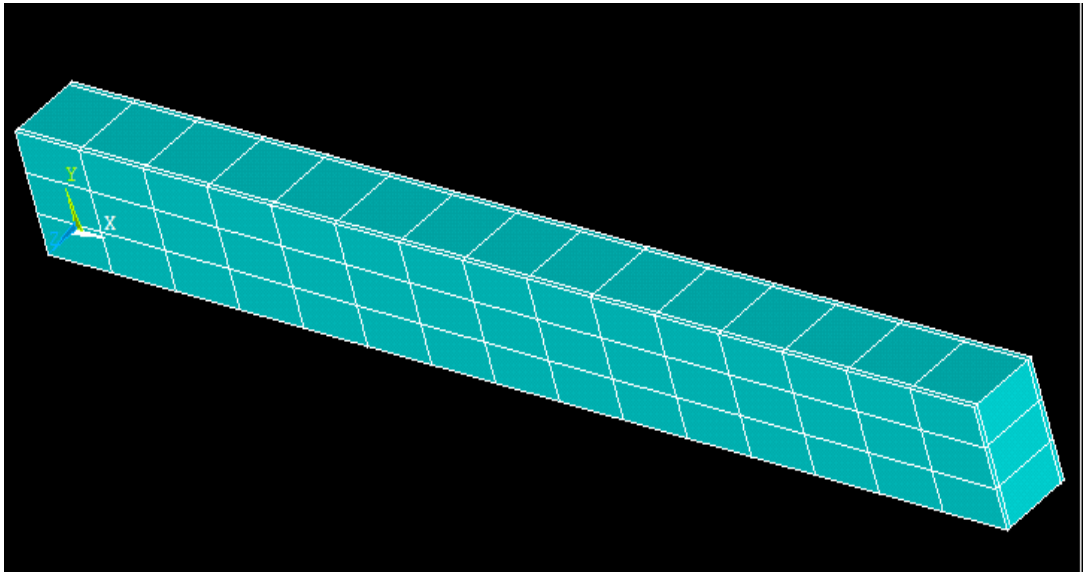
Modeli mesh yapmak için :

Main menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Area >

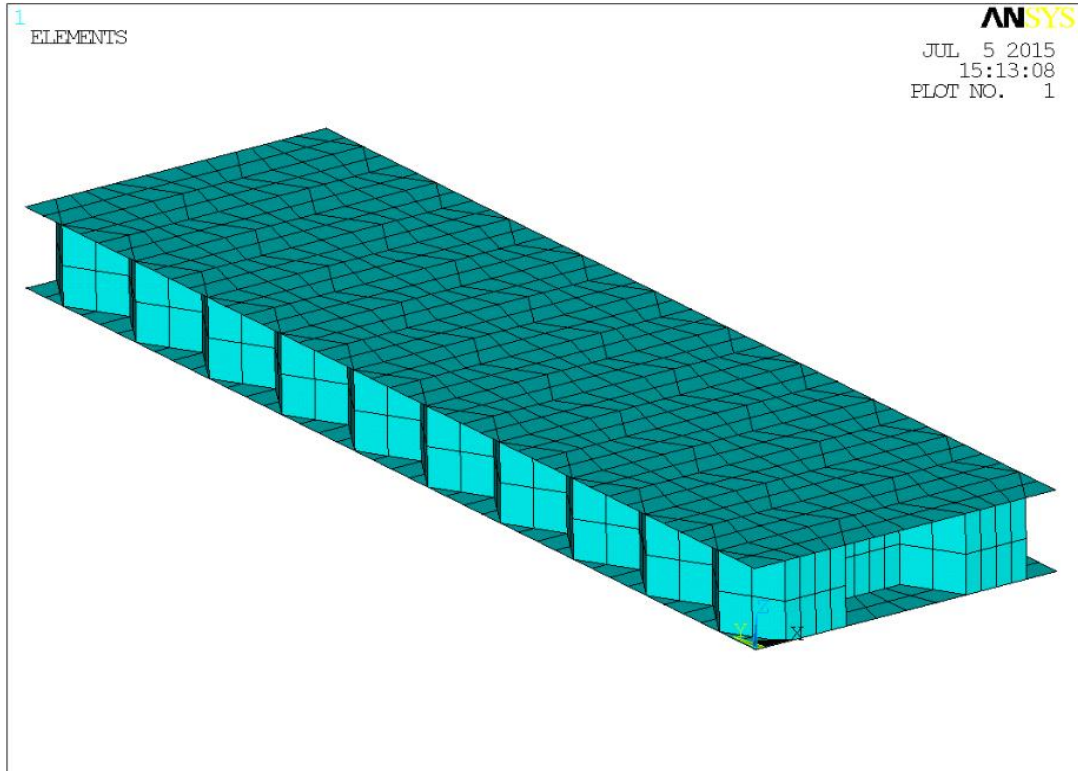
Free menüsü izlenir.



Şekil 3.15. Mesh menüsü



Şekil 3.16. Sandviç yapının elemanlara ayrılmış hali

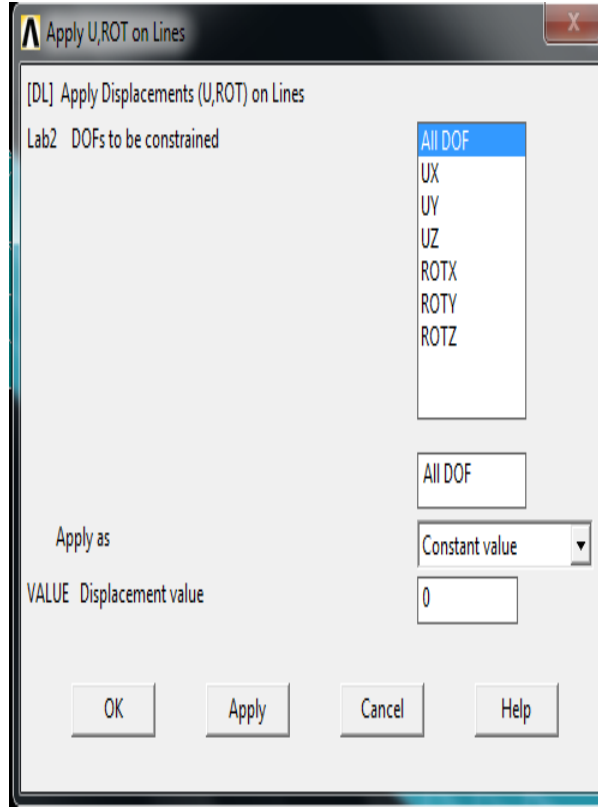


Şekil 3.17. bal petekli sandviç yapının elemanlara ayrılmış hali

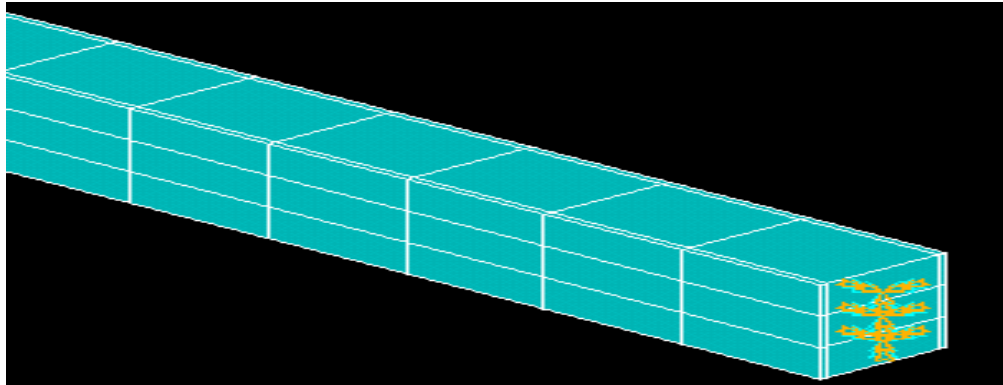
3.2.3.f. Sınır şartlarının uygulanması

Deneysel çalışmada numunelerin ankastre-serbest sınır şartlarındaki dinamik özellikleri incelenmişti. Aynı şekilde de ANSYS modelinde modelin bir ucuna ankastre sınır şartı uygulanmıştır.

Main menu > Preprocessor > Loads > Define > Apply > Structural > Displacement > On Line menüsü izlenir. Mesnetlenmek istenilen yüzey seçilir. Çıkan pencerede ALL DOF seçilerek mesnetleme işlemi tamamlanır.



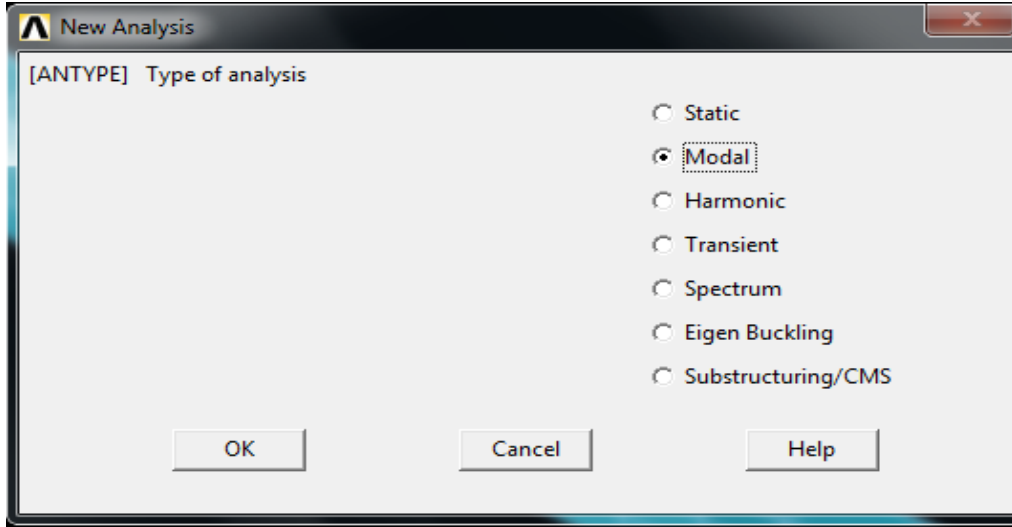
Şekil 3.18. sınır şartlarının uygulanması (1)



Şekil 3.19. sınır şartlarının uygulanması (2)

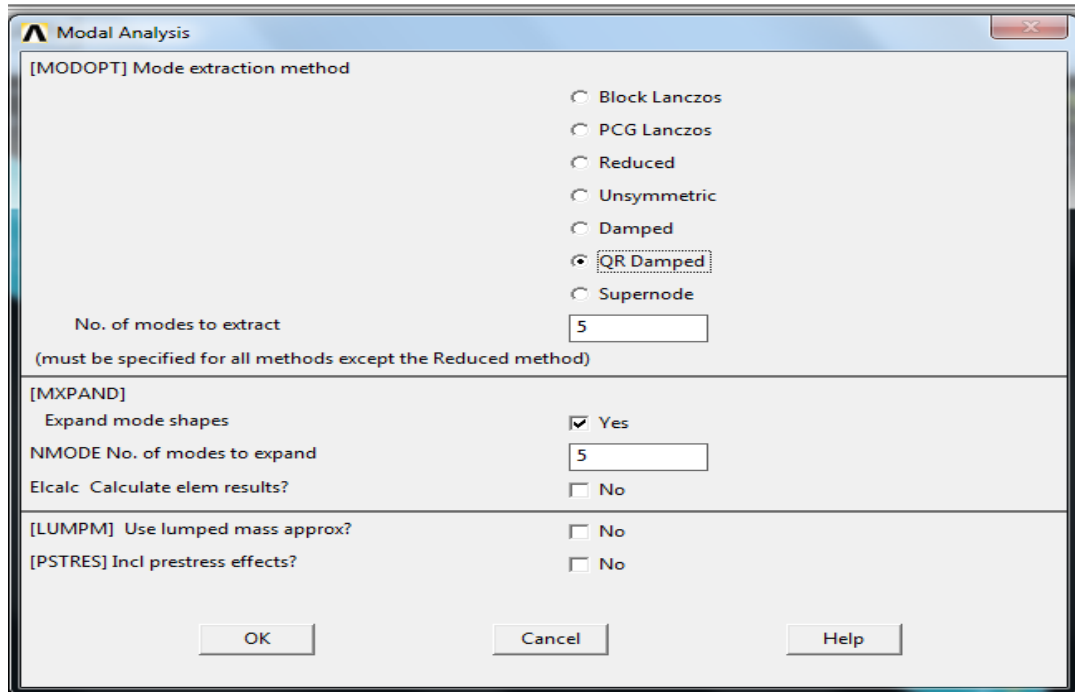
3.2.3.g. Çözümün yapılması

Solution > Analysis type > new analysis > “ Modal ” analiz seçilir.



