

KÖPÜK METALLER VE UYGULAMA ALANLARI

Aytekın TUNÇ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliđi Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGHAHOĞLU

Ocak - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Aytekin TUNÇ tarafından hazırlanan “KÖPÜK METALLER VE UYGULAMA ALANLARI” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

31.01.2020

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Anabilim Dalı Başkanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGAHOĞLU
Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGAHOĞLU
Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah KEÇECİLER
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Koray KILIÇAY
Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

.....



.....



.....



.....



.....



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %2 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGHAHOĞLU

Aytekin TUNÇ



KÖPÜK METALLER VE UYGULAMA ALANLARI

Aytekin TUNÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGHAHOĞLU

ÖZET

Alüminyum köpükler, yapısının çok büyük bir bölümü boşluklardan oluşan yapılardır. Boşluklu yapıda olması aynı hacimde daha hafif olmasını sağlar. Boşluklu yapısı darbe sönümlemesini arttırdığı, hafiflik sağladığı, titreşim sönümlediği, özellikle kapalı hücrelerde ses ve ısı yalıtımı sağladığı ve yanmazlık özelliği kazandırdığı için son zamanlarda yapılan özellikle uygulama araştırmalarına konu olmuştur.

Bu çalışmada metal köpüklerin üretim yöntemleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir. Alüminyum köpüğün kamyonların üst yapılarında ve treylerlerde strafor köpük yerine kullanılması incelenmiştir. Bu sayede daha dayanıklı, yanmaz, ses yalıtımına sahip, daha seri imalat ve tamamı geri dönüştürülebilir karoserlerin üretilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum köpük, Karoserlerde alüminyum köpük kullanımı, Köpük üretim yöntemleri.

FOAM METALS AND APPLICATION AREAS

Aytekin TUNÇ

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Dr. Lecturer Agah AYGHAHOĞLU

SUMMARY

Aluminum foams are structures that consist of voids for a large part of their structure. It has a hollow structure that makes it lighter in the same volume. The hollow structure has been the subject of recent application researches since it increases impact damping, provides lightness, damps vibration, provides sound and heat insulation especially in closed cells and imparts non-flammability.

In this study, we inform the reader about production methods and application areas of metal foams. The use of aluminum foam instead of styrofoam foam in truck haulages and trailers is analyzed. With that, it is aimed to produce more durable, fireproof, sound insulation, more mass production and full recyclability.

Key words: Aluminum Foam, Use of Aluminum Foam in Car Body, Foam Production Methods.

TEŞEKKÜR

Büyük fedakârlıklar ederek benimle tezin düzenlenmesine ve analizlerde yardımcı olan değerli arkadaşım, meslektaşım Uğur CENGİZ'e,

Bu çalışmanın özellikle çeviri kısımlarında emeği geçen ve motivasyonumun en büyük mimarı eşim Neslihan TUNÇ ve oğlum Asaf TUNÇ'a,

Sözü geçen Yüksek Lisans tezinin yapılmasına imkân sağlayarak çalışmalarına yol gösteren, danışmanlığımı üstlenen ve çalışma ile ilgili başvurularında bana sırt çıkan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGAHOĞLU'na,

Bu zamana kadar ki öğrenim hayatımda ve bunun dışında da sürekli beni bir an dahi yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aytekin TUNÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. METAL KÖPÜĞÜN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	2
3. METAL KÖPÜK ÖZELLİKLERİ	4
3.1. Metal Köpüklerin Fiziksel Özellikleri	4
3.2. Metal Köpüklerin Mekanik Özellikleri.....	4
3.2.1. Gerilim-Gerinim değişimi.....	6
3.2.2. Köpük metallerin enerji sönmlemesi	8
4. METAL KÖPÜK ÜRETİM PROSESLERİ.....	11
4.1. Metal Köpüğün Gaz Enjektte Edilmesi ile Üretimi	11
4.2. Köpürtücü Madde İlave Edilerek Metal Köpük Üretimi.....	12
4.3. Katı-Gaz Ötektik Katılaşma.....	13
4.4. Toz Metalurjisi ile Köpürtme	13
4.5. Köpürtücü Madde İçeren Külçelerle Köpük Üretimi.....	16
5. METAL KÖPÜKLERİN KULLANIM ALANLARI	17
5.1. Gürültü Kontrolü.....	18
5.2. Uzay ve Hava Endüstrisi	21
5.3. Gemi Yapımı Endüstrisi	24
5.4. İnşaat Endüstrisi	25
5.5. Spor Malzemeleri.....	26
5.6. Isı Değiştiriciler.....	26
5.7. Filtreleme ve Ayrıştırma.....	28
5.8. Demiryolu Endüstrisi	28
5.9. Makina Yapımı	30
5.10. Biyomedikal Endüstrisi.....	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.11. Katalizör Yatakları.....	30
5.12. Sıvıların Depolanması ve Transferi.....	30
5.13. Akışkanların Akış Kontrolü.....	31
5.14. Püskürtücüler	31
5.15. Pil Elektrotları	31
5.16. Alev Durdurucular.....	31
5.17. Elektrokimyasal Uygulamalar.....	32
5.18. Dekorasyon ve Sanat İçin Hücresel Malzemeler	32
5.19. Otomotiv Sektörü Uygulamaları	34
5.20. Alüminyum Köpük Malzeme ile Üretilmesi Düşünülen Otomotiv Parçaları	42
6. KAROSERLERDE KÖPÜK METAL KULLANIMI.....	43
6.1. Karoserlerin Normal Üretim Yöntemi	43
6.1.1. Kullanılan malzemeler	43
6.1.2. Normal üretim yöntemi.....	49
6.1.3. Maliyet analizi	57
6.1.4. Ansys analizleri.....	67
6.2. Alüminyum Köpük ile Üretilen Karoser	73
6.2.1. Alüminyum köpük montaj yöntemleri	77
6.2.2. Alüminyum köpük ile üretilen karoserde kullanılan malzemeler	79
6.2.3. Alüminyum köpük özellikleri ve üretim yöntemi	81
6.2.4. Alüminyum köpük karoser montaj ve üretim yöntemi	81
6.2.5. Alüminyum köpük karoser maliyet analizi	87
6.2.6. Alüminyum köpük karoser ansys analizleri	91
7. SONUÇLAR	119
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	121
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Farklı metallerden oluşan köpük metallere ait görüntüler	2
3.1. Plastik-elastik köpük metallerin gerilme-gerinim grafiği	7
3.2. Metal köpüklerdeki gerilim-birim şekil değişim grafiği	8
3.3. Kapalı hücreli ve açık hücreli metalik köpük mikroskop görüntüleri	9
3.4. Gaz enjektisi yöntemi ile ortaya çıkartılan köpük metalin hücre yapısı	10
4.1. Gaz enjektisi yöntemiyle alüminyum köpük levha üretimi	12
4.2. Köpürtücü madde ilavesi ile üretilen metal köpük edilmiştir	13
4.3. İçi boş profil veya kalıp içerisinde köpürtme	15
4.4. Küre şeklinde köpük	15
4.5. Sandviç şeklinde köpük	16
5.1. Viyadük altında ses yalıtımı için levha yapı kullanımı	19
5.2. Ses yalıtımı deneyi	19
5.3. Yerleşim alanlarına yakın otoyolları için ses yalıtımı	20
5.4. Otoyolda ses yalıtımı uygulaması	20
5.5. Kompresörler için üretilmiş susturucular	21
5.6. Sandviç köpük panelden üretilmiş roket konisi	22
5.7. Duocel ERG tarafından üretilen ısı değiştirgeci birimi	23
5.8. Kompozit ayna (Düşük yoğunluklu) yapımında yararlanılan köpük	23
5.9. Optik teleskop için kullanılan güneşlik alüminyum köpük	23
5.10. Uçak kanadında metal köpük kullanımı	24
5.11. Gemilerde köpük metal kullanımı	25
5.12. Yapı malzemesi olarak kullanımı	26
5.13. Köpük metal ile üretilmiş ısı değiştirici	27
5.14. Metal köpük (Açık hücreli) yardımıyla soğutulan çoklu çip modülü	28
5.15. Demiryollarında kullanımı	29
5.16. Tramvaylar için darbe emici yapı	29
5.17. NiMeH ile NiCd bataryalarda artı elektrot olarak kullanılan köpük haldeki nikel	31
5.18. Metal köpükten üretilen masa ve sandalyelerin tasarımcısı Max Lamb	32
5.19. Tasarım uygulamaları	33
5.20. Dekoratif uygulaması	33
5.21. Alüminyum metal köpük sandviç panel örneği	34
5.22. Çarpışma kutusu örnekleri	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.23. Eksenel yönde basınç altında kalan içi alüminyum köpüklü ve köpüksüz paslanmaz 304 çeliğin deformasyonu.....	35
5.24. Metalik köpüklerin otomotiv sektöründe uygulamaları	36
5.25. Alüminyum sandviç köpük panel.....	36
5.26. Çarpışma kutusunun darbe tamponundaki konumu	37
5.27. Otomobillerde çarpışma kutusu konumu ve tasarımı.....	38
5.28. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum köpük malzemeler	40
5.29. Teleskop kollu vinç köpük metal uygulaması	40
5.30. "Euro B 25 T" üzerinde denenen metalik köpük takviyeli karma kolu desteği	41
5.31. LKR ve BMW'nin geliştirdiği motor blokların sırasıyla; boş, alüminyum köpük içeren parça ve parçanın kesit görünümü	41
5.32. Salıncak kolu ve alüminyum köpük yapısı	42
6.1. NPU 140x8.....	44
6.2. Şasi bağlantı braketi	44
6.3. Kutu profil 2*40*60, Kutu profil 1,5*40*40	44
6.4. Çamurluk.....	44
6.5. Paslanmaz U kanal profil	45
6.6. Kapı kol grubu	45
6.7. Kapı menteşe grubu	46
6.8. Kapı lastik grubu.....	46
6.9. XPS izolasyon köpük.....	46
6.10. Paslanmaz saç	47
6.11. Alüminyum alt profili.....	47
6.12. Kontrplak	47
6.13. İç ve dış kaplama CTP	48
6.14. Bisiklet korkuluk profili, köşe alüminyum bariyer başlığı.....	48
6.15. Şerit reflektör beyaz, şerit reflektör kırmızı, kamyon reflektör	48
6.16. Arka dayama takozu, arka kapı tutamağı, cıvatalı armut takozu.....	49
6.17. Üst yapı yapılacak kamyon örneği	49
6.18. Karoser şasisi	50
6.19. Taban panel kompleksi.....	51
6.20. Karoser yan karkas.....	52
6.21. Yan panel karkas içine XPS montajı	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.22. Yan panel kontrplak montajı	53
6.23. Yan panel iç ve dış CTP montajı	54
6.24. Yan panel kompleksi	54
6.25. Panellerin montajı	55
6.26. Alüminyum köşe profillerin montajı	56
6.27. Normal üretim karoser kompleksi.....	57
6.28. Normal üretim ile karoser kompleksi ağırlık analizi.....	67
6.29. Normal üretim 60 kN çekme kuvveti altında 0,167 mm total deformasyon.....	68
6.30. Normal üretim 60 kN bası kuvveti altında 17,267 mm çökme	69
6.31. Normal üretim 60 kN uyguladığımızda 0,362 mm deformasyon	70
6.32. Normal üretim 0,6 MPa bası gerilmesi uygulanmış ve 70,588 mm deformasyon.....	70
6.33. Normal üretim termal analiz	71
6.34. Normal üretim sıcaklık dağılımı	71
6.35. Normal üretim karoser top çarpışma 98,637 mm deformasyon.....	72
6.36. Normal üretim karoser duvar çarpışma 1398,4 mm deformasyon.....	73
6.37. Mobil komuta merkezi karoser örneği	73
6.38. Deprem simülatörü karoser örneği.....	74
6.39. Kızılay kan toplama amacı karoser örneği.....	75
6.40. Mobil kültür merkezi karoser örneği.....	75
6.41. Mobil mutfak karoser örneği.....	76
6.42. Mobil mamografi treyler örneği.....	76
6.43. Alüminyum köpük montaj yöntemleri	77
6.44. Alüminyum köpük lehimleme ile birleştirme.....	78
6.45. Alüminyum köpük vida ile birleştirme	79
6.46. Alüminyum köpük sandviç	80
6.47. Alüminyum H profil.....	80
6.48. Alüminyum U kanal profil	80
6.49. Alüminyum köpürtülmüş kutu profil	81
6.50. Alüminyum köpürtülmüş kutu profilden üretilmiş şasi.....	82
6.51. Iveco Daily kamyon.....	83
6.52. Alüminyum köpük.....	84
6.53. Alüminyum I profil	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.54. Taban panel alüminyum köpük birleştirilmesi	85
6.55. Taban panel kompleksi.....	85
6.56. Alüminyum köpük karoser kompleksi	87
6.57. NPU 10 MPa altında 17,349 mm deformasyon	92
6.58. Şasi için 4x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,1 mm deformasyon.....	93
6.59. Şasi için 3,2x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,2 mm deformasyon.....	93
6.60. Şasi için 2,6x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,387 mm deformasyon.....	94
6.61. Şasi için 2,6x40x40 kutu profile alüminyum köpürtülmüş haliyle 10 MPa altında 0,02 mm deformasyon	95
6.62. Şasi profil uzunluğu 7500 mm olan 140x8NPU ağırlığı 113,19 kg.....	96
6.63. Şasi profil uzunluğu 7500 mm olan 2,6x40x40 alüminyum köpürtülmüş kutu profil 29,56 kg	96
6.64. Normal üretim ile üretilmiş karoser 0,6 MPa altında 70,588 mm deformasyon	97
6.65. Alüminyum-SiC köpük 0,07 ile 0,6 MPa yük altında 236,42 mm deformasyon	98
6.66. Alüminyum-SiC köpük 0,16 ile 0,6 MPa yük altında 17,095 mm deformasyon	99
6.67. Alüminyum-SiC köpük 0,27 ile 0,6 MPa yük altında 170,2 mm deformasyon	100
6.68. Alüminyum-SiC köpük 0,41 ile 0,6 MPa yük altında 5,99 mm deformasyon	101
6.69. Alüminyum-SiC köpük 0,54 ile 0,6 MPa yük altında 5,99 mm deformasyon	102
6.70. Alüminyum köpük 1,0 ile 0,6 MPa yük altında 48,981 mm deformasyon	103
6.71. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,4 mm deformasyon... 104	
6.72. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 79,85 mm deformasyon	105
6.73. Alüminyum köpük sandviç 25 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,36 mm deformasyon. 106	
6.74. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 70,53 mm deformasyon	107
6.75. Alüminyum köpük sandviç 30 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,33 mm deformasyon. 108	
6.76. Alüminyum köpük sandviç 30 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 65,698 mm deformasyon	109
6.77. Alüminyum köpük karoser kompleksi ağırlık analizi	110
6.78. Alüminyum köpük metal 60 kN çekme kuvveti altında 0,324 mm toplam deformasyon. 111	
6.79. Alüminyum köpük metal 60 kN çekme kuvveti altında 0,88,213 mm toplam deformasyon	111
6.80. Alüminyum köpük sandviç 0,6 MPa 1,82 mm toplam deformasyon.....	112
6.81. Alüminyum köpük karoser 60 kN 0,337 mm toplam deformasyon	113

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.82. Alüminyum köpük karoser 60 MPa 65,698 mm toplam deformasyon	113
6.83. Alüminyum köpük karoser termal kesit görünümü.....	114
6.84. Alüminyum köpük sandviç sıcaklık dağılımı.....	115
6.85. Alüminyum köpük 100 m/s top çarpışma 94,978 mm deformasyon	116
6.86. Alüminyum köpük 90 m/s duvar çarpışma 0,437 mm deformasyon	117
6.87. Fortes firmasının ses analizi.....	118
6.88. Fortes firmasının alüminyum köpük ile ses analizi.....	118



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Metalik köpüklerin kullanım alanları	18
6.1. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser malzeme listesi	43
6.2. XPS Strafor köpük mekanik özellikleri	51
6.3. Polyester kapalı kasa maliyet analizi	57
6.4. Alüminyum köpük ile üretilen karoser malzeme listesi	79
6.5. Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi	87



1. GİRİŞ

Son zamanlarda mukavemeti yüksek ağırlığı düşük yapılara eğilim giderek artmaktadır. Daha dayanıklı ve hafif ürünler talebi yeni malzeme çeşitlerinin üretim zorunluğunu doğurmuş ve bunların da başında köpük metal gelmektedir. Son dönemlerde üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı araştırmaların konu başlıklarında yer almıştır (Dahil, 2017).