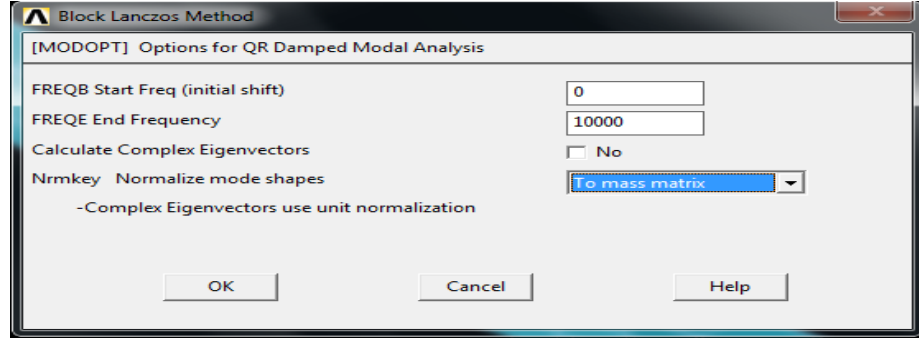
Şekil 3.20. Analiz tipinin seçilmesi

Solution > analysis type > analysis option seçilir. Burada analiz metodu olarak QR damped seçilir. Ardından no. of modes to extract ve NMODE değerleri girilir.



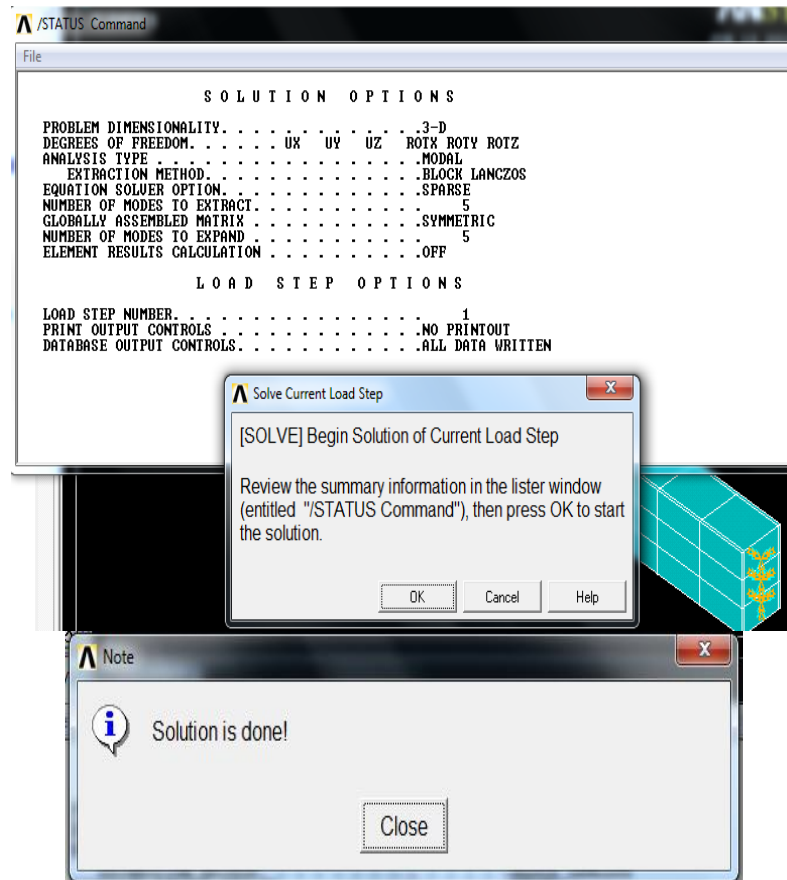
Şekil 3.21. modal analiz özelliklerinin girilmesi

Açılan pencerede FREQE değeri girilir. Bu sayede modal analiz için gerekli kriterler belirlenmiş olur.



Şekil 3.22. Modal analiz özelliklerinin girilmesi

Solution > Solve > Current LS “ok” Seçenekleri tıklanarak modal analizi tamamlanır.



Şekil 3.23. modal analiz işlemi tamamlandı

3.2.4. Nümerik modal analiz

Nümerik modal analiz yapıya ait hareketdenklemini kullanılarak yapılmaktadır.

Sönümsüz çok serbestlik dereceli bir sistem için bu hareket denklemi: (3.3)

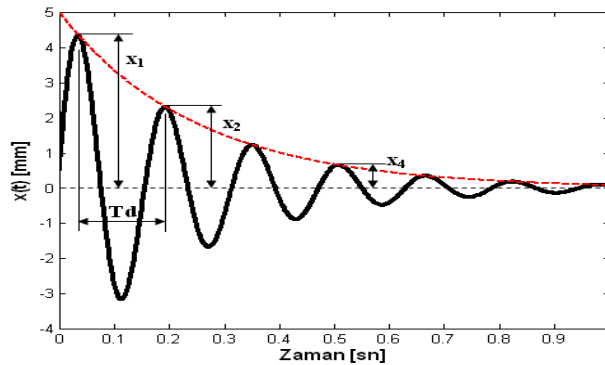
$$[m] \{\ddot{x}(t)\} + [k] \{x(t)\} = \{0\} \quad (3.3)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada $[m]$ ve $[k]$ kütle ve rijitlik matrislerini, $\{\ddot{x}(t)\}$ ve $\{x(t)\}$ zamana bağlı ivme ve yer değiştirme vektörlerini göstermektedir. Bu denklemin çözümünden serbestlik sayısı kadar doğal frekans ($\omega_1 \omega_2 \omega_3 \dots \omega_n$) elde edilir.

Doğal frekansların küçükten büyüğe sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans sistemin temel frekansıdır. Bu frekansa karşılık gelen mod şekli ise sistemin 1. modu olarak tanımlanır.

3.2.5. Logaritmik azalma

Salınımlı titreşim cevabı üzerinde ard arda gelen iki tepe noktasının birbirine oranının logaritmasını (doğal logaritma) Logaritmik azalma (Logarithmic Decrement) olarak tanımlar ve aşağıdaki şekilde ifade edersek :



Şekil 3.24. Genlik zaman grafiği

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \left(\frac{e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi)}{e^{-\zeta\omega_n(t+T_d)} \sin(\omega_d(t+T_d) + \phi)} \right) \quad (3.4)$$

Sinüs fonksiyonu için t anındaki değer ile t+T_d anındaki değerler eşit olacağı için ifade aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{e^{-\zeta\omega_n t} e^{-\zeta\omega_n T_d}} = \ln e^{\zeta\omega_n T_d} = \zeta\omega_n T_d \quad (3.5)$$

Sönümlü doğal periyot $T_d = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$ olduğu için

$$\delta = \frac{\zeta\omega_n 2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \text{ olarak elde edilir.} \quad (3.6)$$

$\delta = 2\pi\zeta$ ve sisteme ait sönüm oranı $\zeta = \frac{\delta}{2\pi}$ e lde edilebilir.

Tam ifade kullanıldığında ise sisteme ait sönüm oranı, deneysel olarak elde edilmiş logaritmik dekremen değeri kullanılarak:

$$\delta^2 (1 - \zeta^2) = 4\pi^2 \zeta^2 \quad \Rightarrow \quad \delta = \frac{\zeta\omega_n 2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

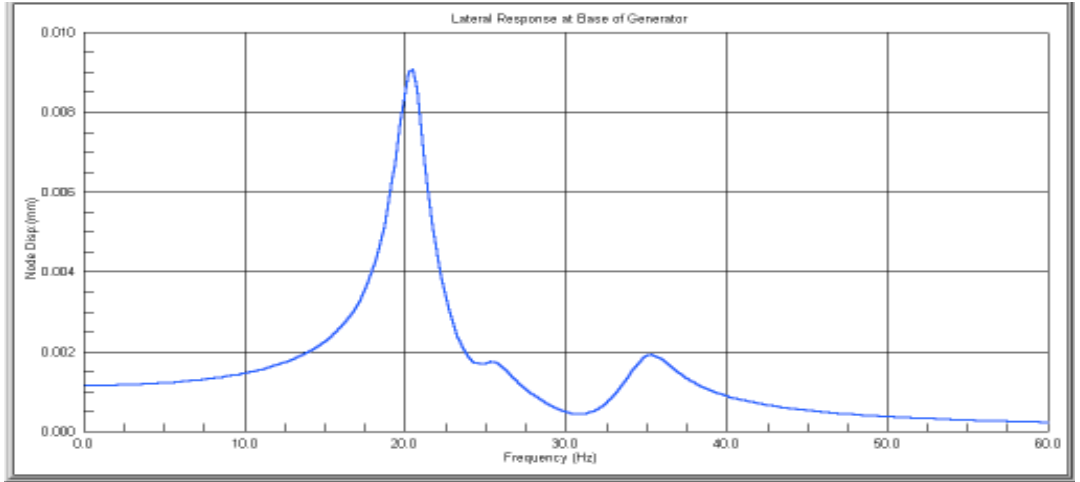
$$\delta^2 = (\delta^2 + 4\pi^2) \zeta^2 \quad \Rightarrow \quad \zeta = \sqrt{\frac{\delta^2}{\delta^2 + 4\pi^2}}$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + 4\pi^2}} : \text{ olarak elde edilebilir.} \quad (3.7)$$

3.2.6. Harmonik analiz

Şekil de görüldüğü gibi örnek bir harmonik cevap fonksiyonu incelendiğinde doğal frekansa karşılık gelen genlik değeri (Q) kalite faktörü olarak tanımlanır. Q değeri $\sqrt{2}$ ye bölüldüğü takdirde yeni bir genlik değeri elde edilir. Harmonik cevap fonksiyonunda bu genlik değerine karşılık gelen iki ayrı frekans değeri vardır. Bu değerler aşağıda verilen denklem de yerine yerleştirildiği zaman sistemin sönüm oranı belirlenir.

$$w_2 - w_1 = w_n 2\zeta \quad (3.8)$$



Şekil 3.25. Harmonik analiz cevap örneği

Pulse titreşim ölçüm sistemiyle deneysel olarak numuneye ait frekans davranış fonksiyonunun (FRF-Frequency Response Function) elde edilmesiyle sistemin hem frekansları hemde sönüm oranları elde edilmiştir. Deneysel çalışmanın ardından ANSYS paket programıyla harmonik analiz yapılmış ve elde edilen harmonik cevap fonksiyon kullanılarak sistemin sönüm oranı bulunmuştur.

Elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

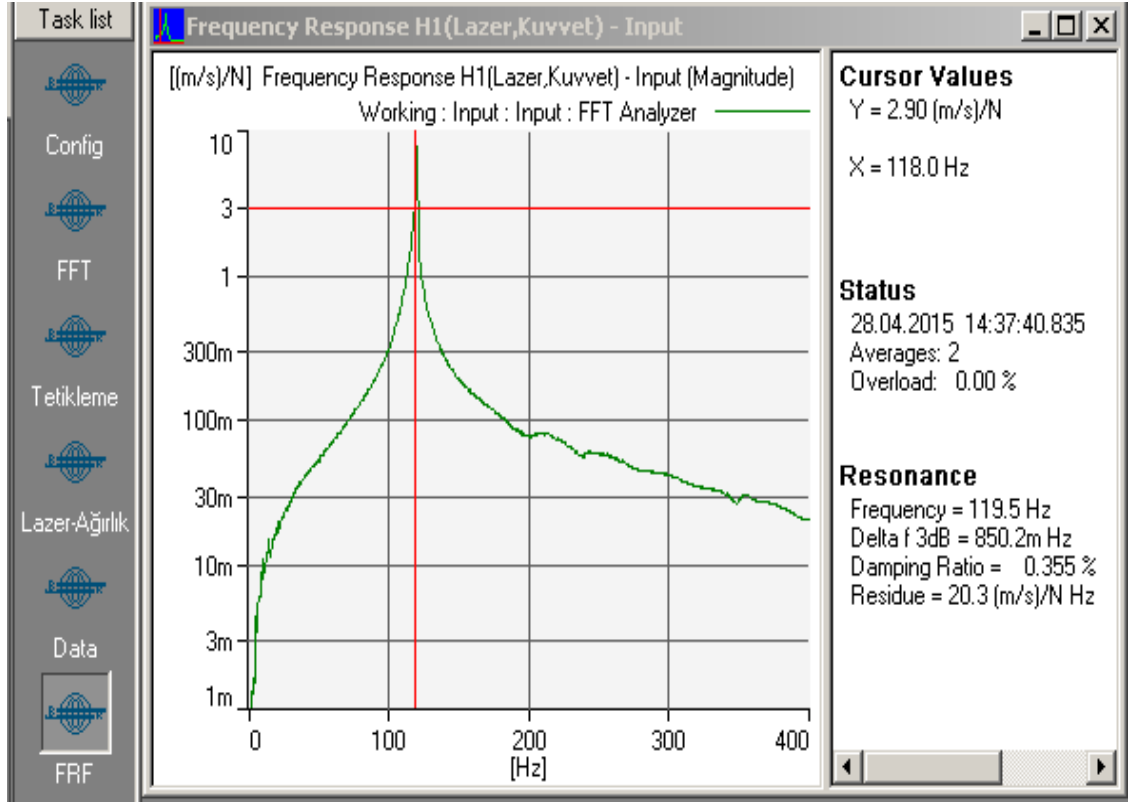
Yapılan bu çalışmada sandviç kompozit malzemelerin dinamik analizi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Titreşim testleri için yapılan Deneysel çalışmada kullanılan çekirdek numunelerin kalınlıkları sırasıyla (h) 7 mm, 10 mm, 15 mm ve darbe testinde kullanılan çekirdek nümünelerin kalınlığı 10 mm olan balsa, bal peteği, poliüretan köpük ve sentetik köpük kullanılmıştır. Alt ve üst yüzeyler için sabit kalınlığı $t_1 = t_2 = 1$ mm kullanılmıştır.

Üretilen alüminyum malzemeli farklı çekirdek dolgulu sandviç yapıların darbe testi ile ilk üç doğal frekans ve sönüm oranlarından elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar Ek-1 ve Ek-2’de verilmiştir. Titreşim ölçümleri şekilde gösterildiği gibi ankastre-serbest sınır şartlarında yapılmıştır. Titreşim deneylerinde kullanılan numunelerin hepsinde $a=30$ cm , $b=2.5$ cm ve darbe numunelerinde $a=b=10$ cm’dir. Deneysel çalışma sırasında (titreşim testi için) nümünelerde 2 cm’lik mesnet payı bırakılmış ve deneyler bu şekilde yapılmıştır.

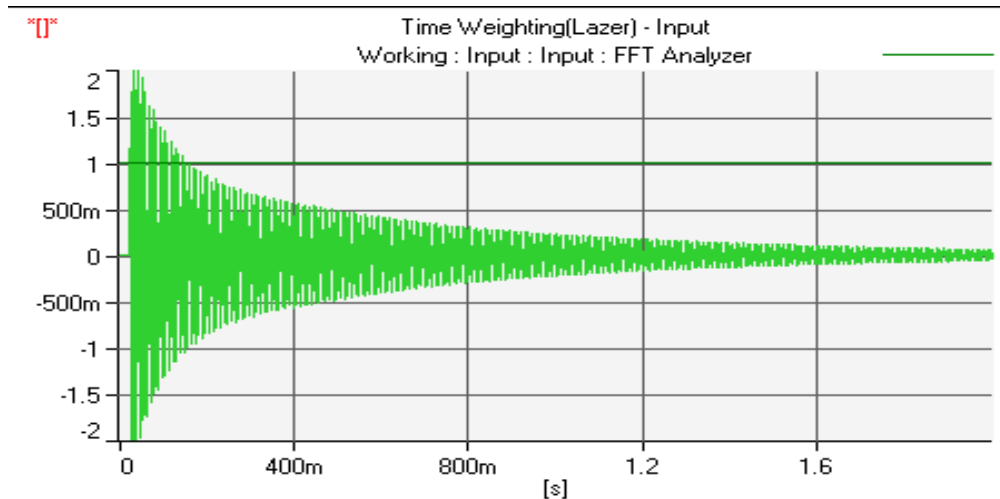


Şekil 4.1. Sandviç kompozite yapının boyutlandırılması

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de 10 mm kalınlığı olan poliüretan köpük sandviç yapının pulse titreşim ölçüm sistemiyle elde edilen FRF grafiği ve 7 mm kalınlığı olan bal petek sandviç yapının genlik zaman grafiği verilmiştir.

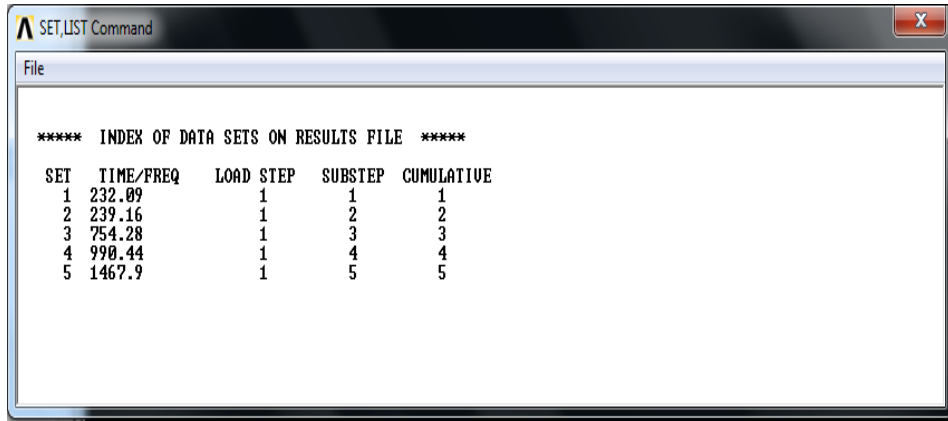


Şekil 4.2. Çekirdek malzemesi (poliüretan köpük) 10 mm kalınlıkta alüminyum yüzeyli sandviç malzemenin ankastre-serbest sınır şartındaki 1.doğal frekansını gösteren FRF grafiği gösterilmektedir



Şekil 4.3. Çekirdek malzemesi bal petekli 7 mm kalınlıkta alüminyum yüzeyli sandviç malzemenin ankastre-serbest sınır şartındaki genlik-zaman grafiği gösterilmektedir

Deneysel çalışmanın tamamlanmasının ardından nümerik çalışmaya geçilmiştir. Nümerik çalışma için yöntem kısmında anlatılan ANSYS paket programı kullanılmıştır. Çekirdek (iç dolgu malzemelerin: poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Harmonik analiz için gerekli olan sandviç yapıyı oluşturan elemanların sönüm oranları Ek-1 ve Ek-2’de deneysel olarak belirlenmiştir.



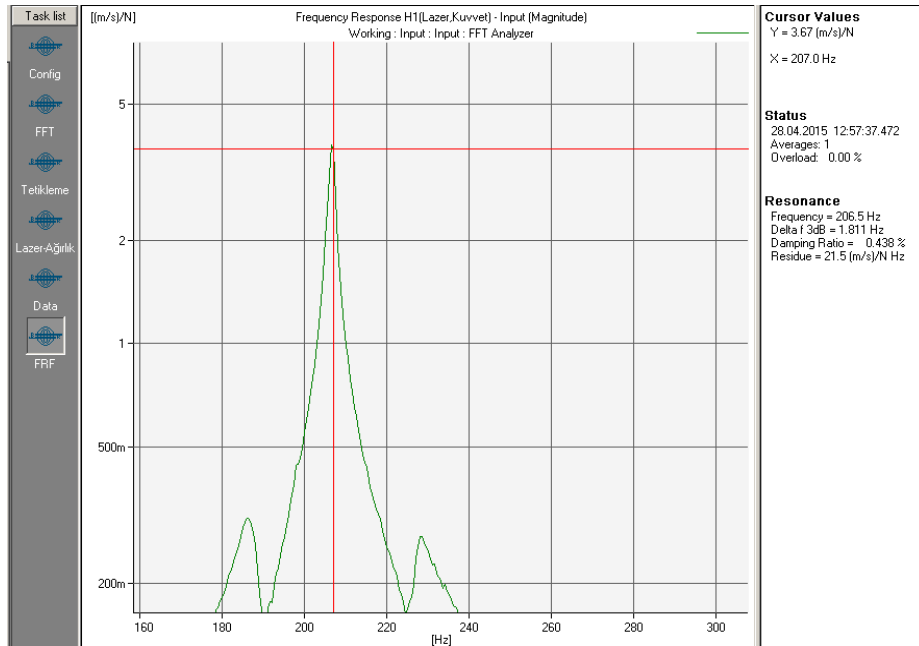
SET,LIST Command

File

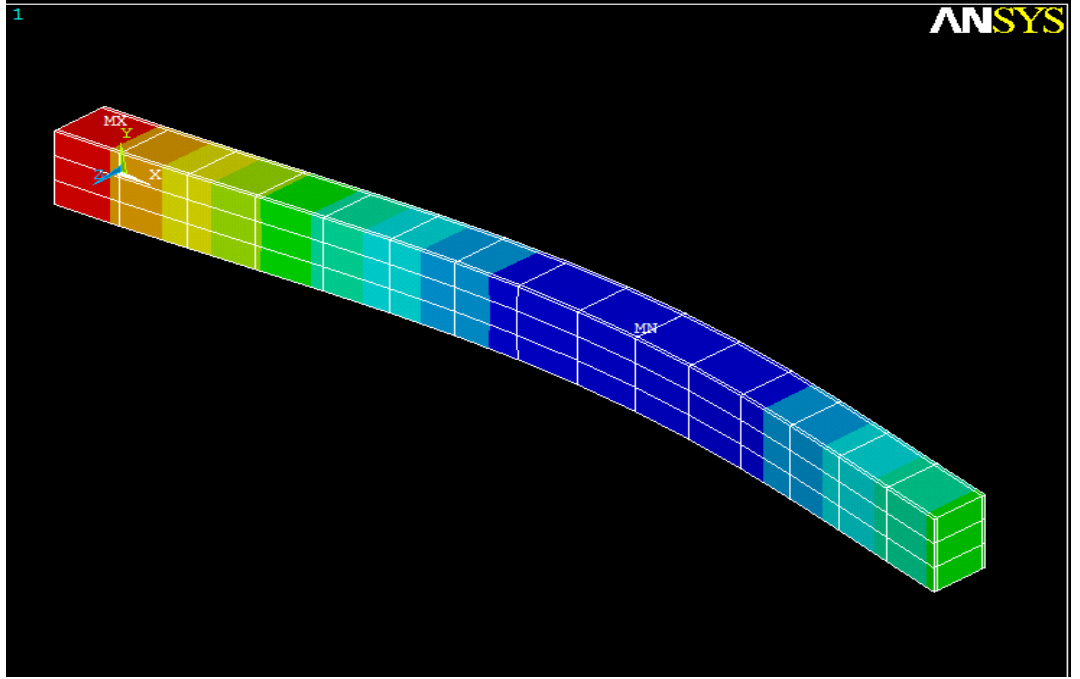
***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	232.09	1	1	1
2	239.16	1	2	2
3	754.28	1	3	3
4	990.44	1	4	4
5	1467.9	1	5	5

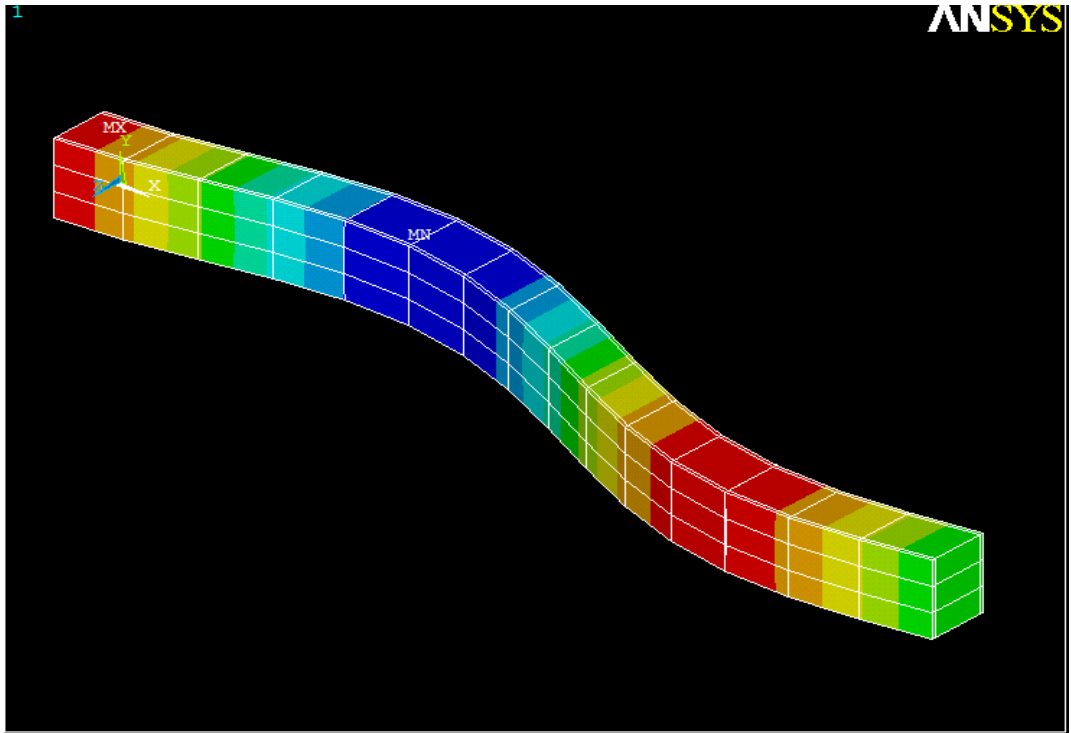
Şekil 4.4. ANSYS programında alüminyum yüzeyli balsa çekirdekli (15mm) kalınlığında sandviç yapının ilk 5 doğal frekansı gösterilmektedir