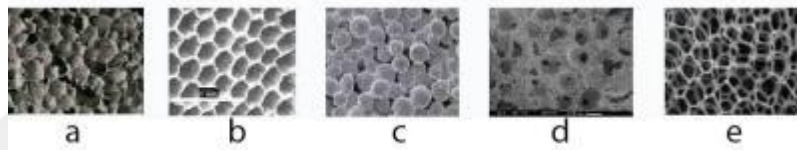
Metalik köpük, boşlukları olan tüm metal yapılarda kullanılabilen bir tanımdır. Köpük metal yerine; hücreli metal, gözenekli metal, süngerimsi metal terimleri de; isimlendirilirken sıkça kullanılır. Bu terimlerin ayırt edici özelliklerini ortaya çıkarmak için gözeneklerin morfolojisi incelenmelidir. Kendi içerisinde birbirinden ayrılabilen ve düzenli gözenekleri bulunan yapılar hücreli metal veya köpük metal olarak sınıflara ayrılırken diğerleri de sünger metal veya gözenekli metal olarak isimlendirilir (Ozan ve Katı, 2011).

Metal köpüklerin yapısının büyük çoğunluğu (%75 ve %90 kadarı) gözeneklerden oluşmuş, katı saf metal ya da alaşımlardır diyebiliriz. Isıya karşı dayanıklı olmaları ve iletken olmamaları, yoğunluklarının düşük olması, enerjiyi sönümleme yetenekleri, kırılma ile kesme mukavemetlerinin yüksekliği ve ağırlıklarının düşük olmasından dolayı tercih edilirler (Gibson ve Ashby, 1988).

2. METAL KÖPÜĞÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Köpük metallere ilgili çalışma ilk defa 1948 yılında Sosnik tarafından yapılmıştır. Sosnik alüminyuma civa buharlaştırarak metalik köpük elde etmiştir. Daha sonra 1951 yılında aynı metodu kullanan Elliot köpük metali üretmiştir (Simanick, 2002: 1-4). 1960'lı yıllarda ise farklı bir düşünce ile köpüklenme alanları kullanarak metalik köpük üreten United Aircraft Corporation şirketi metal köpüğün üretim patentini almıştır (Ozan ve Katı, 2011).

1963'de Peisker ve Hardy yaptıkları çalışmada yarı erimiş metale köpüklenme ajanlarının ilave edilmesi yöntemi ile patent için başvuruda bulunmuşlardır. Kısa bir süre sonra 1968 yılında polimerik kalıp içinden süzme yöntemi ile açık hücreli köpük metal üretimini gerçekleştiren, Kaliforniya eyaletinde bulunan Enerji Üretim ve Araştırma Şirketi (ERG) tarafından konu hakkında çalışmalar şekillendirilmeye ve geliştirilmeye devam edilmiştir (Polat vd., 2010).



Şekil 2.1. Farklı metallere ait köpük metallere ait görüntüler (Banhart, 2005). a. Kapalı hücreli Alüminyum köpük b. Köpük Demir c. Sinterlenmiş metal sünger d. Alüminyum sünger e. Açık hücreli Nikel köpük.

Şekil 2.1'de görsel örnekleri verilmiş köpük metallere haricinde gözeneklendirilebilen diğer metallere ve metal alaşımları arasında çelik, titanyum, çinko, kurşun, nikel bazlı süper alaşımlar ve kalay sayılabilir (Bram vd., 2000).

Dünyada son yıllarda köpük metal üretimi ve karakteristik özelliği üzerine yapılan çalışmalar ve geliştirme faaliyetleri son derece hız kazanmıştır (Banhart ve Weaire, 2002). Türkiye'de ise henüz endüstriyel alanda küçük çapta bir uygulama olmasına rağmen, köpük oluşturma yöntemleri ve ortaya çıkan köpüklerin karakter özelliklerini belirleme ve geliştirmeye yönelik çalışmalar üniversitelerde devam etmektedir (Kavi vd., 2006; Karakuş, 1998).

Tüm bu geliştirme ve iyileştirme çalışmaları işe yarayacak ki 20. Yüzyılın sonlarında dünyada birçok firma alüminyum köpük üretimine başlamıştır. Japonya'da bulunan Shinko Wire Company şirketi bu firmaların en önde gelenlerindedir. Kalsiyum ilavesi ile viskozitesi yükseltilmiş sıvıya TiH_2 'nin doğrudan eklenmesiyle üretilen köpük metal üretimi 1986 yılından itibaren patentli bir şekilde üretimi devam etmektedir (Polat vd., 2010).

Aynı dönemde erimiş metale direkt gaz enjektisiyle gaz ve sıvıdan köpük elde etme aşamalarını geliştiren Norveç'te bulunan Hydro ve Toronto'da bulunan Cymat şirketleri metal köpük üretiminde seri üretime geçen ilk şirkettir. İlerleyen dönemlerde Cymat Hydro firmasını da kendi bünyesine katıp ilk yüksek hızlı üretim bandını geliştirerek üretimlerine ivme kazandırmıştır (Polat vd., 2010).

Sonuç olarak; termal, mekanik, akustiğe dair çok seçenekli kullanım özellikleri alüminyum köpüğün ileride de ilgi çeken ve hakkında tartışılan bir malzeme çeşidi olacağı açıktır (Ertürk ve Ural, 2011).



3. METAL KÖPÜK ÖZELLİKLERİ

Metal köpüklerin hafif olmasının yanı sıra, sıcaklık yalıtımı, ses geçirmeme ve titreşimi en aza indirme özelliklerine de sahiptir. Mekanik özellikleri, ısı direnci yüksek olması ve yüksek ısılarda yapısının bozulmasına izin vermemesi gibi özelliklerinden dolayı da polimerlerden daha üstündür. Nikel, alüminyum, magnezyum, titanyum ve benzeri birçok metalden köpük üretimi yapılmaktadır. Son dönemlerde deniz, kara ve hava ulaşımlarında metal parçalar yerine metalik köpük parçalar ya da içi metalik köpük ile doldurulmuş parçaların kullanılmaya başlamasının sebebi metalik köpüğün sağladığı avantajlardır. Enerjiyi daha verimli kullanmak adına düşük yoğunluğu olan parçalara ihtiyacı olan otomotiv sektörü, köpük metal ile daha hafif parça üretimine teşvik etmektedir. Köpük metal üretiminde yoğun olarak alüminyum kullanılır. Fakat nikel, özellikle de biyomedikal uygulamalarda titanyum ve tantal da kullanılmaktadır (Dahil, 2017).

3.1. Metal Köpüklerin Fiziksel Özellikleri

Alüminyum köpükler tıpkı ekmek, kemik, ağaç ve mercan gibi hücreli yapıdadır. Köpük yapının özelliklerini belirlemede en önemli parametre olan göreceli yoğunluk kavramı (U^*/U_s) köpük malzemenin yoğunluğu (U^*) ile hücre duvarını oluşturan malzemenin (matris malzeme) yoğunluğunun (U_s) oranlanması ile ifade edilir. Köpük yapının göreceli yoğunluğu 0,02-0,1 gr/cm^3 aralığındadır. Alüminyum köpük yapının suda yüzebilmesinin sebebi yoğunluğunun 1 gr/cm^3 olarak bilinen suyun yoğunluğundan düşük olup 0,81 gr/cm^3 değerinde olmasıdır (Ashby, 2005).

Hücreli malzemeleri hem malzeme hem de yapısal olarak ele alınmasının sebebi hücreli malzemelerin birim hücre uzunluklarının milimetre veya mikrometre mertebesinde olmasıdır. Bu bağlamda, klasik mekanik metotları kullanılarak hücreli malzemeler tıpkı uzay kafes yapılarının analiz edilişi gibi analiz edilebilir. Ancak, diğer yöntem göz önüne alındığında hücreli yapıları başlı başına yapısal bir malzeme olarak özelliklerini değerlendirmek gerekir. Bu değerlendirmede hücreli yapılar monolitik (tek parça) olarak ele alınırlar (Ashby, 2005).

3.2. Metal Köpüklerin Mekanik Özellikleri

İki çeşit köpük hücre yapısı tanımlanmaktadır. Bunlar, kapalı hücre yapısı ve açık hücre yapısıdır. Kapalı hücre yapısı köpük hücreleri, açık hücre yapısı ise sünger hücrelerinde gözlemlenen yapıdadır. Kapalı hücre köpük yapısında hücreler sıkı bir düzende iken açık hücre köpük yapısında hücreler birbiriyle bağlantılı olarak bulunurlar. Açık hücre yapısındaki hücreler

arası bağlantılar destek olarak adlandırılırlar. Kapalı köpük hücreler birbirlerinden hücre kenarları ile ayrılırlar. Köpük metallerde, köpük yapısı hücreler arası sıralı birleşme yüzeyleri ile oluşmuş durumdadır (Banhart, 2000a, 2001). İy yapının köpük şeklinde olması hafifliğini ve aynı zamanda darbenin geliş yönünü dikkate almaksızın yüksek darbe enerjisini sönmlemeyi sağlamaktadır.

Köpük metalin elektromanyetik kalkan özelliği, yüksek sıcaklıklarda iy yapısını daha iyi koruyabilmesi, bunun dışında darbenin geliş yönünden bağımsız olarak darbe ve titreşimi sönmleyebilmesi köpük metalin avantajlarından. Ergime noktaları yaklaşık olarak köpük malzemeyi oluşturan metal ile aynıdır. Buna ek olarak malzemenin yüzeyi genellikle bir oksit tabaka ile kaplıdır. Eğer malzeme yeterli sürede havada veya bir oksit banyosuna atılarak ısıtılırsa tabaka et kalınlığı artarak kalınlaşır, ergime noktası yükseltilir böylelikle malzeme çok daha istikrarlı olur (Banhart, 2001).

Metal köpük malzemenin plato geriliminin homojen olmayan hücre kalınlığı, hücre elipsliği, morfolojik düzensizlikler ve hücre boyutu dağılımının etkisi ile azalttığı tespit edilmiştir (Çinici vd., 2004). Gerinim-gerilim diyagramında lineer elastite bölgesinde alüminyum köpük mekanik olarak dayanıklıdır ve elastik şekil değişimine uğrar. İkinci bölge plato bölgesi olarak tanımlanır, gözeneklerin deforme olduğu bölgedir ve bu noktadaki gerilime plato gerilimi denir. Gözenekli malzemelerin yapısal ve işlevsel özelliklerini belirleyen gözenek miktarı (göreceli yoğunluk), şekli ve dağılımı en önemli özellikleridir (Gibson ve Ashby, 1988).

Kimi alüminyum köpük malzemelerin sertliklerinden bahsetmek gerekirse; Duocel 35 HV (açık hücreli), Alporas 30,5 HV (kapalı hücreli), Alulight 54,8 (kapalı hücre) (Idris vd., 2009; Ergaerospace, 2019).

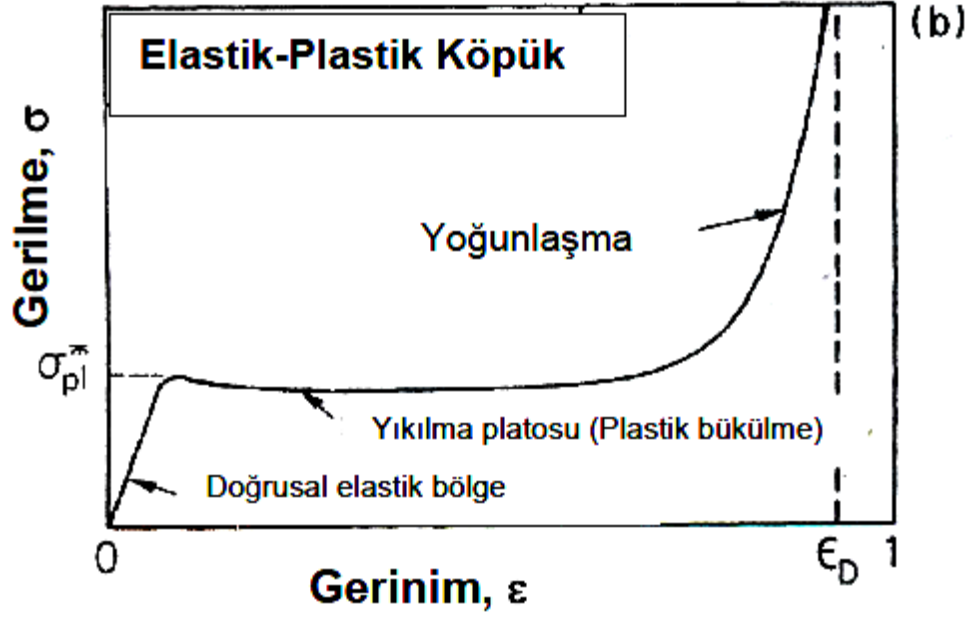
Metal köpüklerin özelliklerini maddeler halinde sıralayacak olursak:

- 1) Köpük metaller polimerik yapılara nazaran daha katı bir yapıya sahip, sıcaklık direnci olarak daha yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda toksit gaz oluşturmayarak iy yapısını çok daha iyi koruyabilen yapılardır.
- 2) Tamamı geri dönüşebilen malzemelerden oluşur.
- 3) Ağırlıklarının düşük olması en önemli avantajlardandır.
- 4) Geliş yönüne bakılmaksızın her titreşim ve darbeyi emebilmesi, olumlu etkilerindedir.
- 5) Elektromanyetik kalkan özelliğine sahiptir.