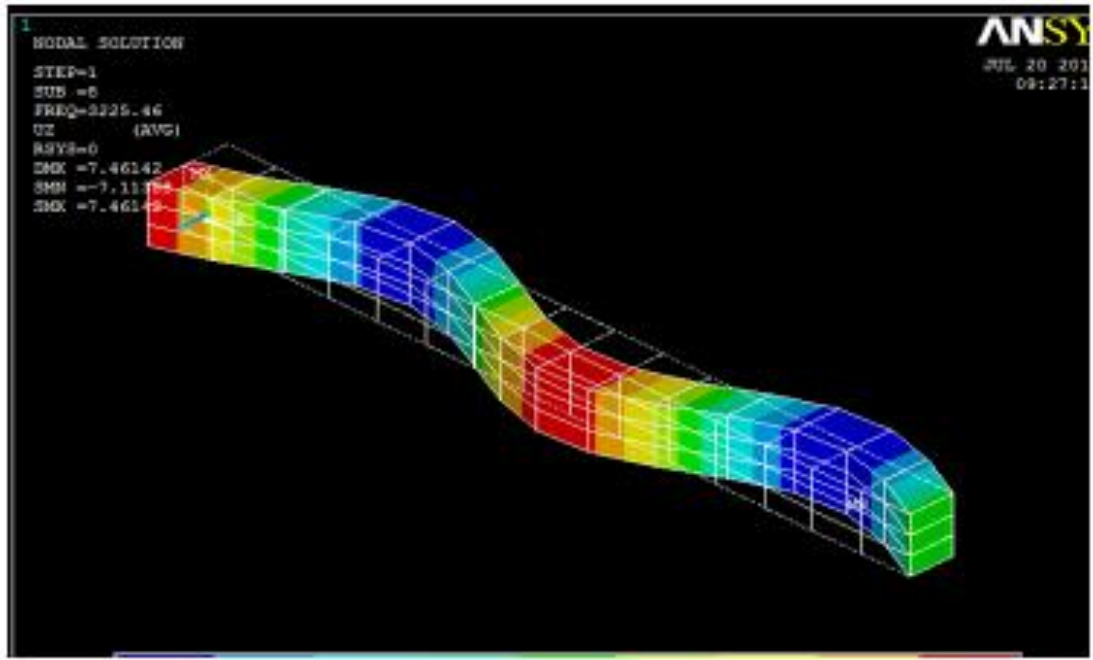
Şekil 4.5. Deneysel analizden elde edilen, alüminyum yüzeyli balsa çekirdekli (15mm) kalınlığında sandviç yapının ilk frekans ve sönüm değeri gösterilmektedir



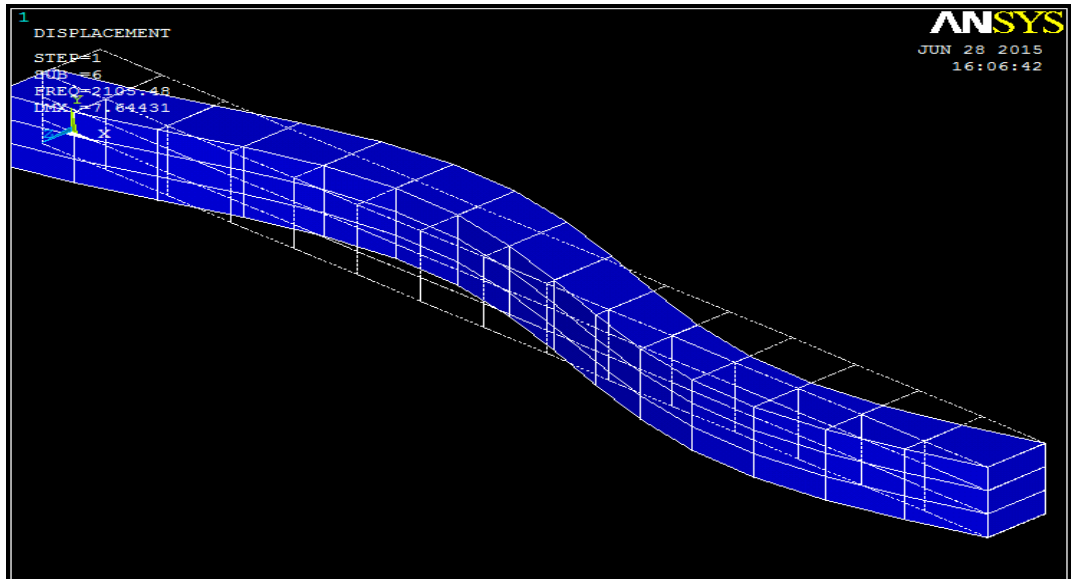
Şekil 4.6. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının birinci titreşim modu (nodal solution)



Şekil 4.7. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının ikinci titreşim modu (nodal solution)



Şekil 4.8. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının üçüncü titreşim modu (nodal solution)



Şekil 4.9. Ankastre-serbest sınır şartlarına sahip sandviç yapının ikinci titreşim modu (displacement)

5. SONUÇ ve TARTIŞMALAR

Bu çalışmada üst ve alt alüminyum yüzeyli ve farklı iç dolgu malzemeleri (çekirdek malzemeler) poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük den oluşan sandviç kompozit yapıların dinamik analizleri (titreşim ve darbe testi) deneysel ve numeric olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmanın birinci testinde pulse titreşim ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir ve ikinci testde numuneler darbe testlerine tabi tutulmuş ve elde edilen deneysel sonuçlar çeşitli grafikler ve numune resimleri (test sonrası) ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Nümerik analiz ise sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan ANSYS paket programı ile yapılmıştır. Deneysel ve nümerik çalışmalardan elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Deneysel ve nümerik analiz ile sandviç malzemelerin doğal frekansları bunlarla karışık gelen mod şekilleri ve sönüm oranları incelenmiştir. Sandviç yapıların mod şekilleri Şekil 4.6. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8. de ve darbe deneginden elde edilen çeşitli grafikler ve numune resimleri (test sonrası) ile karşılaştırmaları 5.6-5.15 şekillerinde gösterilmiştir.

5.1. Titreşim Testi

Şekil 5.1'de ki grafiklerde farklı dolgu malzemelerin (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) deneysel olarak, sistemin birinci doğal frekansının üretilen sandviç numunelerin farklı kalınlıklarına göre değişimi gösterilmiştir.

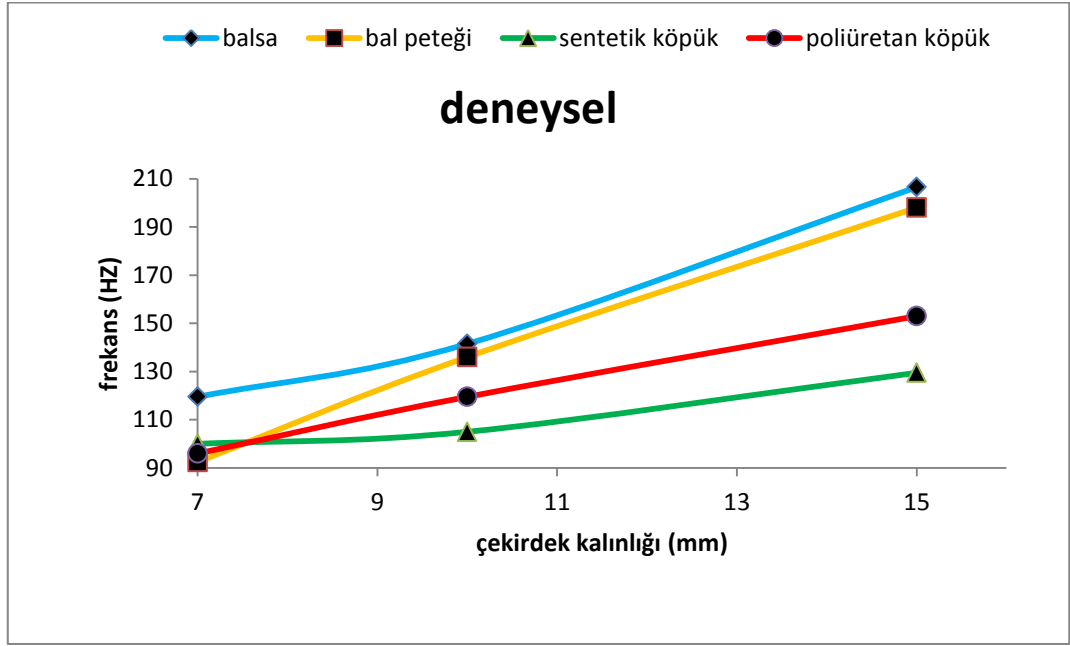
Çekirdek malzemeler arasında balsa ve bal peteği birbirine yakın frekans değeri vardır ve en yüksek frekans değerine sahiplerdir. Ama en az frekans değeri olan Çekirdek malzemeler arasında sentetik köpüktür.

Şekil 5.2’de ki grafiklerde ise farklı dolgu malzemelerin (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) nümerik olarak, sistemin birinci doğal frekansının üretilen sandviç numunelerin farklı kalınlıklarına göre değişimi gösterilmiştir. Çekirdek kalınlığı arttıkça frekanslar da artmaktadır. Kalınlık artıkça yapının rijitliğide artmaktadır. Rijitliğin artmasıda doğal frekansların değerlerini arttırmaktadır. Bu şekillerden kolayca görüldüğü gibi nümerik ve deneysel sonuçlar uyum içerisindedir.

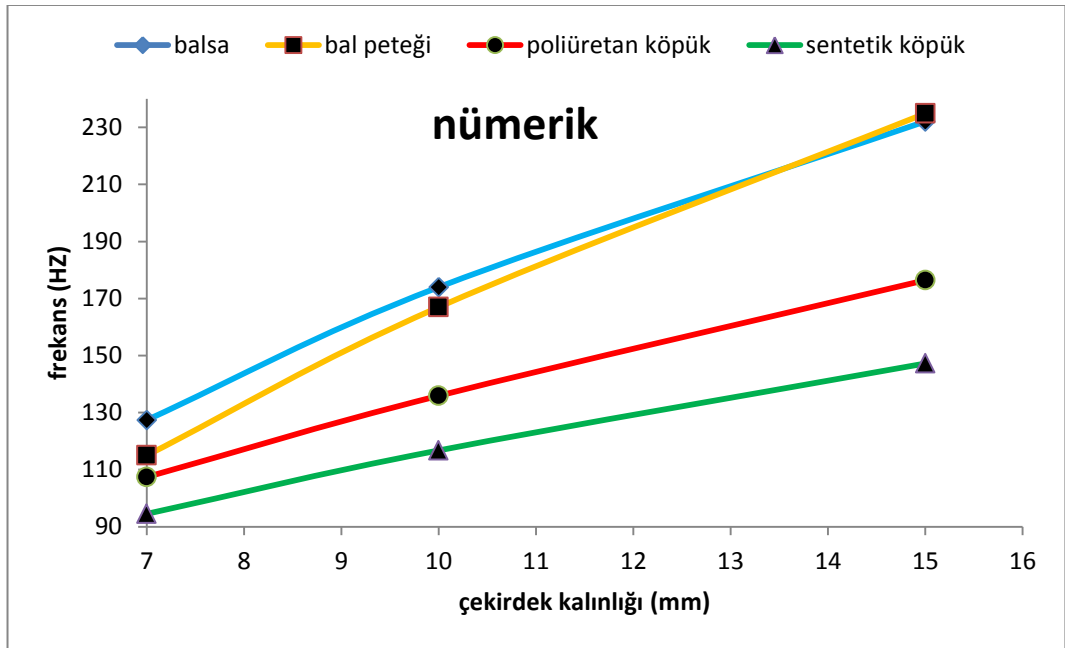
Şekil 5.3’de ki grafiklerde farklı dolgu malzemelerin (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) deneysel olarak, sistemin sönüm oranlarının, üretilen sandviç numunelerin farklı kalınlıklarına göre değişimi gösterilmiştir. Çekirdek malzemeler arasında bal peteği ve poliüretan köpük diğer çekirdek malzemelere göre en yüksek sönüm oranına, sentetik köpük ve balsa diğer çekirdek malzemelere göre en düşük sönüm oranına sahiplerdir

Şekil 5.4’de ki grafiklerde farklı dolgu malzemelerin (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) nümerik olarak, sistemin sönüm oranlarının, üretilen sandviç numunelerin farklı kalınlıklarına göre değişimi gösterilmiştir. Çekirdek kalınlığı arttıkça frekanslar arttığı gibi sönüm oranlarıda da artmaktadır.