- 6) Ergime sıcaklık noktaları alaşımın ergime sıcaklık noktası ile ortaktır. Aynı zamanda malzeme yüzeyi genellikle oksit bir kabuk ile kaplıdır. Eğer malzeme yeterli sürede oksit banyosu içinde ya da havada ısıtılırsa tabaka daha fazla kalınlaşarak ergime noktası yükseltilir ve malzeme daha istikrarlı bir hal alır (Banhart, 2001).
- 7) Köpük malzemelerin özgül ısıları önemli ölçüde düşük olması, düşük ısı kapasitesinin istendiği uygulamalarda malzemenin önemini artırır.
- 8) Isıl şoklara dayanma gücü alaşımın içyapısına bakıldığında daha yüksektir (Çinici vd., 2004).
- 9) Kapalı hücreli köpük metallerin ısıyı aktarması yüksek değildir ve bu özeliği sayesinde yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir, Açık hücreli köpük metaller ise akış geçişlerine izin verdiğinden ve mevcut hali ile akışkan – metal temas yüzeyi fazla olduğu için eşanjör uygulamaları da mevcuttur.

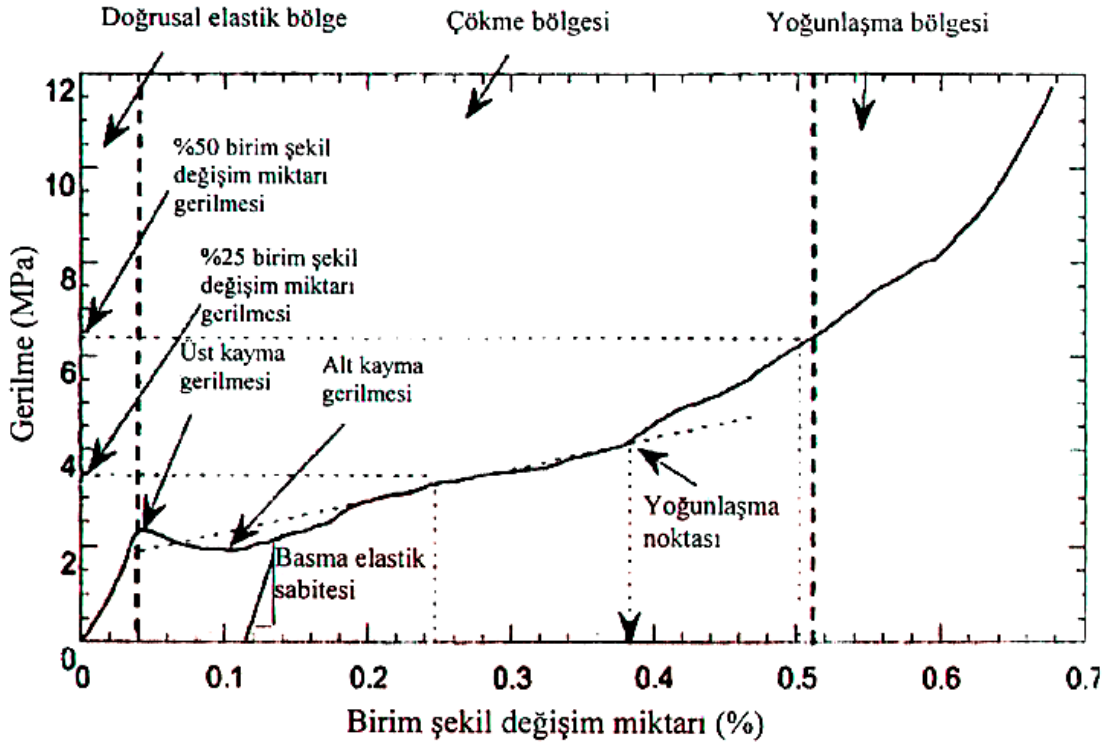
3.2.1. Gerilim-Gerinim değişimi

Şekil 3.1’de köpük metallerin basma yönünde genel deformasyon grafiği verilmiştir. Köpük metaller alçak gerinim değerlerine sahipken gerinim ile gerilme orantılıdır. Yani grafiğin ilk bölümünde görüldüğü gibi doğrusal bir elastik özellik içindedirler. Bu doğrusal elastik bölgedeki grafiğin eğimi elastik modülü (E^*) ifadesini bulmamıza olanak sağlar. Yükselen gerinim ile gerilme-gerinim grafiği üzerinde uzun bir “yıkılma platosu” görülür ve bu bölgeden sonra “yoğunlaşma” bölgesi gözlenir. Yoğunlaşma bölgesinde neredeyse sabit gerinim de gerilme oldukça dik şekilde artar. Köpük metaldeki plato bölgesi, bası kuvveti uygulanan elastik-plastik köpük metallerde gözenek çeperlerinin birbirine çarpışarak dağılması ve bunun sonucunda gözeneklerinin yıkılması ile ilişkilidir. Gözenekler tamamen yıkılmak üzereyken gözenek çeperleri birbirine temas eder böylece uygulanan gerilme kuvveti ile metal malzeme sıkıştırılır. Bu durum gerinim-gerilme grafiği üzerinde sağdaki bölgede gerilmenin artmasına sebep olur (Gibson ve Ashby, 1988).



Şekil 3.1. Plastik-elastik köpük metallerin gerilme-gerinim grafiği.

Şekil 3.1 İncelendiğinde metal köpüklerin elastik deformasyona lineer elastik bölgede uğradığı gözlenir. Çökme bölgesi gözenek çeperlerinin bükülmesi ve kopması ile başlar. Şekil 3.2’de çökme, şekil değiştirmenin çok iyi sınır çizdiği elastik bölgeden diğer sağlam kalmış bölgelere atlaması ile ilerler. Kritik bir genişleme durumunda gözenek çeperleri birbiri ile temas etmeye başlar ve bunun akabinde yoğunlaşma ortaya çıkar (Başpınar ve Yurtcu, 2011).



Şekil 3.2. Metal köpüklerdeki gerilim-birim şekil değişim grafiği.

3.2.2. Köpük metallerin enerji sönmülmesi

Köpük metaller çekme kuvveti uygulandığında kırılma davrandığı için basma kuvvetlerinin yoğun olduğu alanlarda bu malzemelerden mekanik olarak yararlanır. Bası kuvvetlerine uygulandığında hücre çeperlerinin plastik bükülmeye uğraması sebebiyle köpük metallerin enerji sönmülme özelliği yüksektir. Uygulanan gerilmenin sönmülme veya iletim derecesi gözenek yapısındaki değişiklikler ile kontrol altında tutulabildiğinden metalik köpükler enerji absorbe edilmesi gereken uygulamalar için uygun malzemelerdir (Markaki ve Clyne, 2000).

3.2.3. Metal köpüklerin mekanik özelliklerini belirleyen parametreler

Göreceli yoğunluk

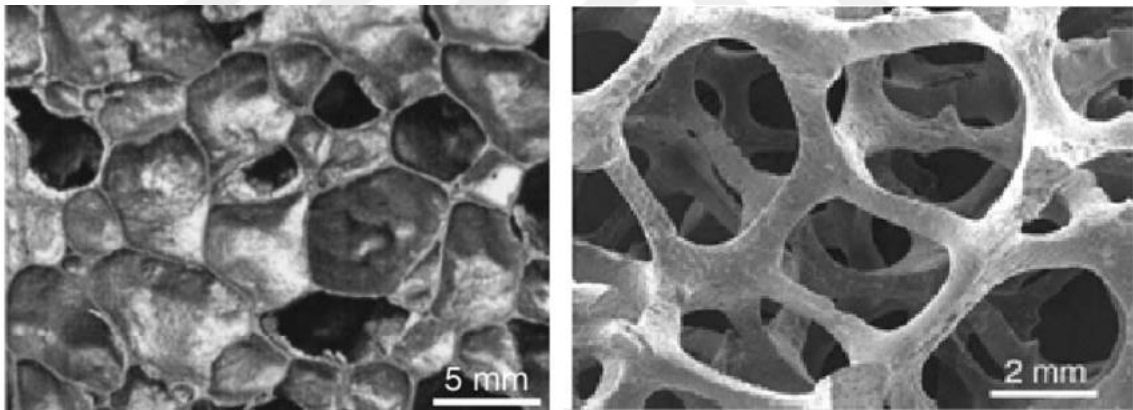
Göreceli yoğunluk boşluklu metallerin özelliklerini ortaya çıkaran karakteristik bir değerdir. Genele bakıldığında gözenekli malzemelerde göreceli yoğunluk değeri 0,3' ten azdır. Tanım yapmak gerekirse göreceli yoğunluk (ρ^*/ρ_s) metal köpüğün yoğunluğu ile (ρ^*) hücre çeperini meydana getiren malzemenin yoğunluğuna (ρ_s) oranı ile bulunur (Başpınar ve Yurtcu, 2011).

Gözenek boyutu

Köpük metallerin mekanik ve ısıl özelliğini az miktarda etkilemesine rağmen gözenek boyutu önemli bir parametredir.

Gözeneklerin boyutu malzeme özelliklerinin modellenmesinde oldukça etkilidir. İki boyuta sahip gözenek yapısına yani bal petek yapısındaki malzemelerin modellenmesi kısmen kolay yapılırken düzensiz yapıya sahip gözenekli köpükler için modelleme yapabilmek çok zordur. Gözenek yapısı üç boyuta sahip köpük metallerin mekanik özellikleri kapalı gözenek veya açık gözenek yapısına sahip olup olmalarına bağlıdır.

Gözenekler kendi içinde hücre duvarı ile ayrılmış köpüklere kapalı hücreli köpükler, gözenekleri arasında bağlantı olan köpüklere ise açık hücreli köpükler denir. Hemen hemen bütün gözenekli malzeme açık gözenekler ve kapalı gözenekler olmak üzere iki türden gözeneği de kendi içinde barındırır (Gibson ve Ashby, 1988). Şekil 3.3'de kapalı hücreli ve açık hücreli metalik köpüklerin mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Kapalı hücreli ve açık hücreli metalik köpük mikroskop görüntüleri (Zhou, 2006).

Gözenek şekli

Eş eksenli gözenek yapısına sahip metalin gözenek şekli izotropik özellik gösterir. Öte yandan uzamış veya az miktarda düzleşmiş gözeneğe sahip olan metalin gözenek şekli yöne bağlı olarak özellik değişimi gösterir (Simanick, 2002: 127-144) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Gaz enjekteli yöntemi ile ortaya çıkartılan köpük metalin hücre yapısı (Prakash vd., 1995).

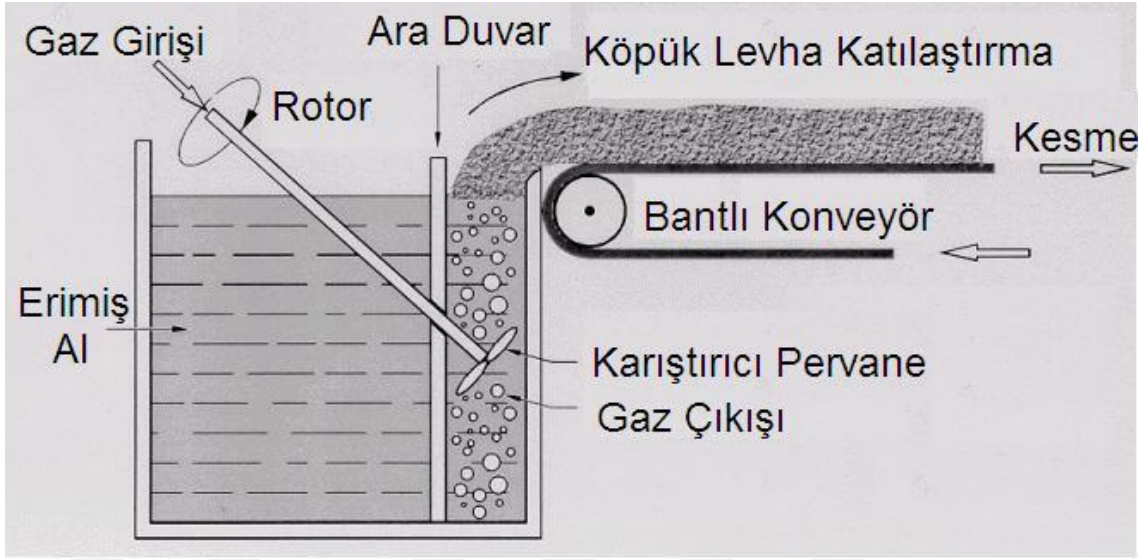
4. METAL KÖPÜK ÜRETİM PROSESLERİ

4.1. Metal Köpüğün Gaz Enjektinde Edilmesi ile Üretimi

Bu işleme göre ergiyik halde bulunan alüminyumun akışkanlığını arttırmak için magnezyum, alüminyum oksit veya silisyum-karbür partikülleri kullanılır. Bu sebeple en başta bu maddeleri içinde barındıran alüminyum ergiyik hazırlanması için bir metal matris kompozit oluşturulur. Silisyum-karbür miktarının artmasıyla malzemenin sertliğinde ve basma dayanımında artışlar sağlanabilir (Şenel vd, 2018). Bu işlem partiküllerin nizami bir şekilde dağıtımının yapılabilmesi için, kapsamlı karıştırma yöntemleri gerektirir (Gergely ve Clyne, 1999:83-89). Aynı zamanda ticari amaçla üretimi yapılan metal köpükler, çoğunlukla eriyik temelli üretim yöntemleri ile ortaya çıkarılır (Sertkaya, 2013).

İkinci adıma geçildiğinde dönen çarkların içerisine enjektinde edilen gazlar (hava, argon, azot) veya özel olarak tasarlanmış titreşimli nozullar tarafından ergiyik köpürtülür. Bunlar metal ergiyikte düzenli bir şekilde dağıtılmış çok ince gaz kabarcıkları oluşturur. Dışarı akan kuru bir metal köpüğe dönüşen ergiyik metal ve kabarcıkların viskoz karışımı ergiyik halde bulunan metalin yüzeyinde yüzer. Ergiyik içerisinde seramik parçalar bulunduğundan, köpük cidarları hemen hemen kararludur ve bantlı konveyör ile sıvı yüzeyine çıkarılarak soğuyup katılaşmaya bırakılır (Şekil 4.1.) (Banhart, 2000b).

Köpük kararlılığını belirleyen birçok etken vardır. Bu etkenlere örnekleyecek olursak; yüzey devinimi, yüzey emilimi, viskozite, hücre duvar kalınlığı ve elastisite denebilir. Köpük kararlılığını hücre duvarlarında kırılma gerçekleşmemesi ve köpüğün drenajının sınırlandırılması anlamına geldiği söylenebilir (Ekerim ve Özer, 2009).

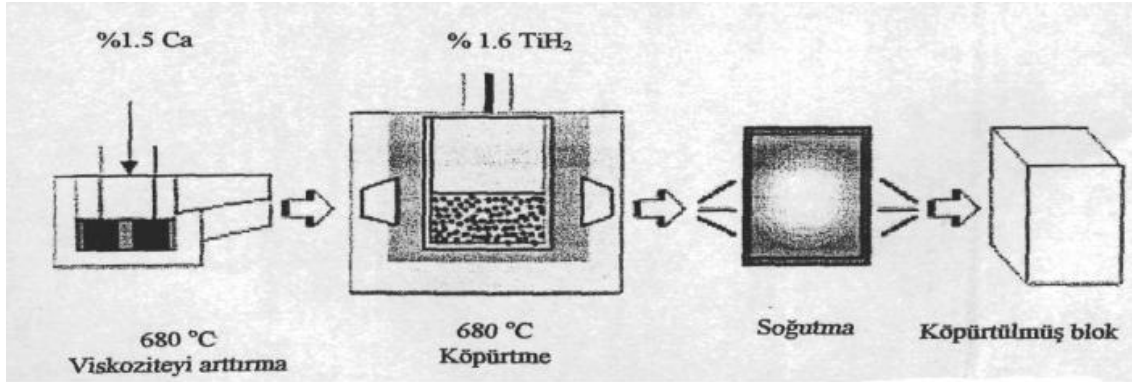


Şekil 4.1. Gaz enjektisi yöntemiyle alüminyum köpük levha üretimi.

4.2. Köpürtücü Madde İlave Edilerek Metal Köpük Üretimi

Ergiyik metali köpürtme işleminin diğer bir yöntemi, ergiyik metale doğrudan bir köpürtücü madde (köpük yapıcı ajan) eklemektir. Isı sayesinde bu köpürtme işlemini sağlayan maddelerin ayrışarak gaz açığa çıkması sağlanmış olur ve köpürme işlemi bu şekilde ilerler (Banhart, 2000b; Miyoshi vd., 2000).

Köpük yapıcı ajanlar TiH_2 , $CaCO_3$, BH_3 v.b. dir. Örneğin TiH_2 uygulanmasında ilk adımda ergiyik halde bulunan alüminyuma $680^\circ C$ de ortalama (% 1,5) kalsiyum eklenir ve kısa bir süre karıştırılır. Viskozitenin sürekli olarak kararlı olmasını ve viskozitenin artmasını kalsiyumun oluşturduğu $CaAl_2O_4$, CaO_2 , Al_2Ca intermetalikleri sağlar. Viskozite istenilen değere ulaşıldıktan sonra (TiH_2) titanyum hidrür ilave edilerek (% 1,6) sıcak viskozlu sıvıda hidrojen gazı açığa çıkarılır. Ergiyik genişlemeye başlayarak köpürme kabını doldurur (Şekil 4.2.). Köpürme süreci sabit basınçta gerçekleşir. Sıvı köpüğün katı alüminyum köpüğe dönüşmesi için kap alایشının erime noktasının altına soğutulur. Sonrasında ayrıca işlenmek için kalıp dışına alınır (Banhart, 2000b). Yapılan çalışmalarda ortaya çıkartılan bilgiler tam anlamıyla hücrelerin ortaya çıkış şeklini açıklayamamaktadır. Bununla beraber gaz seviyesi ve gaz basıncı köpük oluşumuna ve şekline etki etmektedir.



Şekil 4.2. Köpürtücü madde ilavesi ile üretilen metal köpük edilmiştir (Çinici vd., 2004).

4.3. Katı-Gaz Ötektik Katılaşma

Son zamanlarda bu yöntem üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılmış olup, günümüzde de bu yöntem üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ötektik bir sistem oluşturabilmek için bazı sıvı metaller H_2 gazından yararlanır. Eğer bu metallere biri (50 ATM'ye kadar) yüksek basınç uygulanarak bir hidrojen atmosferinde eritilme işlemi maruz bırakılmışsa, sonuçta açığa çıkan hidrojen ile yüklenmiş homojen bir tür ergiyik oluşturur. Soğutulma sonucunda ergiyik heterojen (gaz-katı) iki faz bulunan ötektik bir sisteme geçiş sağlamış olur. Sistem yapı gereği ötektik bileşime uygun ise segregasyon reaksiyonu belli bir sıcaklık değerinde gerçekleşecektir. Ergiyik katı faza geçmeye başladığında gaz boşlukları çökeler ve metal içinde hapsedilir. Boşluk yapıları, ergiyiğin kimyasal bileşimi, hidrojeni ne kadar barındırdığı, ergiyik üzerindeki yön, hareket halindeki ısının ve basıncın oranı ile hesaplanır (Banhart, 2000b).

4.4. Toz Metalurjisi ile Köpürtme

Metal köpükler metal tozları yardımı ile de üretilebilir (Banhart, 2000b; Baumgärtner vd., 2000; Banhart ve Duarte, 2000). Üretimin başlangıç aşamasında köpürtücü bir madde ile toz halindeki metaller (alaşım tozları, metal toz karışımları veya temel metal tozları) karıştırılır.

Kompaktlama genellikle yüksek basınç ve normal atmosfer altında tozların sıkıştırılması işlemidir. Birleşme sırasında boşluklu yapı oluşturma görevini üstlenen etken madde işlemler sırasında iyi karıştırılmalı yeterli seviyede matrisin içine gömülmesine özen gösterilmelidir. Bu şekilde kompaktlama yöntemi örnekleri izostatik (tek eksenli sıkıştırma), toz haddeleme veya çubuk ekstrüzyon olabilir (Banhart, 2000b).

Üretimin başlangıcında karıştırma sürecine ve matris oluşumuna çok dikkat edilmelidir. Dikkat edilmezse heterojen karışım ve başka kusurlar ilerleyen işlemlerde kötü sonuçlar

doğurabilir. Bir sonraki işlem, ergime noktasına yakın sıcaklıklardaki matris malzemenin ısıtılmasıdır. Metal ile matris içindeki köpürtücü madde birbirinden ayrılır ve mevcut malzemede eriyerek gaz kuvvetlerini serbest bırakır. Böylece oldukça gözenekli bir yapı oluşturur (Banhart, 2000b).

Tam genişleme gerçekleşmesi için gerekli süre; mevcut malzemenin büyüklüğüne ve sıcaklığa bağlıdır. Malzeme büyüdükçe süre de artar ve birkaç saniye iken birkaç dakikaya uzayabilir. Bu metot, alüminyum alaşımları ve alüminyum ile üretilmek zorunda değildir; kalay, kurşun, altın, pirinç, çinko, bazı metal alaşımları ve bazı metaller de uygun köpürtme işlemini gerçekleştirebilen maddeler ve uygun üretim yöntemleri tercih edilerek köpürtülebilir (Banhart, 2000b).

Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak köpük metal üretiminde çok dikkat etmek gerekir. Çünkü gözenek boyutlarının artması ve katılaşma gerçekleştiği anda gözeneklerin bozulması, çökmesi ve düzensiz katılaşma gibi hatalar, üretilen köpük metallerin istenilen kalitede üretilmemesine sebep olabilir. Ayrıca diğer bir konuyu belirtmek gerekirse köpürtme sıcaklığına ve köpürtücü ajan oranına bağlı olarak lineer genişleme için artış ortaya çıkar (Türker, 2009).

Toz metalürjisi metodu ile bilinen basit metal köpük üretiminin yanı sıra, profil içerisinde köpürtme, içi boş kalıp veya sandviç köpük ve küresel köpük üretilmektedir. Bu sayede profillerin kullanılacakları yerlere bağlı olarak enerji sönmeme kabiliyetleri artacaktır (Kılıçaslan, 2016). Bu metot ile üretilenlere ait örnekler Şekil 4.3, 4.4, 4.5 de verilmektedir.



Şekil 4.3. İçi boş profil veya kalıp içerisinde köpürtme (Türker, 2009).



Şekil 4.4. Küre şeklinde köpük (Türker, 2009).



Şekil 4.5. Sandviç şeklinde köpük (Türker, 2009).

4.5. Köpürtücü Madde İçeren Külçelerle Köpük Üretimi

Kompakt toz ergitme yöntemi, alüminyum ergiyik içine titanyum hidrür parçacıkları birleştirilmesiyle köpürebilir kompakt bir malzeme hazırlamak, toz metalurjisi kullanmaktan daha cazip gelmiştir (Banhart, 2000b).

Bu metoda ergiyik kısa süre karıştırılarak başlanır. Hidrür tozu bir oksit çeperi oluşmadan önce ısıtılarak ergimiş metale karıştırılır. Oksit çeperi hidrür tozlarını hapsederek boşlukları oluşturacak gaz oluşumunu geciktirir. Bu sayede aniden köpük oluşmaz. Alüminyum karışımı ve hidrür, katılaşmak için soğutulur (Bilhan 2003).

5. METAL KÖPÜKLERİN KULLANIM ALANLARI

Yoğunluğu küçük olan köpük metaller sahip oldukları; titreşim azaltma, gaz geçirme, ısı iletkenlik, ses sönümlenme ve enerji sönümlenme özellikleri sayesinde birçok alanda kullanılır. Bu kullanım alanlarına örnek verecek olursak inşaat ve otomotiv öncü sektör olsa da biyomalzeme, havacılık-uzay endüstrisi ve gemicilik gibi gelişen sektörlerdir (Polat vd., 2010; Kavi vd, 2006; Banhart, 2000a).

Araçların motor bölümünde, köpük malzemeler hafif ve mukavemetli olmalarının yanı sıra ses ve ısı yalıtkanlığı özelliği sayesinde tercih sebebidirler (Polat vd., 2010; Banhart, 2000a). Ayrıca otomobil üretiminde güvenliği arttırmak amacıyla da tampon ile şase arasındaki bölgeye konumlandırılan kaza kutusunda ayrıca tamponlarda-kapıda dolgu ürünü yerine kullanılmaktadır (Polat vd., 2010; Banhart ve Weaire, 2002).

Bir diğer tercih sebebi olan sektör de düşük yoğunlukta yüksek mukavemet sağladıklarından dolayı havacılık sektörüdür. Alüminyum köpükten üretilmiş düşük ağırlıklı yüksek mukavemetli sandviç paneller ve plakalar özellikle diğerlerine nazaran ucuz olmayan bal petek yapısına sahip kompozit metaller de ekstra seçenek olarak düşünülebilmektedir.

Düşük yoğunluğa rağmen korozyon direnci ve hafiflik denizcilik sektöründe de köpük alüminyum tercih sebebi haline getirir. Özellikle özel şartlara ve kişiye göre üretimin yaygın olduğu gemicilik sektöründe köpük alüminyum talep edilen bütün koşullara uyacak şekilde şekillendirilebilen bir metaldir (Polat vd., 2010; Ekerim ve Özer, 2009).

Alüminyum köpüğün en çok tercih edildiği bir diğer alan olan inşaat endüstrisindeyse, çatı kaplamaları ve ara bölmelerdeyse yalıtım amacıyla, bina cephelerinde ise giydirme amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca ses soğurması ve ses yalıtımı özellikleriyle otoyollarda, tünellerde ve viyadüklerde ses bariyeri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Prefabrik yapıları ve hareketli köprülerin inşasında alüminyum köpük kullanımı hafifliği sayesinde oldukça avantaj kazandırmaktadır (Polat vd., 2010).

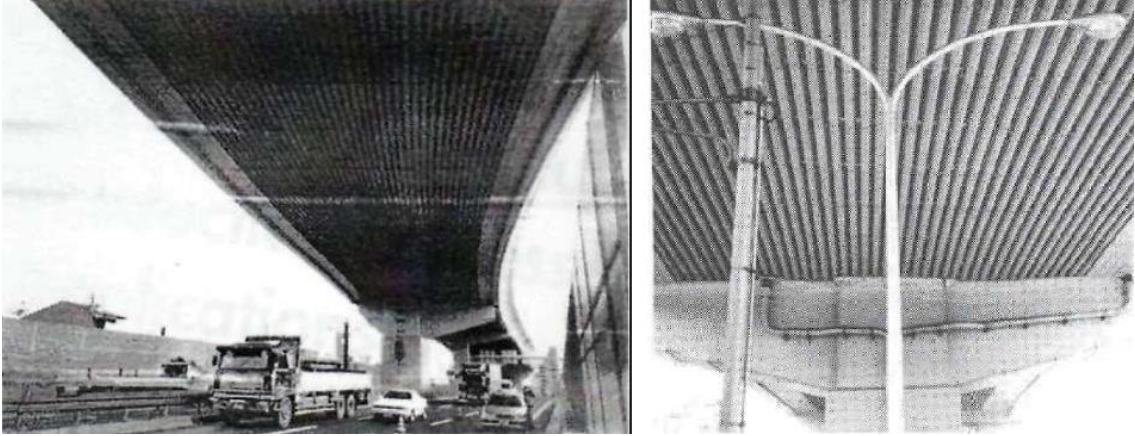
Kompakt ve mikro-gözenekli ısı değiştiricilerde, hava soğutmalı kondansatörlerde, elektronik aletlerin soğutulmasında, endüstriyel fırınlarda, kütle transferinde, spor malzemelerinde, demiryolu endüstrisinde, kimyasal elektronik reaktörlerde, alev tutucularda, dekorasyonda ve otomotiv sektöründe de köpük alüminyumlar büyük ölçüde tercih edilmektedir (Polat vd., 2010). Tablo 5.1'de Metalik köpüklerin uygulama ihtiyacına göre istenen belirgin özellikleri ve örnek uygulamaları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Metalik köpüklerin kullanım alanları.