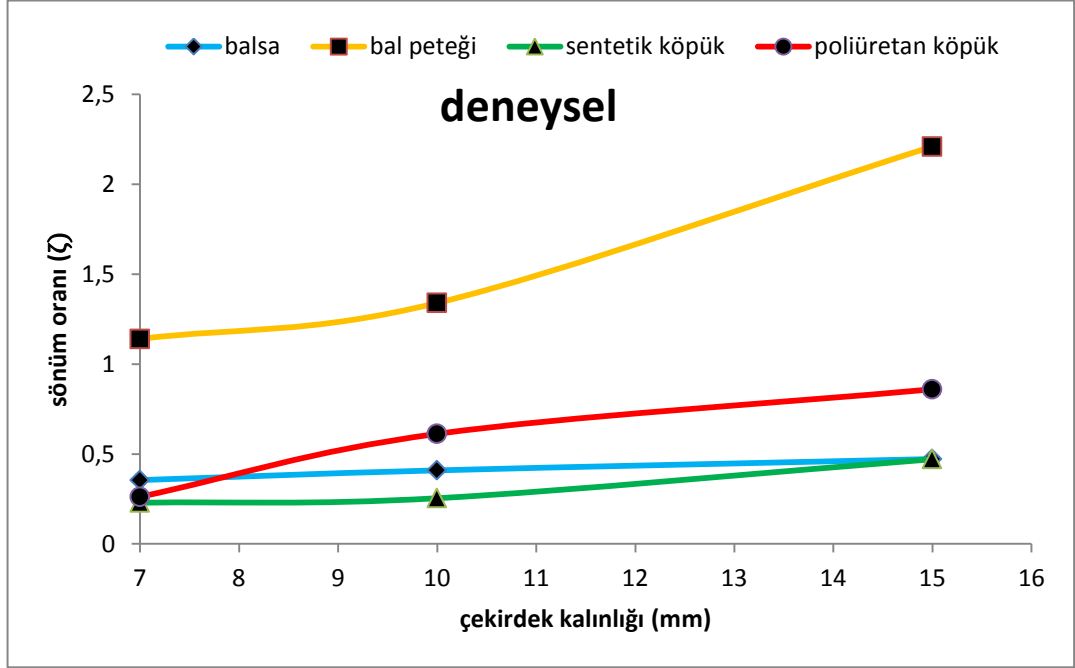
Bu çalışmada titreşim testi için sonuç olarak grafiklerden görüldüğü gibi sandviç yapının sönüm oranları incelendiğinde frekanslarda olduğu gibi etkili parametrenin çekirdek kalınlığı olduğu gözlenmiştir. ve şekillerden görüldüğü gibi teorik sonuçlar, deneysel elde edilen sonuçları desteklemektedir.



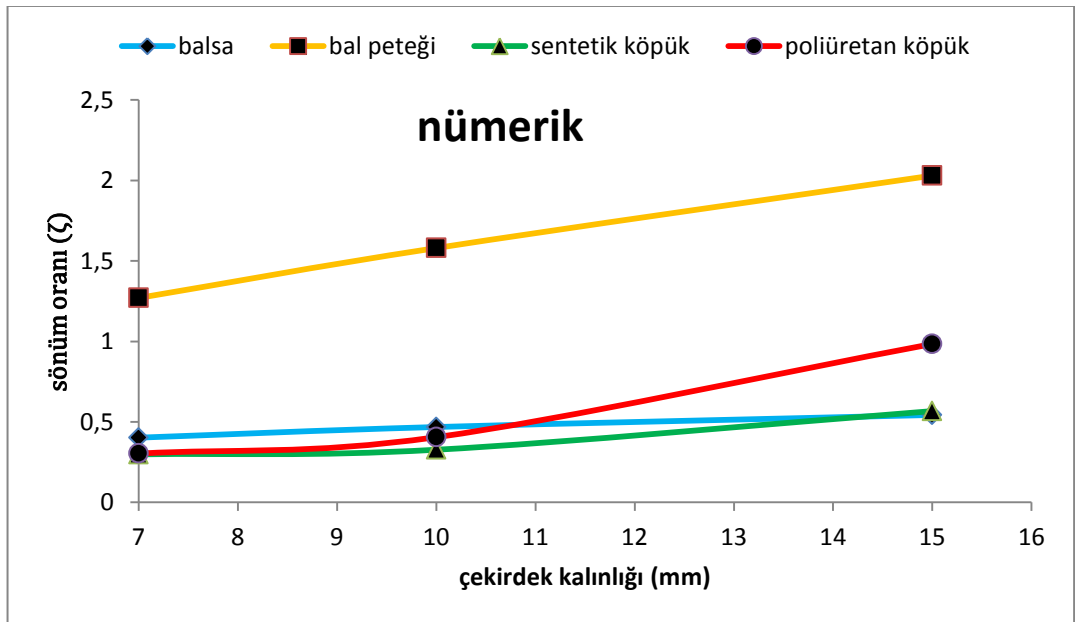
Şekil 5.1. Ankastr-serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı frekans değişimi grafiği



Şekil 5.2. Ankastr-serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı frekans değişimi grafiği



Şekil 5.3. Ankastr-serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı sönüm oranı değişimi grafiği



Şekil 5.4. Ankastr-serbest sınır şartlarındaki sandviç yapıların çekirdek kalınlığı sönüm oranı değişimi grafiği

5.2. Darbe Testi

Bir darbe testini yorumlarken, kuvvet-deplasman grafiği, enerji profili diyagramı ve hasarlı (darbe sonrası) numunelerin çapraz olarak incelenmesi buyk katkılar sağlamaktadır. Burada da söz konusu diyagramlardan ve resimlerden yararlanarak yapılan testler hakkında bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

5.6-5.9 Şekilleri farklı dolgu malzemeler (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) ekirdek yüksekliği (10 mm) ve alt ve st yüzey levhaları sabit kalınlıkta alüminyum (1 mm) olan sandviç yapıların farklı enerji seviyelerindeki kuvvet-deplasman eğrileri ile darbe sonrası numunelerin alt ve st yüzeylerinde oluşan hasar resimlerini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde; darbe enerjisi arttıca meydana gelen plastik deformasyon miktarı artmaktadır. Delinmeyen numunelerde numune ile çarpıcı u arasındaki temas kuvveti, maksimum bir değere ulaştıktan sonra aniden düşmekte ve kapalı bir eğri formu oluşurmaktadır. Buna karşılık delinen numunelere ait eğriler “açık eğri” olarak adlandırılan bir forma sahip olmaktadır. Yine grafikler incelendiğinde alt levhada deformasyonun başladığı veya alt levhanın tamamen delindiği durumlarda çekirdek kısmını temsil eden enerjide bir miktar düşüş olmakta alt levhaya gelindiğinde ise enerjide artış olmaktadır. Bu davranış sandviç yapılarada has bir davranıştır. Çünkü, bilindiği gibi sandviç yapılar alt ve st tabakaları oldukça rijit, çekirdek kısmı ise rijitliği daha düşük olan yumuşak malzemelerden yapılmaktadır.

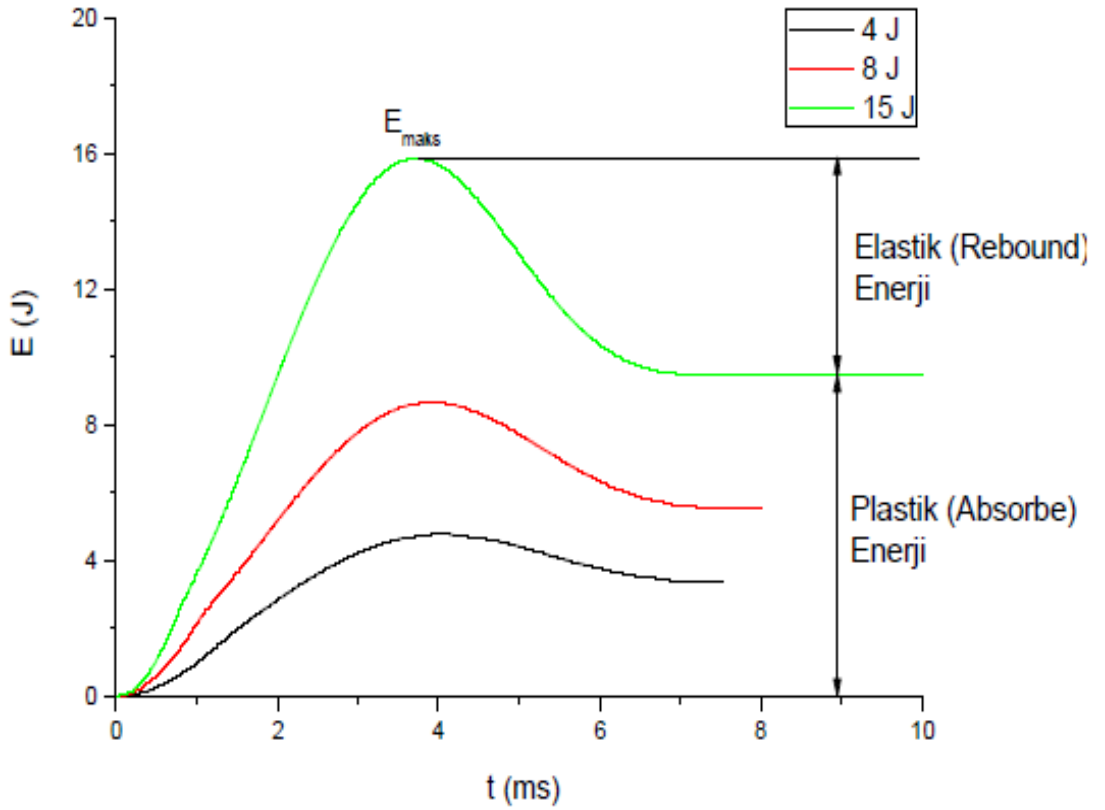
5.10-5.11 Şekilleri farklı dolgu malzemeler (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) ekirdek yüksekliği (10 mm) ve alt ve st yüzey levhaları sabit kalınlıkta alüminyum (1 mm) olan sandviç yapıların (30J, 45J, 60J) enerji seviyelerindeki kuvvet-deplasman eğrilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Bu Şekillerden görüleceği gibi darbe enerjisi arttıca meydana gelen plastik deformasyon miktarı artmaktadır. Düşük enerji değerlerinde sandviç yapının sadece st yüzeyinde ve kısmen çekirdekte bir deformasyon oluşmaktadır. Bu durum ilgili eğrinin kapalı bir formda olmasından da anlaşılmaktadır. Enerji miktarı arttıca çekirdekdeki hasar miktarı da artmış alt levhada deformasyon gözlenmiştir. Bu durumda eğri açık eğri olarak

adlandırılan bir forma sahip olmuştur. 60J enerji seviyesi olan kuvvet-deplasman eğrilerinde sentetik ve poliüretan köpük kapalı eğriye ve balsa ise 60J enerjide delindiği için (maksimum enerjiye geldiği için) açık eğriye sahiptir. Bu enerji seviyesinde en çok deformasyonu olan çekirdek malzeme balsa ve en az deformasyonu olan sentetik köpüktür. 30J enerji seviyesi olan kuvvet-deplasman eğrilerinde poliüretan köpük ve balsa kapalı eğriye ve bal petek çekirdek malzeme ise 30J enerjide delindiği için (maksimum enerjiye geldiği için) açık eğriye sahiptir. . Bu enerji seviyesinde en çok deformasyonu olan çekirdek malzeme bal petek ve en az deformasyonu olan poliüretan köpüktür.

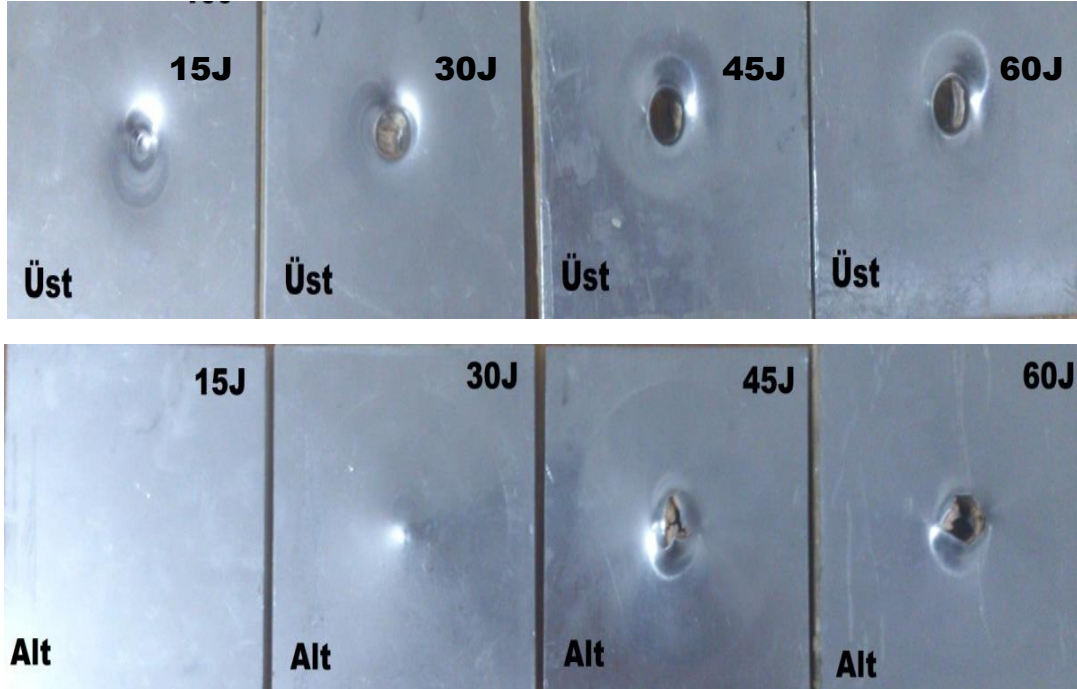
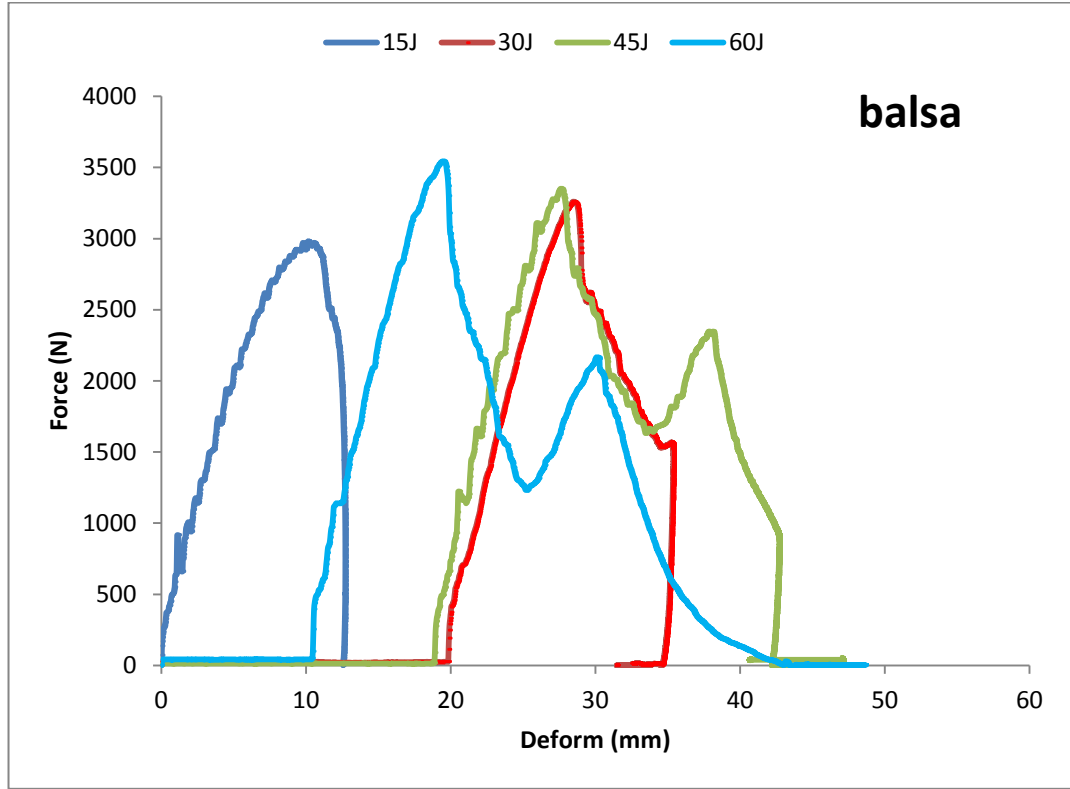
5.12 şekilleri farklı dolgu malzemeler (poliüretan köpük, balsa, bal peteği ve sentetik köpük) çekirdek yüksekliği (10 mm) ve alt ve üst yüzey levhaları sabit kalınlıkta alüminyum (1 mm) olan sandviç yapıların maksimum enerji seviyelerindeki (delinme) kuvvet-deplasman eğrilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. belli bir darbe enerjisi seviyesinden sonra, üst yüzeye ve ara malzemeye ilave olarak alt yüzeyde de hasar başlamaktadır. Bu durum kuvvet-deplasman eğrisindeki ikinci tepeden anlaşılmaktadır. Yani, kuvvetin artarak maksimum bir değere ulaşması üst tabakanın direncini (ilk tepe olarak), daha sonraki artış ve pik değer ise alt tabakanın (yüzeyin) hasarını dolayısıyla direncini temsil etmektedir. Maksimum enerji seviye karşılaştırmada en yüksek maksimum enerjiye sahip olan Çekirdek malzeme sentetik köpük ve en düşük maksimum enerjiye sahip olan Çekirdek malzeme bal petektir. Sentetik köpük çekirdek malzemenin maksimum enerjisi 120J ve bal petek Çekirdek malzemenin 30J dur.

Farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri 5.13-5.15 Şekillerinde göstermektedir. Enerji dengeleri genellikle darbe olayı esnasında hasar gelişimi seviyesinin belirlenmesinde kullanılır. Hasar derecesi değeri 1 değerine yaklaştıkça yani absorbe edilen enerjinin değerinin uygulanan darbe enerjisi seviyesine yaklaşması ile numunenin tam penetrasyona (delinmeye) uğradığı gözlenmiştir. Şekil 5.5’de sembolik olarak düşük hızlı darbe sonrası numunede enerjinin iki şekilde depolandığı gösterilmiştir. Rebound enerji (elastik enerji) darbe ucunun geri dönmesine sebep olan

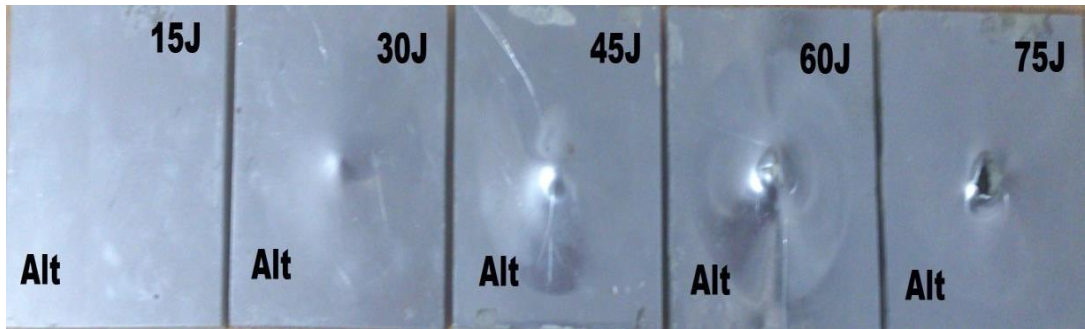
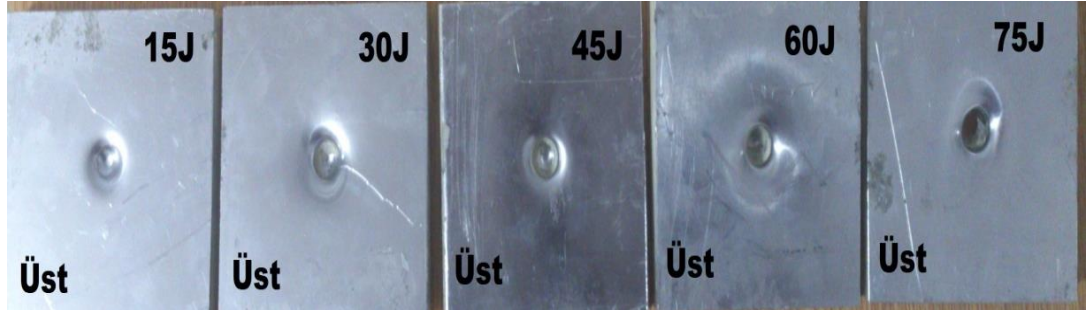
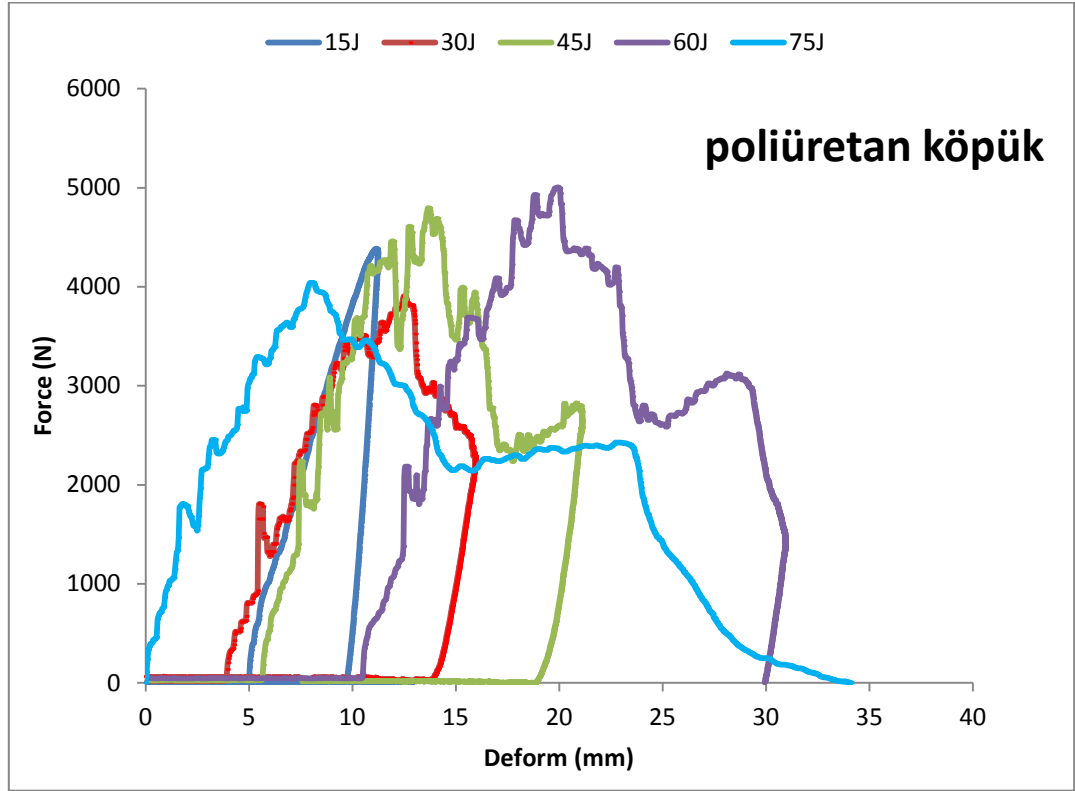
enerji değerini simgelerken, kalan enerji numune tarafından absorbe edilen enerji olup numuneyi hasara uğratmayı sağlayan plastik enerjiyi simgelemektedir. Şekillerde 5.13-5.15 görüldüğü gibi artan darbe enerjisi ile numunelerin maksimum enerjiye (Sentetik köpük çekirdek malzeme 120J, poliüretan köpük 75J, balsa 60J ve bal petek 30J) geldiğinde tam penetrasyona (delinmeye) uğradığı gözlenmiştir.