UYGULAMA İHTİYACI	İSTENİLEN BELİRGİN ÖZELLİK	ÖRNEK UYGULAMALAR
Hafif yapılarda	Bükmeye karşı özellikle yüksek tokluk/ağırlık oranı	Al köpük bagaj kapağı olarak, uzay endüstrisinde
Sandviç yapıların omurgası	Düşük yoğunluk yüksek kayma ve çatlak mukavemeti	Kompozit yapılarda
Mekanik sönümleme	Katı maddelerden 10 kat fazla enerji sönümleme	Çarpışma elemanı (crash box) olarak, alüminyum araba yedek parçalarında
Titreşim kontrolü	Aynı ağırlığa sahip katı malzemeye nazaran köpük panellerin bükülme altında doğal titreşim frekansının yüksekliği	Araba motor blokları
Akustik absorblama	Ağ yapısına sahip metalik köpüklerin akustik absorblama özelliklerinin yüksekliği	Yapı malzemesi
Enerji ile etkileşimi	Sabit basınç altında yüksek enerji absorblama özelliği	Spor aletleri
Isı ile etkileşimi	Açık hücreli yapılar özellikle daha fazla yüzey alanına sahip olduklarından yüksek ısı iletim özelliklerine sahiptirler	Isı değiştiriciler, buzdolabı
Isı kalkanı	Özellikle alüminyum köpüğün kapalı hücre yapısında direk ateşe üstün direnç özelliği	Askeri uygulamalarda, ateş söndürücü
Döküm için tüketilir çekirdek	Alüminyum dökümde kompleks şekilli yapıların oluşturulması	Dökümde maça olarak Al köpük kullanılması
Biyoyumlu ara bağ aparatları	Biyoyumluluk özelliği	İmplant malzeme olarak kalça, kol vb. protezler (titanyum köpük)
Filtreler	Yüksek sıcaklık gaz ve sıvıların filtrasyonunda	Nikel köpükler, kimyasal filtre olarak
Korozyon direnci	Korozyona karşı yüksek direnç	Korozyon direnci yüksek metalik köpükler özellikle denizcilik uygulamalarında
Elektrikli görüntüleme	Yüksek elektrik iletkenliği, mekanik mukavemet, düşük yoğunluk özellikleri	İntegrated Gate Bipolar Transistör
Elektrot ve katalitik taşıyıcılar	Yüzey alan/hacim oranına bağlı yüksek reaksiyon yüzey alanı	Ni-Cd pillerde

5.1. Gürültü Kontrolü

Ses emilimi ve yalıtımı otomotiv sektöründe oldukça önemlidir. Otomobillerin hava kirliliğinin yanı sıra gürültü kirliliğini de önlemek amacıyla alüminyum metal köpükler tercih sebebidir. Örneğin köprüyol alt yüzeyine levha şeklinde yerleştirilen ALPORAS metal köpük yapısı köprüyol altında bulunan yolda seyir eden taşıtların seslerini sönümleyerek gürültü kirliliğini minimuma indirmektedir. Şekil 5.1'de köprüyol altında ses emen levha yapı gösterilmiştir (Yavuz, 2010).



Şekil 5.1. Viyadük altında ses yalıtımı için levha yapı kullanımı (Miyoshi vd., 2000).



Şekil 5.2. Ses yalıtımı deneyi.

Sesi kontrol etmek amacıyla genellikle polimer köpükler tercih edilir. Köpük metallerin kayıp faktörü çok yüksek, elastisite modülü üretildikleri ham metale göre düşüktür, bu sayede ses titreşimini sönmüleyebilir. Köpüğe gelen ses dalgalarının bir kısmı metal köpüğün yapısında soğurulurken bir kısmı yansıtılır. Köpük metaller 1-5 kHz frekanslarında %99 ses titreşimlerini soğurabilir (Şekil 5.2, 5.3, 5.4).

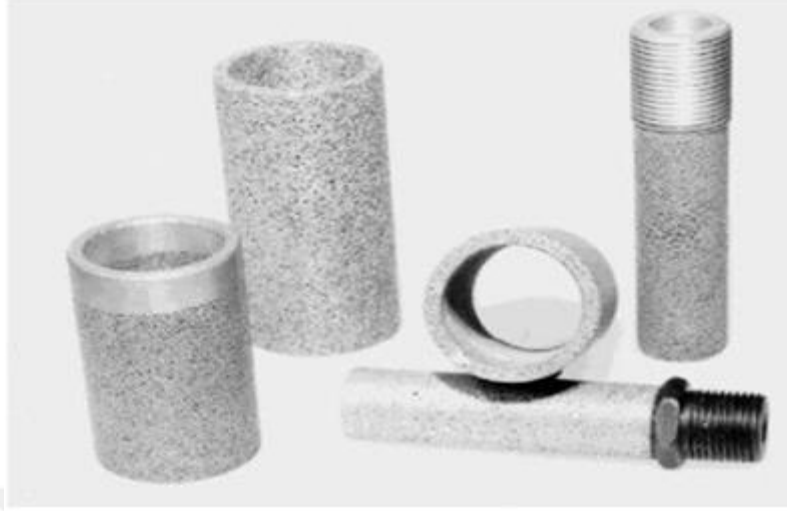


Şekil 5.3. Yerleşim alanlarına yakın otoyolları için ses yalıtımı.



Şekil 5.4. Otoyolda ses yalıtımı uygulaması.

Kompresörler ve pnömatik sistemlerde gürültüyü azaltmak için şekil 5.5’de örneği görülen uygun susturucular kullanılarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.5. Kompresörler için üretilmiş susturucular (Banhart, 2005).

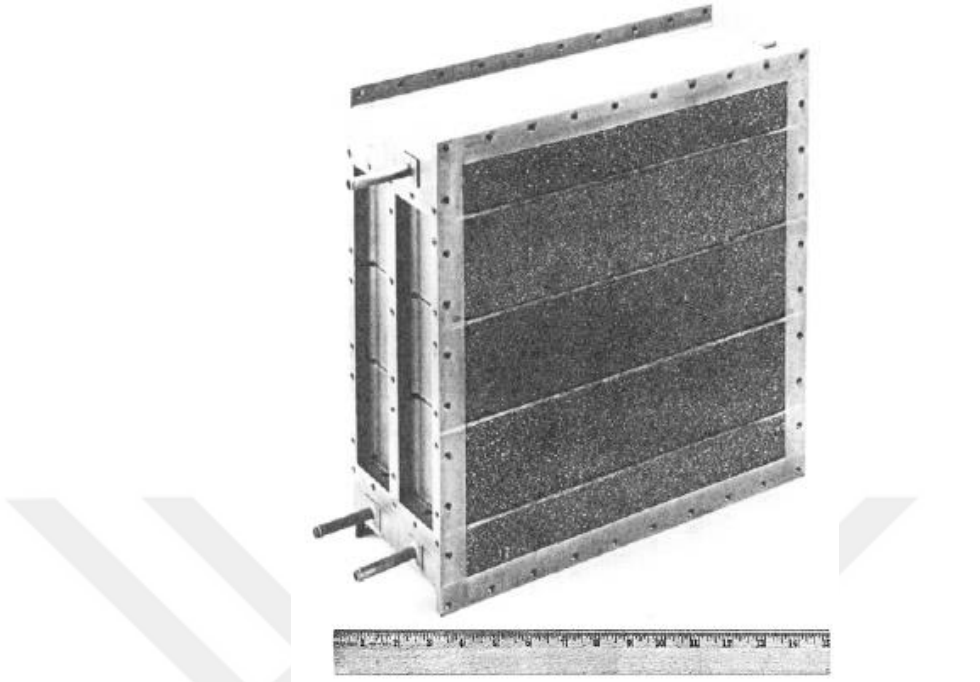
5.2. Uzay ve Hava Endüstrisi

Metal köpüklerin hafif olması otomotiv endüstrisinde olduğu kadar havacılık endüstrisi için de çok önemli bir etkidir. Uzay endüstrisi de köpük metallerin uzay taşıtları iniş takımlarında, enerji sönmleyen çarpışma malzemesi yerine kullanılmasını üzerinde çalışılmaktadır (Yavuz, 2010). Şekil 5.6'daki Ariane 5 roketi üzerinde konik şeklindeki yapı öncesinde bal peteği biçiminde alaşımdı ve çok pahalı yöntemler ile üretiliyordu. Bu bal petek alaşım, üretimi daha kolay ve çok daha az maliyet ile sandviç köpük tabakalar tercih edilmiş ve tercih edilen bu sandviç yapı istenilen mukavemet değerlerine sahip talep edilen ağırlığı taşıyacak şekilde üretilmiştir.



Şekil 5.6. Sandviç köpük panelden üretilmiş roket konisi (Banhart ve Seelinger, 2008).

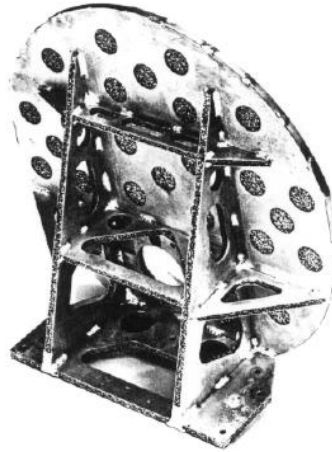
Otomotiv ve uzay-havacılık endüstrisinde köpük metallerin hafif aynı zamanda mukavemetli yapılarının kullanımı birbirine çok benzemektedir. Havacılık ve uzay endüstrisi de tıpkı otomotiv endüstrisi gibi metal köpük sandviç panelleri performansı yüksek olmasına rağmen maliyeti daha ucuza getirdikleri için cazip gelmektedir (Şekil 5.7). Boeing firması kapsamlı çalışmalar sonucunda köpük alüminyum sandviç ve geniş titanyum köpük sandviç parçaları gaz hapsedme yöntemiyle üretmiştir. Bu üretilen köpükler helikopterlerin kuyruk borusu yerine monte edilmiştir. Bu köpük sandviçlerin eğri ve üç boyutlu olarak üretilebilmeleri en büyük avantajıdır (Şekil 5.8, 5.9, 5.10).



Şekil 5.7. Duocel ERG tarafından üretilen ısı değiştirgeci birimi.



Şekil 5.8. Kompozit ayna (Düşük yoğunluklu) yapımında yararlanılan köpük.



Şekil 5.9. Optik teleskop için kullanılan güneşlik alüminyum köpük.



Köpük Metal

Şekil 5.10. Uçak kanadında metal köpük kullanımı.

5.3. Gemi Yapımı Endüstrisi

Hafifletilmiş yapılar su üzerinde kalma görevleri için gemi inşa endüstrisinde çok büyük bir yere sahiptir. İleri teknolojiler ile donatılmış yolcu taşıma görevini üstlenen gemilerin tamamını alüminyum bal peteği, alüminyum levha ve alüminyum ekstrüzyon yapılarından üretilmektedir. Bu uygulamaların bazılarında köpük alüminyum çekirdekli sandviç paneller söz sahibi olacaktır. Sağlam ve hafif bir yapı elde ederken mükemmel sönüm davranışından ödün vermemek için çekirdek malzemesiyle yüzey çeperleri oldukça elastik bir malzeme olan poliüretan yapıştırıcılar ile birbirine bağlanmalıdır. Metal köpüklerin gemcilik endüstrisindeki kullanım alanları (Şekil5.11); anten platformları, fişek ambarları, geminin içindeki bölmeler ve ambar platformları gibi bölümleri kapsamaktadır (Yavuz, 2010).



Şekil 5.11. Gemilerde köpük metal kullanımı.

- Al Köpük sudan hafif olmasına rağmen katı bir malzemedir.
- Alüminyum köpük normal alüminyumdan %80 hafif olmasına rağmen, kütle alüminyum'un kimyasal dayanımına sahiptir.

5.4. İnşaat Endüstrisi

Köpük alüminyum ile köpük olan paneller asansörlerin harcadıkları enerjiyi daha aza indirmek amacıyla yardımcıdırlar. Yeni nesil asansörlerin hızlarının yüksek olmaları sebebiyle hızlanma ve yavaşlama esnasında hafif yapı elzemdir. Bununla birlikte, ağır olmayan ve ağır olan inşa yöntemi güvenlik şartlarına uygun olmalıdır. Yangın duvarları ile yangının çıkış noktaları güçlü olmayan iletken termali ve yangına dayanıklı olan köpük alüminyum malzemelerle yapılmaktadır. Bina endüstrisinde pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Birden fazla destek elemanı da alüminyum köpükten yapılabilir (örneğin merdiven korkulukları, balkon tırabzanları). Bugün bu amaçla değerlendirilen birden fazla malzeme hem ağırlıkları çok yüksek hem de yanıcı özelliktedir. Köpük alüminyum tercih edildiğinde bu sorunlar bertaraf edilmiş olacaktır. Şekil 5.12'de metalik köpüklerin inşaat endüstrisinde kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.



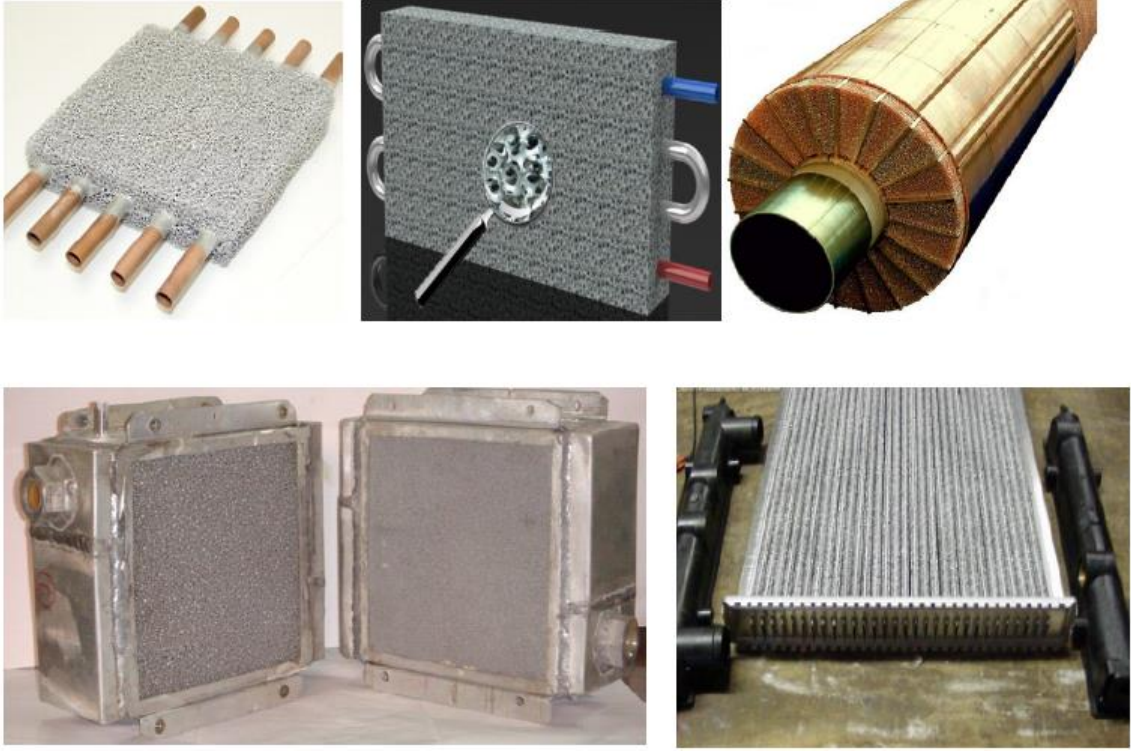
Şekil 5.12. Yapı malzemesi olarak kullanımı.