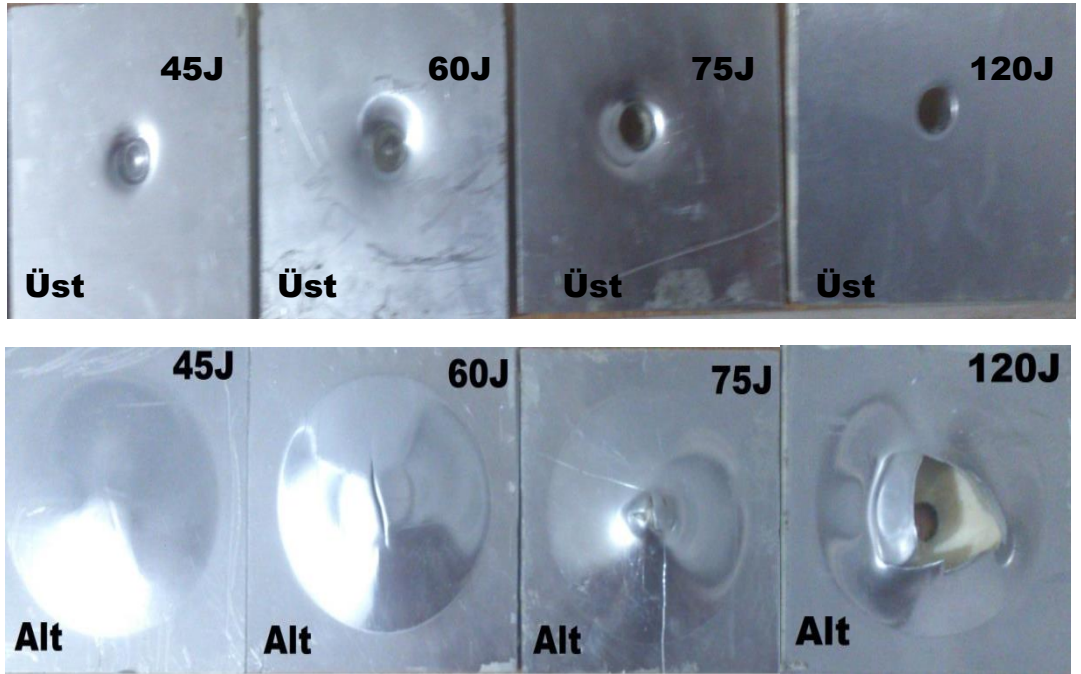
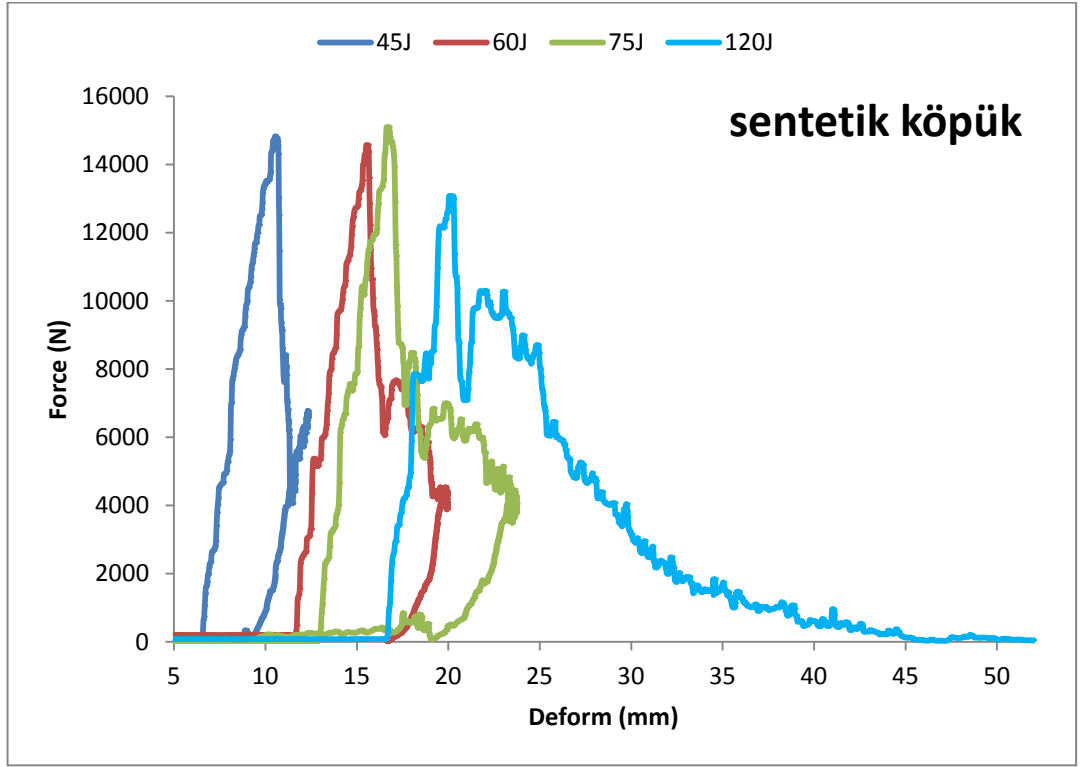
Şekil 5.5. sembolik olarak düşük hızlı darbe sonrası numunede enerjinin iki Şekilde depolanması



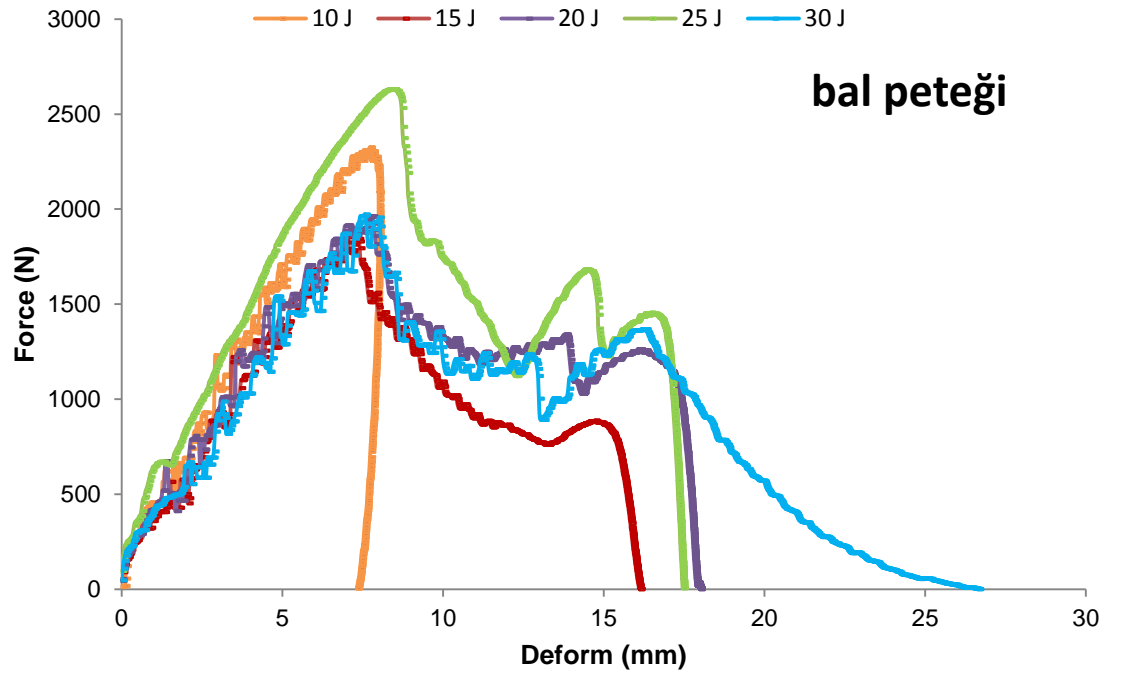
Şekil 5.6. Farklı enerji seviyeleri için balsa sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri



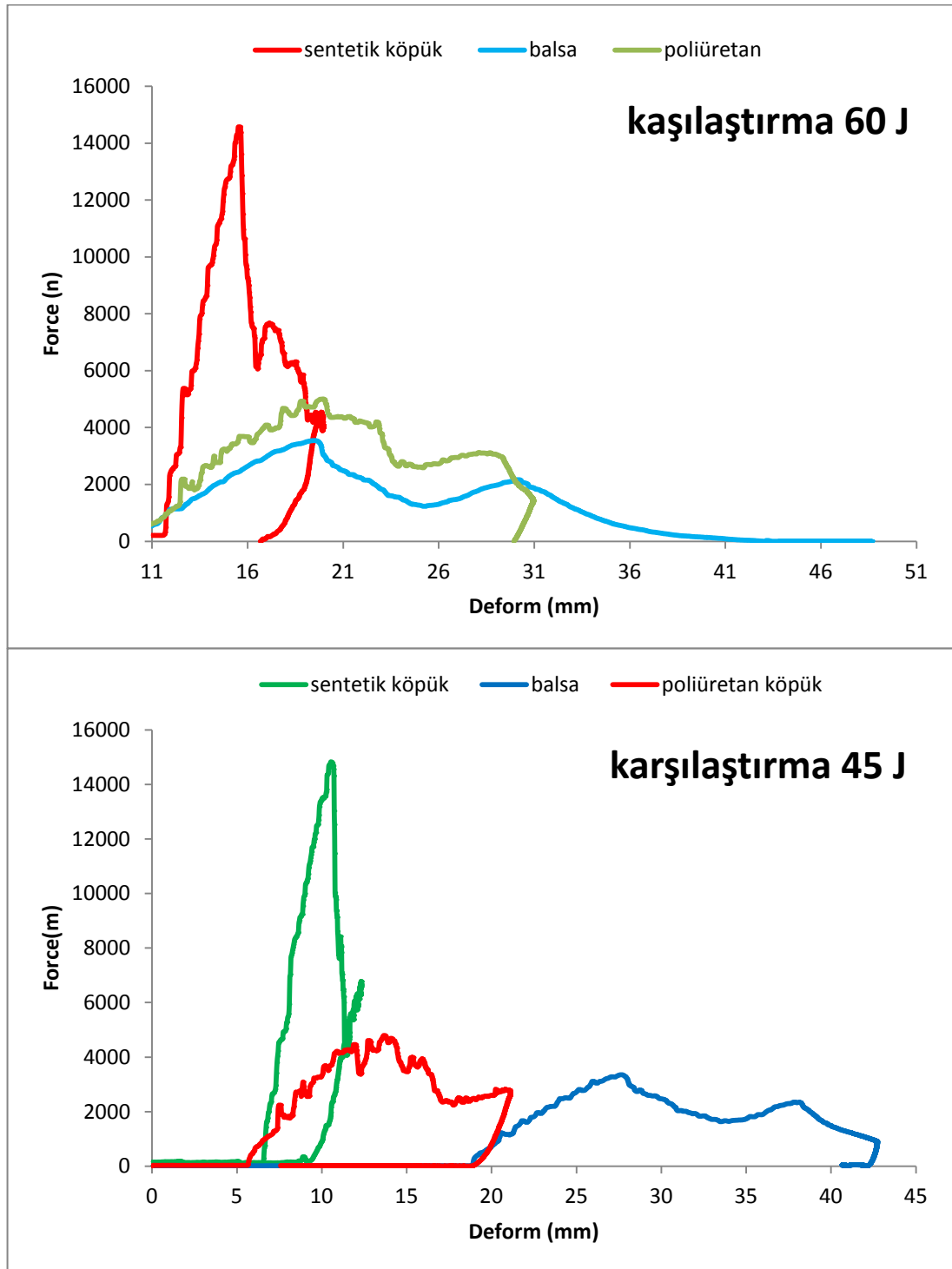
Şekil 5.7. Farklı enerji seviyeleri için poliüretan köpük sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri



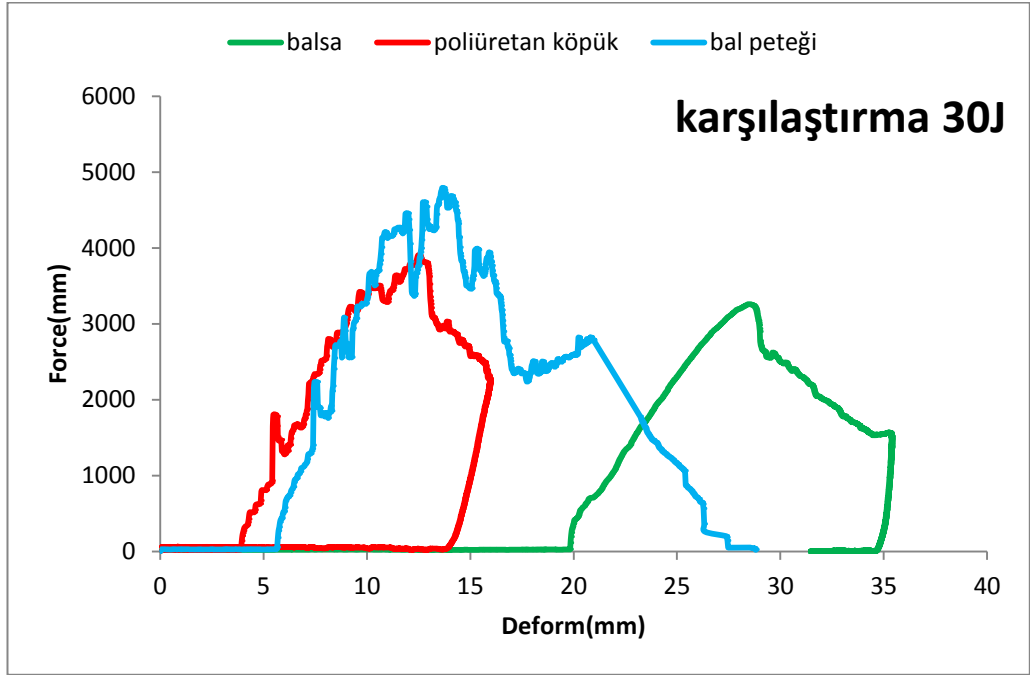
Şekil 5.8. Farklı enerji seviyeleri için sentetik köpük sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri



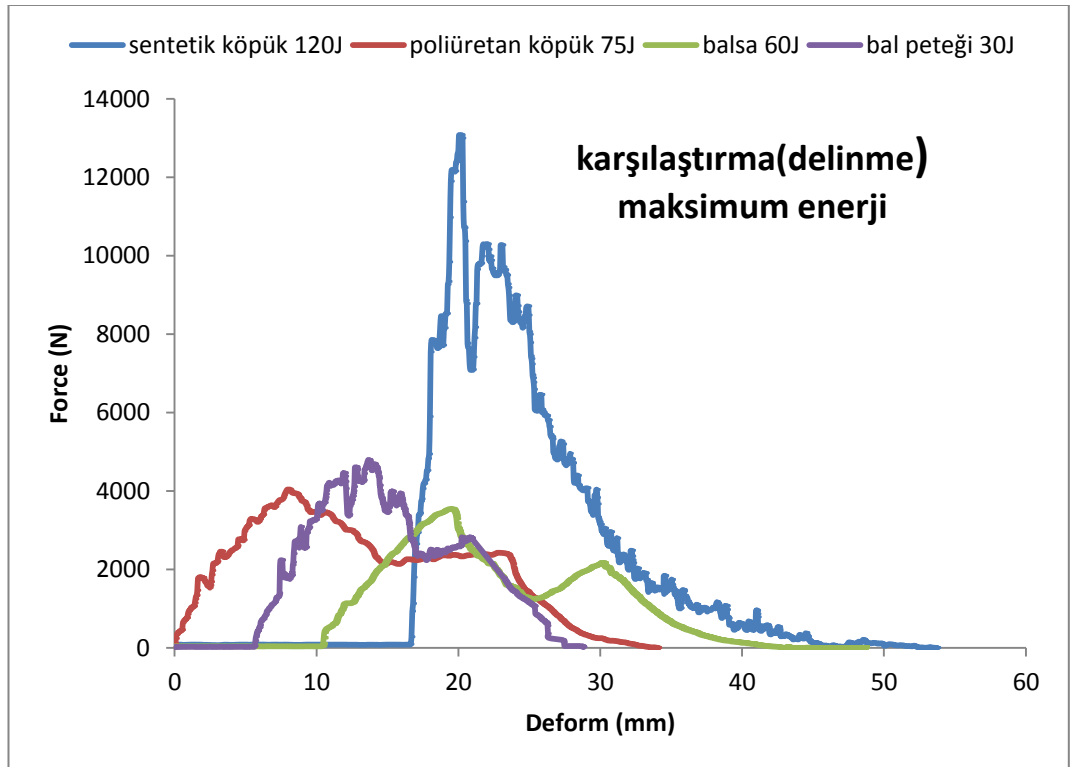
Şekil 5.9. Farklı enerji seviyeleri için bal petekli sandviç yapıya ait kuvvet-deplasman eğrisi ile üst ve alttan çekilmiş hasar resimleri



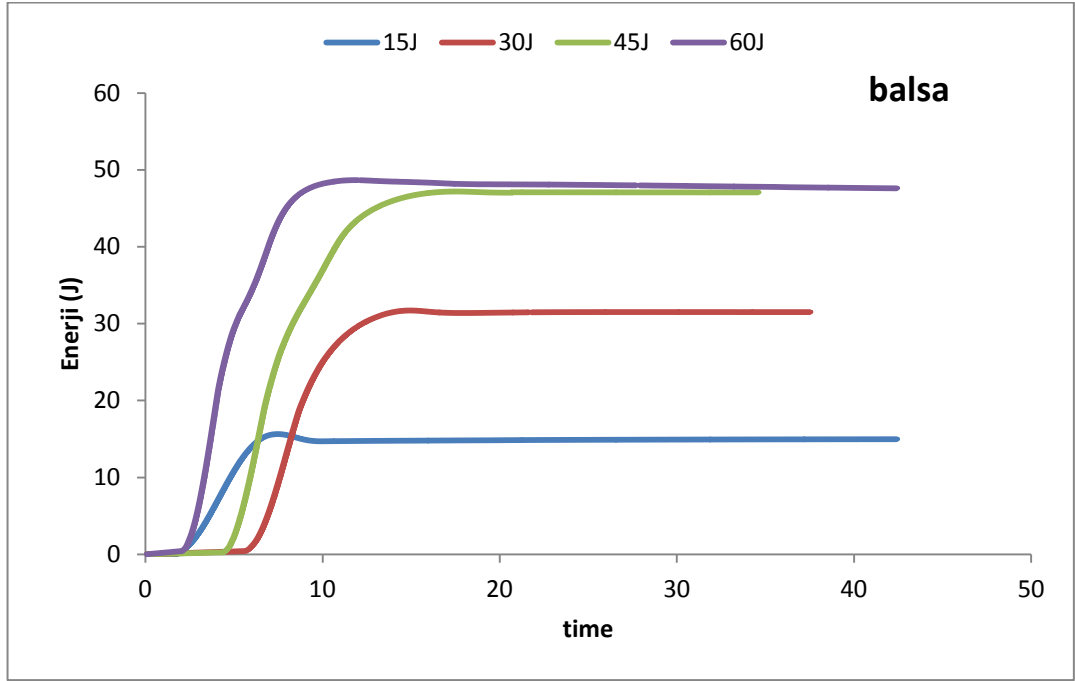
Şekil 5.10. 45J ve 60J enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması



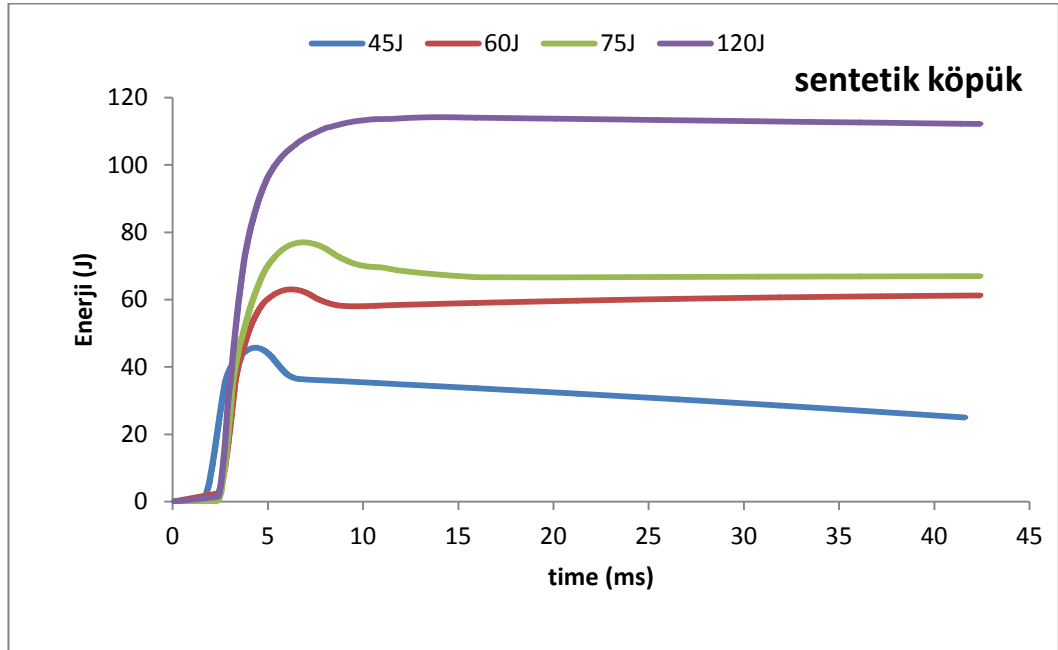
Şekil 5.11. 30J enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması



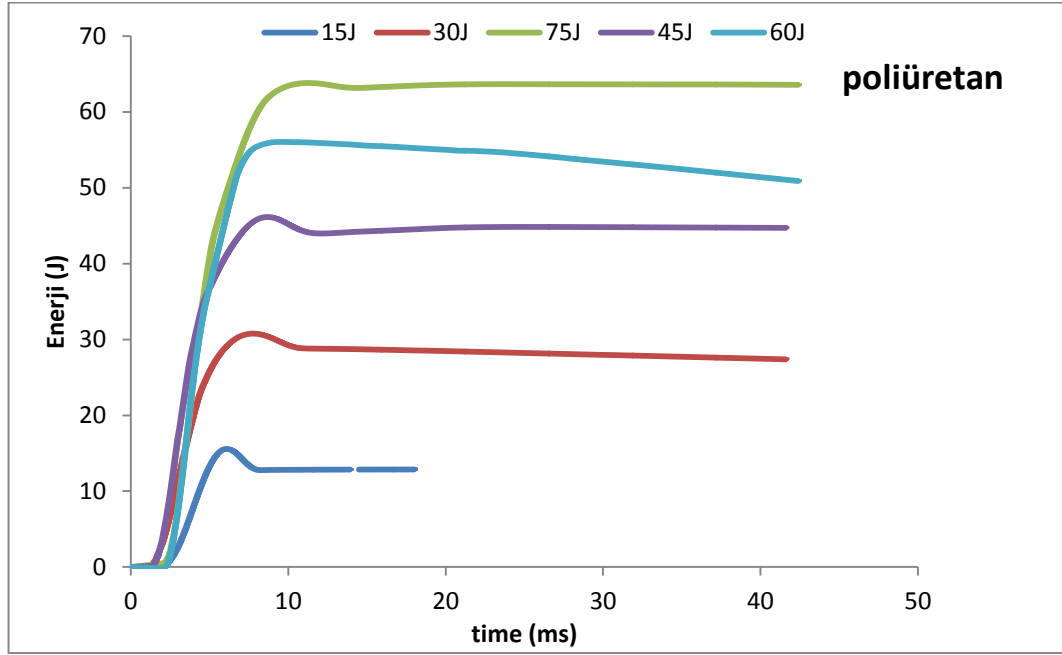
Şekil 5.12. Maksimum enerji seviyesi için farklı çekirdekli sandviç yapılara ait kuvvet-deplasman eğrisinin karşılaştırılması



Şekil 5.13. Balsa sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri



Şekil 5.14. Sentetik köpük sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri



Şekil 5.15. Poliüretan köpük sandviç yapıya ait farklı darbe enerjilerindeki enerji-zaman eğrileri

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2015, www.aerodesign.ufsc.br/teoria/artigos/materiais/sandwich_design.pdf
- Arıkan S.,2010. Sonlu elemanlar metodunun mühendislikte uygulamaları.Araştırma projesi, Orta Doğu Teknik Üniv. Mak. Müh. Böl., Ankara
- Atas C. and Sevim C. , 2010 . On the impact response sandwich composites with cores of balsa wood and PVC foam. *Composite Structures*, 93, 40-48.
- Bolat F. Ç., 2011. Bal peteği sandviç kompozit yapıların dinamik analizi. Y. Lisans tezi Atatürk Üniv. Fen Bilimleri, Erzurum
- Dahil, L., Başpınar, S., & Karabulut, A. 2011. Gözenekli malzemelerin sönümlemeye etkisi.
- Marancı Ş., 2009. Metal plastik birleştirmelerde ara yüzey incelemeleri. Y. Lisans tezi, Trakya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- Onuk K.N. Kompozit malzemeler.22 Eylül 2004
- Solmaz, M. Y., and Kaman, M. O. 2010. Petek Yapılı Sandviç Yapılarda Köpük Dolgusunun Kritik Burkulma Yüküne Etkisi.*Nwsa: Engineering Sciences*, 5(1), 24-34.
- Şahin Y., 2006. Kompozit malzemelere giriş. Seçkin yayınları, 424, Ankara.
- Şakar G., Yaman M. Ve Bolat F. Ç., 2010. Bal peteği kompozit yapıların dinamik analizi. 2. Ulusal tasarım, imalat ve analiz Kongresi, Balıkesir.
- Topçu M., 1998. Mühendisler için sonlu elemanlar metodu. PAÜ Müh. Fak. Matbaası, 288, Denizli.
- Tortoç A., 2009. Balsa/PVC sandviç yapılarda kırılma tokluğu etkisinin nümerik çalışması. Y. Lisans tezi. Dokuz Eylül Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Vural M. And Ravichandron G., 2003. Dynamic response and energy dissipation characteristics of balsa wood experiment and analysis. *International Journal of Solids and Structures*, 40, 2147-2170.
- Yiğit A., 2010. Petek yapılı sandviç yapıların dinamik özelliklerinin incelenmesi. Y. Lisans tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İranın en büyük azeri türk şehri olan Tebrizde doğan Sina Karimpour Reyhan, eğitim hayatına nure seyyedol şohada ilkokulunda başladı. Ortaokul eğitimini İmam seccad (a.s.) da ve lise eğitimini ise Kharazmi özel lisesinde tamamladı. Üniversite hayatına, 2006 yılında Tebriz Azad üniversitesi Mühendislik Fkültesi makine mühendisliği bölümünde başladı. 2011 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, 2012 yılında Atatürk üniversitesinde makine teorisi ve dinamiği alanında yüksek lisans eğitimine başladı.