5.5. Spor Malzemeleri

Spor malzemeleri bu sektör için fazla olabilecek maliyetleri olmasına karşın, uygulamaya değecek alanlar keşfetmiştir. Spor malzemelerine örnek olarak futbol oyuncularını için kaval kemiğini koruyan (tekmelik) verilebilir. Çünkü yapımı esnasında iyi emilen enerjiden dolayı köpük alüminyum kullanılır.

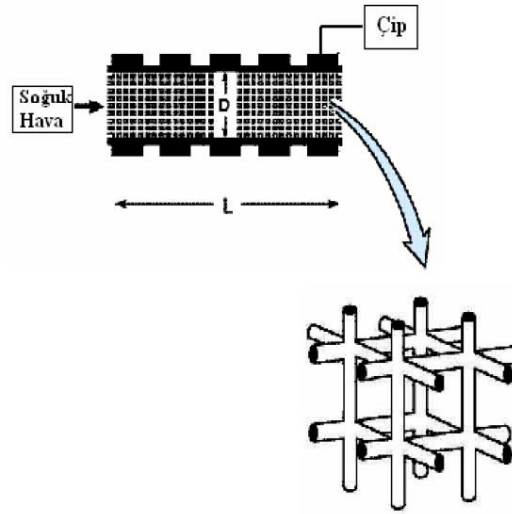
5.6. Isı Değiştiriciler

Direnci olan korozyon olması ve fazla termal iletkenlik özelliği sayesinde açık hücreli köpük olan metaller ısıyı değiştirici olarak değerlendirilebilirler (bakır bazlı köpük olan metaller ve açık hücreli alüminyum). Hücreleri kapalı olan köpük metaller ise zayıf termal iletkenlikleri olduğu için kalkan olarak termal kullanılır. Yüzeyleri soğutma amacıyla da kullanıldığı görülür bunun sebebi olarak da ısı transferini kolaylaştıran büyük yüzey alanı/hacim oranlarının olmasıdır (Doğan vd., 2015). Köpük metalin ısı değiştirici olarak kullanıldığı yerlere örnek verecek olursak, bilgisayar çipler, soğutma radyatörleri ve elektroniğin gücü için de mikro olan elektronik cihazlar verilebilir (Güven, 2011). Şekil 5.13'de köpük olan metal matrisinin içine yerleştirilmiş olan tüplerden oluşturulmuş geliştirilmiş fazla sıcaklık radyatörü ve diğer ısı değiştirici örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 5.13. Köpük metal ile üretilmiş ısı değıştirci.

Büyük kuvvet altındaki elektronik uygulamasına, mikroçiplerin silisyum basınçlı devir daimi ile soğutma işlemi örnek verilebilir. Silisyum Mikroçipler sıcaklıklarının alt seviyelerde korunması gerekmesiyle birlikte büyük kuvvetler altında 107 W/m^2 'nin üzerindeki güç yoğunluğunda çalışırlar. Şekil 5.14'de gösterildiği üzere alüminyum köpük sandviç yapının (açık hücreli) üzerindeki iki plakanın üzerine çipler yerleştirilmiştir. Basınç yardımı ile soğuk hava çipleri de soğutma sağlamaktadır.



Şekil 5.14. Metal köpük (Açık hücreli) yardımıyla soğutulan çoklu çip modülü.

5.7. Filtreleme ve Ayrıştırma

İki farklı filtre vardır bunlar; bir gaz içerisinde dağılarak sıvı veya katı partikül hapseden filtreler ya da katı partikülleri veya bir sıvı içerisinde dağılmış olan lifleri hapseden ve ayrışmasını sağlayan filtreler olarak ayrılır. Birinci filtre yöntemine örnek olarak; geri dönüşüm yapılmış eriyik haldeki polimerleri ve kirlenmiş yağ temizlemek için, biradan maya ayırmakta kullanılan filtreler verilebilir. Bir diğer filtre yöntemine örnek olarak; hava akışını sağlayan yollarındaki su birikintilerinin giderilmesini ve mazot dumanlarının filtrelenmesini kapsamaktadır. Filtre yöntemlerinde elzem olan özellikler şunlardır; hassasiyeti olan filtreleme kapasitesi, temizlenebilirlik, ne kadar çok partikül hapsettiği, korozyon direnci, maliyet ve mekanik özelliklerdir. Bu yüzden tüm bu özellikleri kapsadığı için köpük metaller filtre görevi için de kullanılmaktadır (Banhart, 2001).

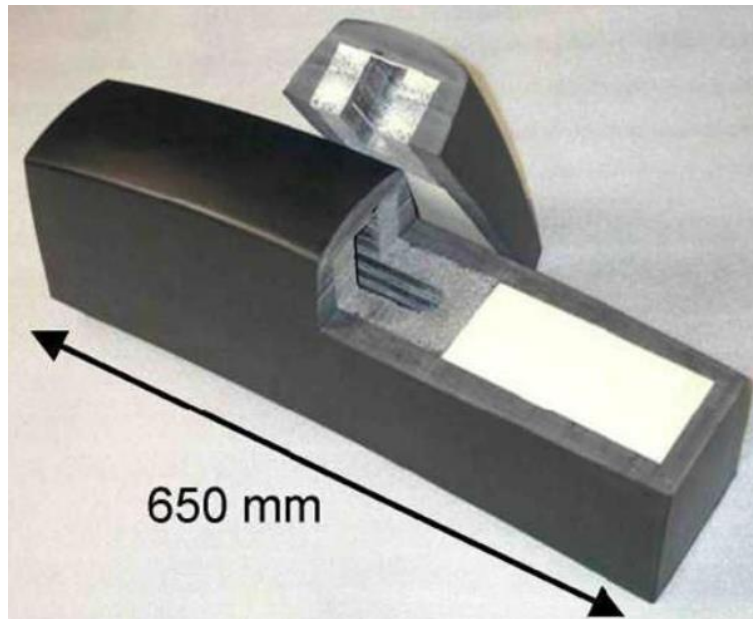
5.8. Demiryolu Endüstrisi

Kentsel alanlarda çalışan tramvaylar için kaza riski yüksek ve özellikle kentsel alanlarda çalıştıkları için çok önemlidir. Japonya'da trenler çarpma enerji soğurmasını arttırmak ve kazanın sonuçlarını azaltmak amacıyla köpük metal bloklarıyla üretilmiştir. Avantajları ve amaçları otomobillerdeki kullanımı ile aynıdır, fakat yolcu taşıyan vagonlar çok daha büyüktür.



Şekil 5.15. Demiryollarında kullanımı.

Özellikle tramvaylarda otomobiller ve yayalar ile temas etmesi gibi hafif çaplı çarpışmaları önlemek için etkili çarpışma koruması gereklidir. Şekil 5.15 ve 5.16’da tramvayın ön kısmında siyah renkte çarpışma emici blok örnek olarak gösterilmiştir (Yavuz, 2010).



Şekil 5.16. Tramvaylar için darbe emici yapı (Banhart, 2005).

5.9. Makina Yapımı

Makine imalatında köpük metallerin bazı ilginç uygulama örnekleri vardır. Dingil gibi sürekli tercih edilen metallere yapılan bazı parçaların yerine sönümleme özelliği artırılmış ve ataleti azaltılmış dolgu köpük kolon parçaları kullanılabilir. Bu şekilde parçalar freze, boya üretim makinelerinde ve matkaplarda kullanılabilir. Köpük metal gövdeye sahip malzemeler elektromanyetik kalkan olarak elektrik ile çalışan makinelerde kullanılabilir. Titreşimli çalışan öğütme makinelerinde zararlı ve fazladan titreşimi sönümlemek amacıyla kullanılabilir.

5.10. Biyomedikal Endüstrisi

Titanyum ya da kobalt-kromyum alaşımları, biyolojik yapılara uyumludur. Bu nedenle diş protez ve kemik protezlerinde kullanılır. Köpük metal kullanılarak üretilmek istenen malzemede yoğunluk dağılımı talep edilen şekilde biçimlendirilebilir.

5.11. Katalizör Yatakları

Katalizörlerin ne kadar verimli olduğu katalizör ve tepkiyen gaz ya da sıvı arasındaki temas eden yüzey alanının ne kadar büyük olduğuna bağlıdır. Bundan dolayı katalizör ne kadar fazla gözenekli bir yapıda üretilirse o kadar verimlidir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda gözeneklere sahip seramiklere başvurulabilir. Seramikler termal iletkenliği de sünekliği de yüksek olsalar bile köpük metaller bu malzemelerin yerine kullanılabilir.

5.12. Sıvıların Depolanması ve Transferi

Boşluklu malzemelerin kullanım alanlarından bir diğeri parçalar arasındaki boşluklar arasına yağ depolamaktır. Böylece akış hızını yavaşlatarak kendini yağlayabilir kullanılan yağ değiştirilir. Uygulamada yağ kullanmak zorunlu değildir. Otomatik rutubet kontrolü için su kullanılarak yavaşça salınım sağlanabilir. Boşluklarda parfüm depolanarak buharlaşma sürecinin ağır ağır geçmesi sağlanabilir. Boşluklu lüleler suyu veya yapıştırıcıları hapsedebilir ayrıca yüzeylere dağıtabilir. Ayrıca hücreleri açık metalik yapılar soğuk ortamlarda çalışması istenen durumlarda değişken ya da sabit sıcaklıklarda sıvı hapsedilmesi amacıyla tercih edilebilir. Köpük metaller, tamamen dolu olmayan tanklarda talep edilmeyen dalgalanma hareketlerinde bariyer görevi görebilir.

5.13. Akışkanların Akış Kontrolü

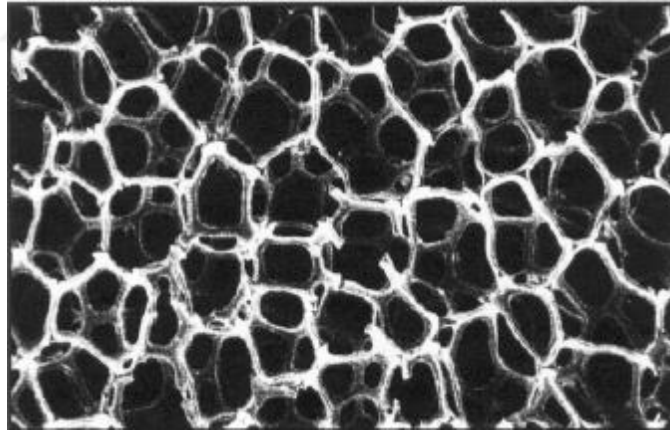
Aralıklı malzemeler gazların ve sıvıların akışlarını kontrol etmek için kullanılabilir. Köpük metaller rüzgâr tünellerindeki valflerde akış dağıtıcılar ve akış düzenleyiciler olarak kullanılmaktadır.

5.14. Püskürtücüler

Bazı çalışmalarda sıvının içine gazın homojen şekilde ve sabit bir oranda ekleme gerektirir. Böyle bir uygulamaya meşrubatlara karbonat ilave edilmesi örnek verilebilir. Bu işlem; korozyon, şok direnci ya da sıcaklık gibi ölçütlerini organize eden, küçük gaz kabarcıklarını talep edilen derecede üretebilen boşluklu bir malzeme gerektirir. Seramiklere nazaran köpük metaller daha iyi tercih olabilir.

5.15. Pil Elektrotları

Kurşun köpükler, çok hafif elektrotlar üretebilmek için geleneksel kuşun kafesleri kullanmak yerine kurşun-asit pillerde aktif malzemeye yatak vazifesi üstlenebilirler (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. NiMeH ile NiCd bataryalarda artı elektrot olarak kullanılan köpük haldeki nikel.

5.16. Alev Durdurucular

Yanıcı gazların alev yayılmasını durdurmak için yüksek iletkenlikteki hücre duvarı malzemesine sahip hücresel metaller kullanılabilir. Alev durdurma özelliğine sahip bazı açık hücrelere sahip köpükler 500 m/s'den daha hızlı ilerlemekte olan alevi durdurabilir.

5.17. Elektrokimyasal Uygulamalar

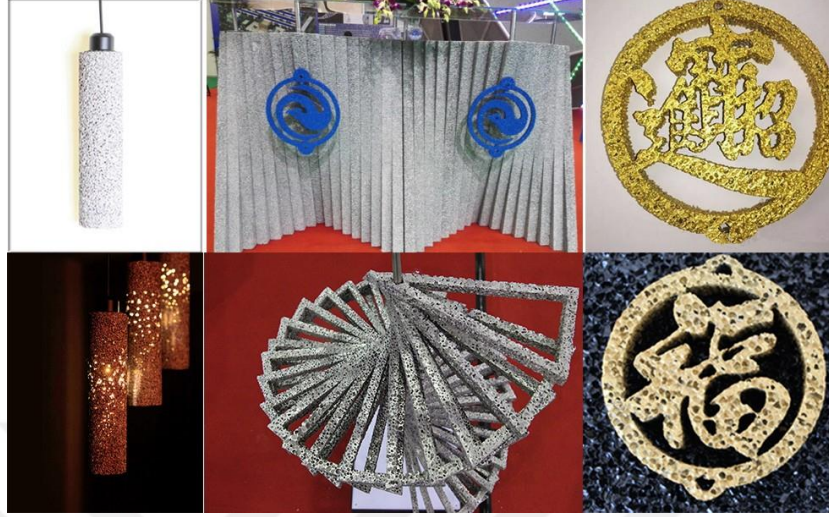
Elektrokimyasal reaktörlerde nikel köpükler elektrot olarak, pres-filtre elektrotlarında izolasyonu sağlanmış metal plakalar tercih edilir. Metal tabakalar yalıtım zarıyla ve türbülansı destekleyen plastik gözenek (mesh) ile ayrılmıştır. Türbülans desteği korunurken elektrot yüzeyini arttırmak için gözenekler açık kanallı hücresel nikel tabakalarla değiştirilir. Böylece reaktörler çok daha kompakt bir şekilde üretilebilirler.

5.18. Dekorasyon ve Sanat İçin Hücresel Malzemeler

Tasarımcıların hayal gücünün harekete geçmesini tetikleyen yeni ürün metal köpüklerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Sanatsal ya da estetik uygulamaların yegane amacı, klasikleşmiş malzemelere göre çok daha farklı dokunsal tesir ve görsel yaratmaktır (Şekil 5.18). Gümüş veya altın temeli olan köpükler kuyumculuk endüstrisine yeni ve farklı bir bakış açısı getirerek düşük ağırlıkta büyük bir hacim sağlayan ve harika bir görsel güzellik kazandıran bir malzemedir. Alüminyum köpükler lambalar, saatler, çarpıcı mobilyalar vs. üretiminde kullanıldı (Şekil 5.19, 5.20). Eğer sandalyeler ve masalar alüminyum köpükten üretilse mekanik performans yüksek oranda artmış olur. Köpük alüminyum yüksek bütçeli ses sistemlerinin üretiminde de kullanılmıştır. Köpük sadece yüksek yüksek mukavemet değerleri ya da güzel mekanik sönümleme değerleri sağlamakla yetinmeyip klasikleşen malzemelere göre daha teknolojik, yenilikçi ve estetik görsellik sunar.



Şekil 5.18. Metal köpükten üretilen masa ve sandalyelerin tasarımcısı Max Lamb.



Şekil 5.19. Tasarım uygulamaları.



Şekil 5.20. Dekoratif uygulaması.

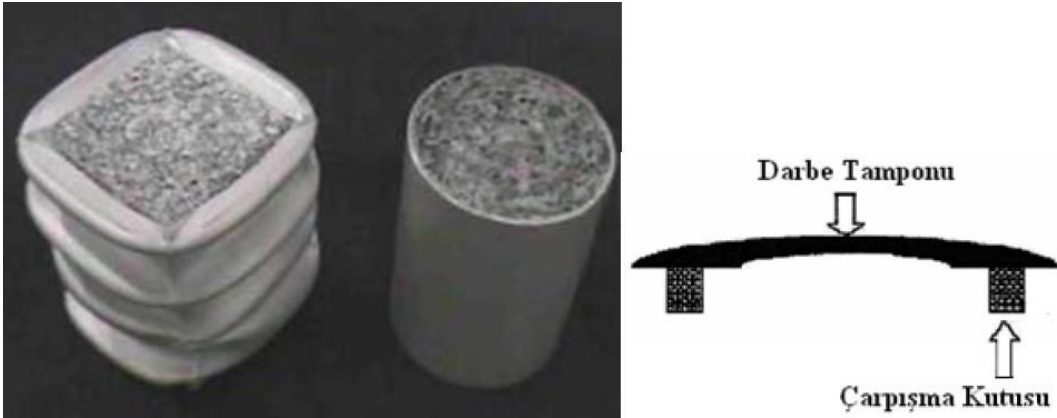
5.19. Otomotiv Sektörü Uygulamaları

Köpük alüminyumlar sağlam ve hafif olduğu için araçların ağırlıklarını düşürmek amacıyla otomotiv sektöründe oldukça kullanışlıdır. Üç boyutlu sandviç paneller taşıtlardaki orijinal çelik saç panellerden yaklaşık %25 daha hafif ve sekiz kat daha sağlamdır (Yavuz, 2010) (Şekil 5.21).

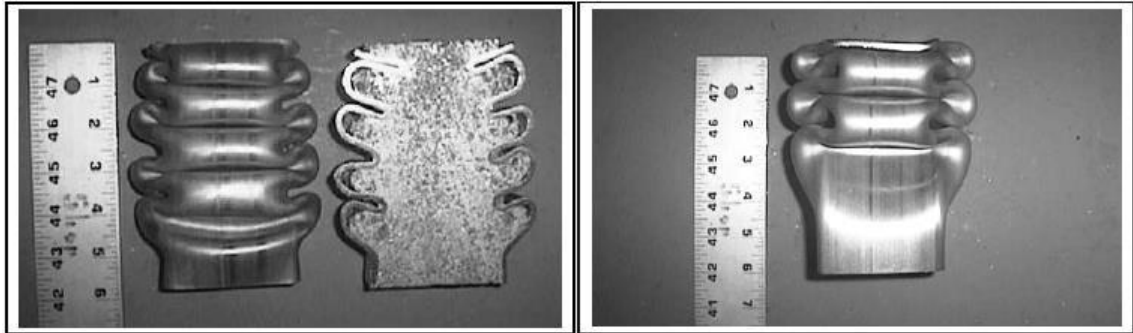


Şekil 5.21. Alüminyum metal köpük sandviç panel örneği (Banhart, 2005).

Ayrıca köpük alüminyumlar otomotiv sektöründe araçlardaki çarpışma emici olarak görev almaktadır. Bunun neticesinde çarpışma kutu çeşitleri tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Darbe tamponuyla ön korkuluk arasında bu çarpışma kutuları konumlandırılır. Şekil 5.22’de çarpışma kutusu gösterilmektedir. Bu çarpışma önleyici kutular 20 km/s süratin altında gerçekleşen bir kazada bütün darbe enerjisini sönmüleyerek deforme olurken otomobillerin şasisinde ortaya çıkacak bir hasarın önüne geçilir. Şekil 5.23’de uzunlukları aynı içi köpük alüminyum ile dolu ve içi köpük olmayan paslanmaz 304 çeliğinin aksenel yönde uygulanan kuvvet altında deforme görüntüleri verilmiştir (Yavuz, 2010).



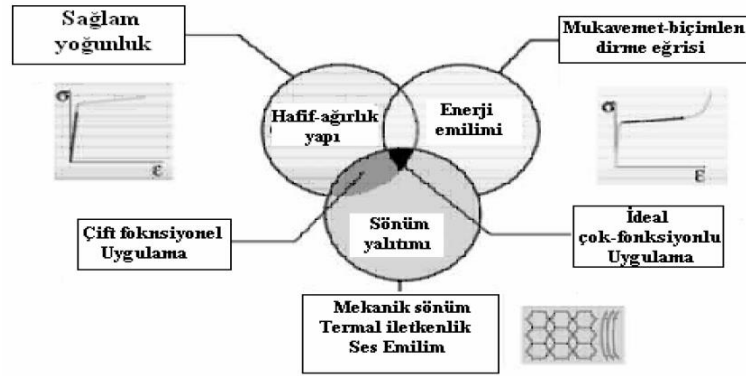
Şekil 5.22. Çarpışma kutusu örnekleri (Banhart, 2005).



Şekil 5.23. Eksenel yönde basınç altında kalan içi alüminyum köpüklü ve köpüksüz paslanmaz 304 çeliğin deformasyonu.

Ray bazlı sistemlerde de enerji emicileri kullanılabilir. Tramvayları buna örnek gösterebiliriz. Tramvaylarda, arabalarla bağlantı gibi yumuşak çarpışmalardan korunmak için etkili çarpışma koruması gereklidir. Aynı zamanda, yaya kazalarında çarpışmadan sonra araç altında sürüklenmelerini engel olmak için koruma bulunmalıdır. Şekil 5.16'da çarpışma emici sistemde köpük metalin önemi gösterilmiştir (Yavuz, 2010).

Otomotiv sanayisinde; metal köpüklerin hafif ve dirençli olduğundan sürekli kullanılan yapısal uygulama alanlarından biridir. Şekil 5.24'de otomotiv sektöründe üç farklı özellikte kullanılan alüminyum köpükler şema ile gösterilmiştir. Bu şekilde bulunan kutucuklar dairelerde bulunan köpük özelliklerinin faydalarını gösterirken, daireler de üç uygulama alanını göstermektedir. İdeal olanı üretilen köpük metalin üç özelliği de barındırabilmesidir.



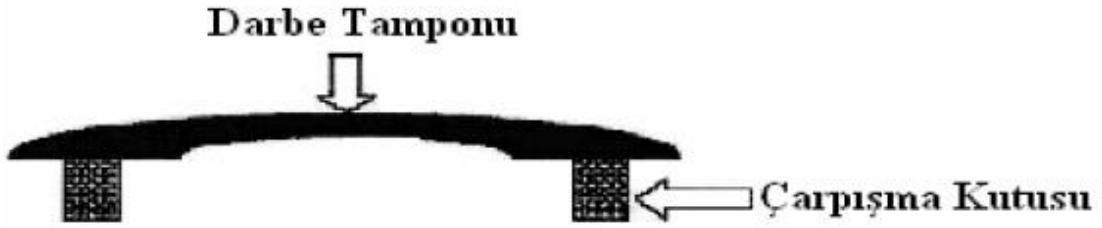
Şekil 5.24. Metalik köpüklerin otomotiv sektöründe uygulamaları (Banhart, 2005).

Otomobillerin ağırlıklarını düşürmek için yapılan çalışmalarda hafif ve güçlü alüminyum sandviç yapılar çok yardımcı olmuştur. Üç boyutlu bu alüminyum köpük sandviç araçlardaki şimdiye kadar kullanılan çelik panellerden ortalama sekiz kat güçlü olup, %25 oranında hafiftir. Şekil 5.25’de alüminyum sandviç yapı görülmektedir.



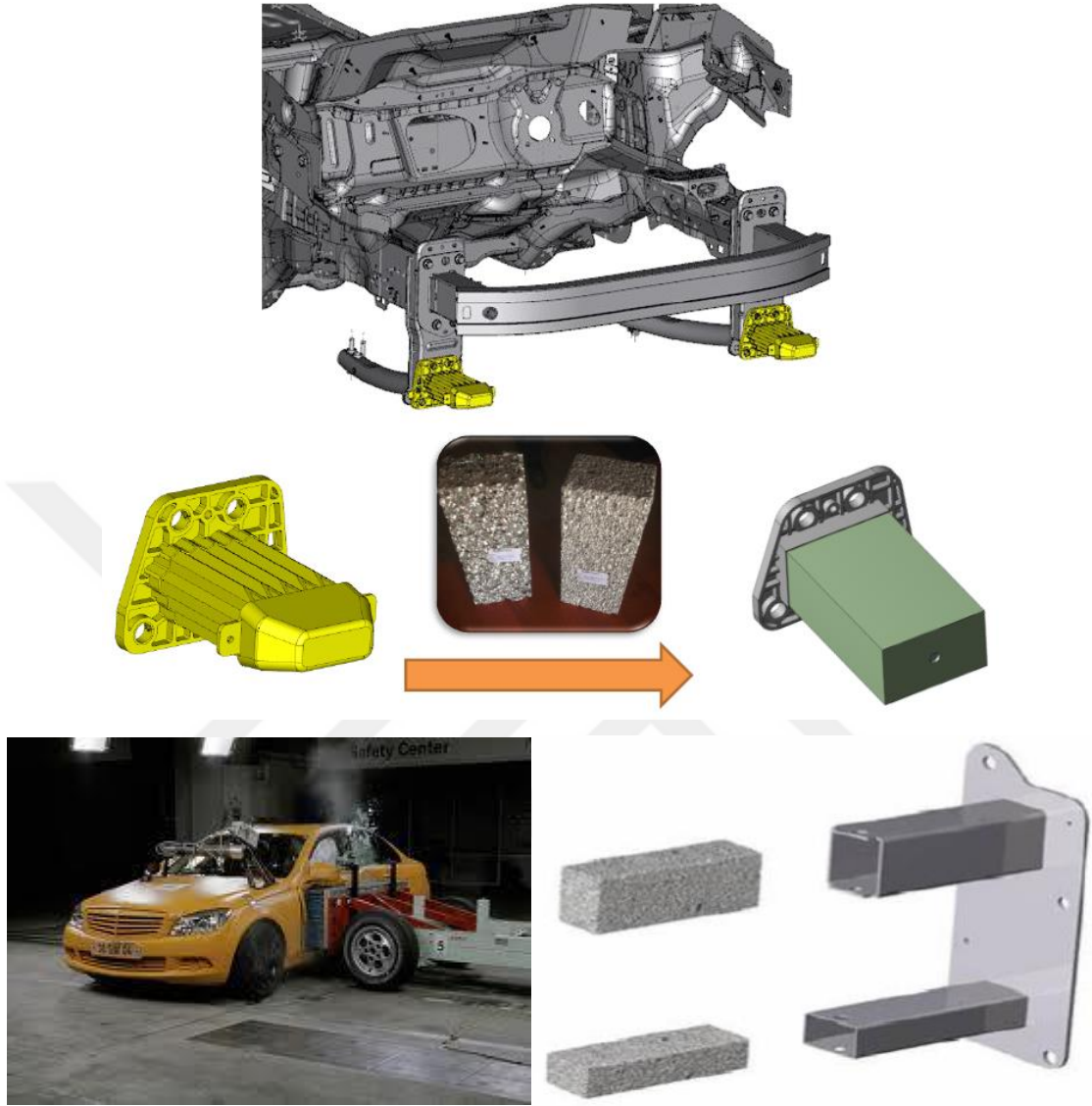
Şekil 5.25. Alüminyum sandviç köpük panel (Banhart, 2005).

Alüminyum köpüklerin otomotiv sanayisinde kullanım alanlarına başka bir örneği çarpışma emicilerdir. Pek çok şirketin yolcuları korumak amacıyla, arabada oluşacak hasarı azaltarak tamir masrafını düşürmek için yaptığı farklı farklı çalışmalar neticesinde çarpışma kutuları bulunmuştur (Şekil 5.26). Bu çarpışma kutularının konumu vuruş tamponuyla ön korkuluk arasındadır. Saatte 15 km hızda gerçekleşecek olan bir çarpışmada oluşan enerjinin tamamını sönümler ve arabada ortaya çıkacak tamiri yüksek meblağları bulan bir hasarın önüne geçerler (Baumgärtner vd., 2000).



Şekil 5.26. Çarpışma kutusunun darbe tamponundaki konumu.

Yolcuların güvenliği için araçların çoğunda yolcu bölümünü kaplayan güvenlik kafesi bulunmaktadır. Güvenlik kafesi küçük büyük tüm darbelere dayanabilmeli en ufak bir darbeye şekil değiştirerek insan hayatını tehlikeye atmamalıdır. Bu sebeple yardımcı metotlardan biri de taşıtın arka ve önünde darbe enerjisini emebilen ve deforme olabilen parçaların üretilmesidir (Şekil 5.27). Kaza esnasında meydana gelen enerji bu gibi sistemler tarafından emilebilirse yolcuların can güvenliği sağlanmış olacaktır. Köpük alüminyumun darbe enerjisini hapsedebilme yeteneği (mukavemet-uzama eğrisi altında akma mukavemetine kadar kalan alan) çeliğe kıyasla üç kat daha fazladır. İçi boş alüminyum profil çarpma kutusu olarak kullanıldığı gibi, profil içerisine alüminyum köpürtülerek de kullanılmaktadır (Şekil 5.28). Alüminyum metal köpükler, yapısal ve işlevsel ürünlerde, çok iyi derecedeki termal, akustik, mekanik, kimyasal ve elektriksel yapılarından ile farklı farklı uygulama alanında yer almıştır (CYMAT, 2019; Langseth ve Hannsen, 2000:313-394).



Şekil 5.27. Otomobillerde çarpışma kutusu konumu ve tasarımı.

Otomobillerin artan güvenlik talepleri için, çoğu durumda taşıtın çok ağır olmasına sebep olmuştur. Bu şekilde yapılan üretimler de yakıt tüketiminin azaltılması istekleriyle kesişmekte ve yoğunluğun mümkün olduğunca azaltılması için ek hesaplamalar gerektiği sonucuna varılmaktadır (Altın ve Yücesu, 2019). Özellikle Japonya ve Avrupa’da hafif ve kullanışlı olduğu için kısa araçlar tercih edilmektedir, ama bu taşıt boyunun küçülmesi yolcunun veya şoförün hareket sahasını engellememektedir. Bu sebeple motorları küçültmek denenmiş ama bu sefer de parçaların daha küçük alanda bulunduğu için birbirine çok yakın çalışması gerektiği için ısınma sorunu ve çarpışacak bölgenin küçülmesi sorunu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak yeni ses emicilere

ihtiyaç duyulmasının asıl sebebi akustik emisyonları azaltmaktır. Bu sorunların birkaçına metal köpükler çözüm sağlayabilir (Altın ve Yücesu, 2019).

Köpük metalin hafif yapısı iki özelliğine dayanır. Birincisi sanki elastik deformasyon gösterir neredeyse tersinirdirler, ikincisi ise katılık/kütle oranı oldukça yüksektir. Öyle ki bu oran benzer ebatlardaki geleneksel panellerden beş kat fazladır (Evans v.d., 1999). Otomobillerin ağırlığını azaltmaya örnek olarak yüksek peklik gerektiren araç tavanları, bagaj kapağı, motor kapağı gibi parçalarda titreşimi ve torsiyonel deformasyonun engellenmesi olabilir (Kretz v.d., 1999). Otomobil üreticisi olan Alman Karmann, yarış arabaları ile üzeri açık spor otomobiller için önemli sorunlardan birinin de ağırlık olduğunu düşünmektedir. Ağırlığı azaltmak için üç boyutlu sandviç panelleri, çelik paneller yerine test etmektedir. Bu test sonucunda parça için ağırlık %25 azaltılmış mukavemet ise %700 arttırılmıştır (Ekerim ve Özer, 2009; Wood, 1998:31-35).

Yeterince yüksek mukavemetleri için metal köpükler, geleneksel metallere daha iyi performans gösterirler. Otomobillerde takla ve yandan, dolaylı, önden gelen darbeler sonucu oluşan hasarlar minimize edilebilir (Wood, 1998:31-35). Enerji soğurma tipik özellikleri taleplere oldukça yakındır. Soğurulan enerji izotropisi, iyi enerji soğurma karakteristikleri geniş bir darbe yönlerinde mevcuttur. Sentetik hücreli metaller öncelikli olmak üzere ve homojen alüminyum köpükler soğurma özellikleri de iyidir. Gerinim eğrisi üzerinde talep edilmeyen bir eğrilik gözlemlenmesine karşın, yeterince büyük bir plato çevresi oluştururlar (Gergely ve Clyne, 1999:83-89). (Yavuz, 2010). Daha da fazlası, üretim yönteminin yarattığı anizotropiler (mekanik özellikleri yönler göre farklı özellik gösteren malzemeler) haricinde enerji soğurulması oldukça izotropiktir (mekanik özellikleri her doğrultuda aynı olan malzemeler) (Çağlar, 2009).



Şekil 5.28. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum köpük malzemeler.



Şekil 5.29. Teleskop kollu vinç köpük metal uygulaması.

Şekil 5.29'da görülen teleskop kollu vinç üzerinde ki kaldırma kolları sandviç köpük malzeme kullanılarak toplam araç ağırlığı 3500 kg ile sınırlandırılmıştır. Böylelikle vinç hem hafifleyerek yakıt sarfiyatı azaltılmış hem de hafifliği sayesinde taşıt şartnamesinde kategori değiştirmiş Euro B grubu sürücü ehliyeti olan şoförlere aracı kullanım olanağı sunulmuştur (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. "Euro B 25 T" üzerinde denenen metalik köpük takviyeli karma kolu desteği (Banhart ve Seelinger, 2008).

Avusturya'daki LKR firması ve BMW ile birlikte geliştirdikleri dayanımı arttırmayı hedefleyen alüminyum köpük metal ile doldurulmuş montaj blokları üretmişlerdir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. LKR ve BMW'nin geliştirdiği motor blokların sırasıyla; boş, alüminyum köpük içeren parça ve parçanın kesit görünümü (Banhart, 2005).

5.20. Alüminyum Köpük Malzeme ile Üretilmesi Düşünülen Otomotiv Parçaları

Otomobillerde kullanılan salıncak kolları montaj konumlarına göre farklı kalınlıklarda ve boyutlarda kullanılmaktadır. Salıncak kolunun bulunduğu konum ve fonksiyonu açısından zamanla işlevini yitirdiği görülmüştür. Parça ömrünü uzatmak ve mekanik fonksiyonelliğini arttırmak için salıncak kolunun iç kısımları alüminyum köpük ile doldurulabilir (Başer, 2013). Şekil 5.32’de görülen salıncak kolu parçaları için alüminyum köpük uygun yoğunlukta seçilirse ağırlık unsurunda da çok büyük artışlar olmayacaktır.



Şekil 5.32. Salıncak kolu ve alüminyum köpük yapısı.

6. KAROSERLERDE KÖPÜK METAL KULLANIMI

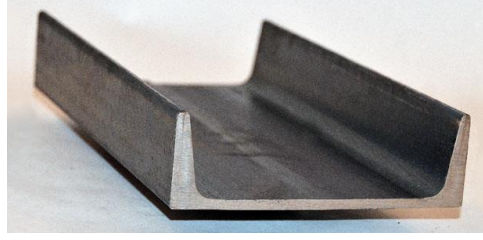
6.1. Karoserlerin Normal Üretim Yöntemi

Karoseri şöyle tanımlayabiliriz: tır, otomobil, otobüs, kamyon gibi motorlu kara taşıtlarının, yük ve yolcularını taşıdıkları bölümdür. 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununa ilaveten 28.11.2008 resmi gazete tarihli 27068 resmi gazete sayılı Araçların İmal, Tadil ve Montajı (AİTM) hakkında yayınlanan yönetmelik çerçevesinde kamyon üst yapı ve treyler imalatı yapılmaktadır. Ticari adı polyester kasa olarak adlandırılan yük taşıma veya özel amaçlı kullanım için tasarlanan kasaların üretimi aşağıda bahsedilecektir.

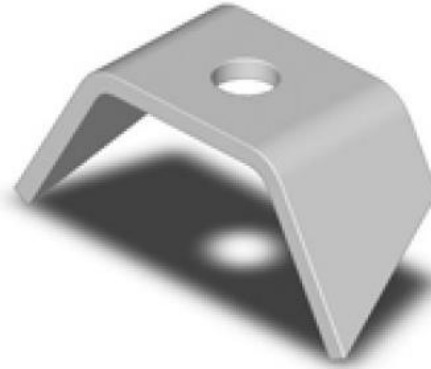
6.1.1. Kullanılan malzemeler

Çizelge 6.1. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser malzeme listesi.

NORMAL ÜRETİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN KAROSERDE KULLANILAN MALZEMELER	
No	Malzeme
1	NPU 140x8 şasi profili (Şekil 6.1)
2	Şasi bağlantı braketi (Şekil 6.2)
3	Kutu profil 40x40x2 (Şekil 6.3)
4	Kutu profil 40x40x1,5 (Şekil 6.3)
5	Çamurluk sacı (Şekil 6.4)
6	Köşe bayrak sacı 100x100x3
7	Paslanmaz C kanal profil (Şekil 6.5)
8	Kapı kol grubu (Şekil 6.6)
9	Kapı menteşe grubu (Şekil 6.7)
10	Kapı lastik grubu (Şekil 6.8)
11	XPS köpük (Şekil 6.9)
12	Polin yapıştırıcı
13	Mastik yapıştırıcı
14	Alüminyum alt televre (Şekil 6.11)
15	CTP kimyasalı (Şekil 6.13)
16	Silikon yapıştırıcı
17	Kontrplak (Şekil 6.12)
18	Tiner
19	Boya
20	Reflektör grubu (Şekil 6.15)
21	Kapı sabitleyicileri (Şekil 6.16)
22	Dayama takozları (Şekil 6.16)
23	Bisiklet korkuluğu (Şekil 6.14)



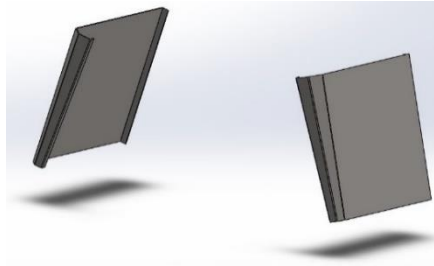
Şekil 6.1. NPU 140x8.



Şekil 6.2. Şasi bağlantı braketi.



Şekil 6.3. Kutu profil 2*40*60, Kutu profil 1,5*40*40.



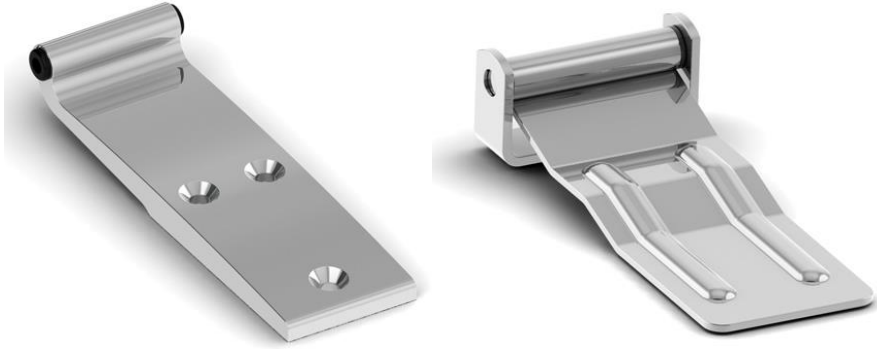
Şekil 6.4. Çamurluk.



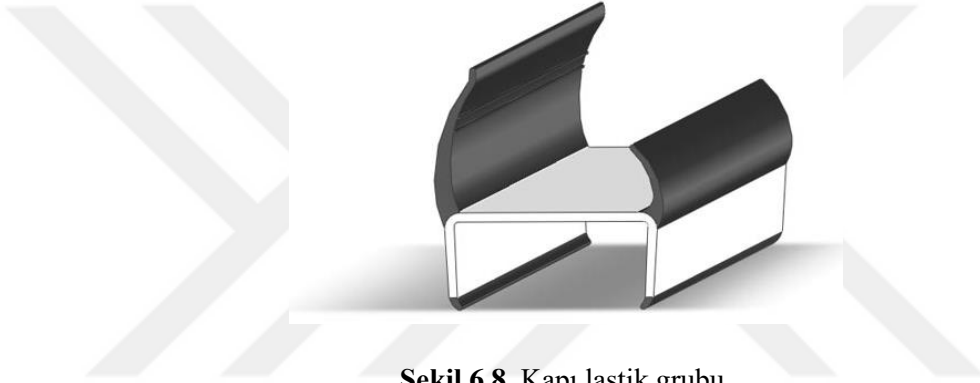
Şekil 6.5. Paslanmaz U kanal profil.



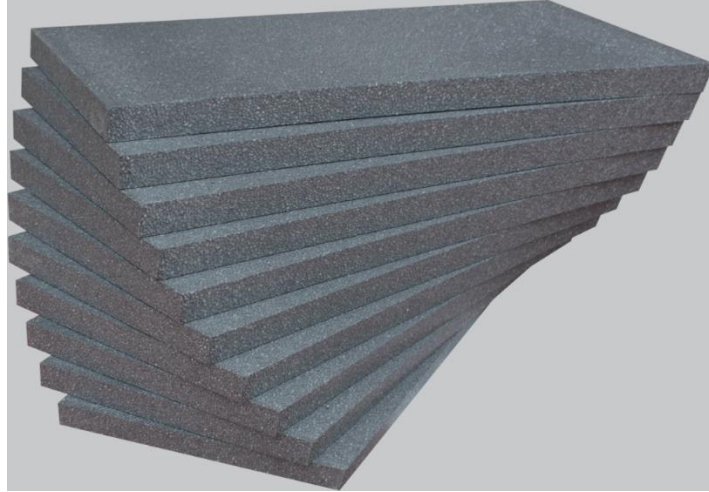
Şekil 6.6. Kapı kol grubu.



Şekil 6.7. Kapı menteşe grubu.



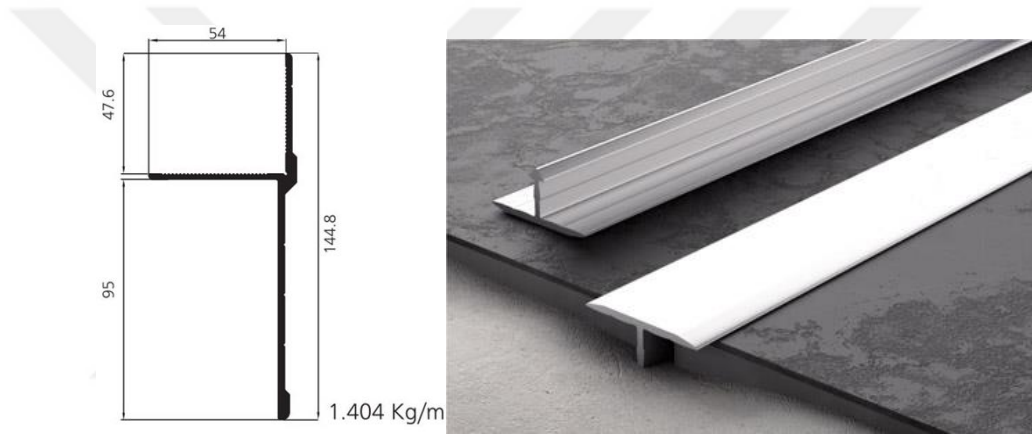
Şekil 6.8. Kapı lastik grubu.



Şekil 6.9. XPS izolasyon köpük.



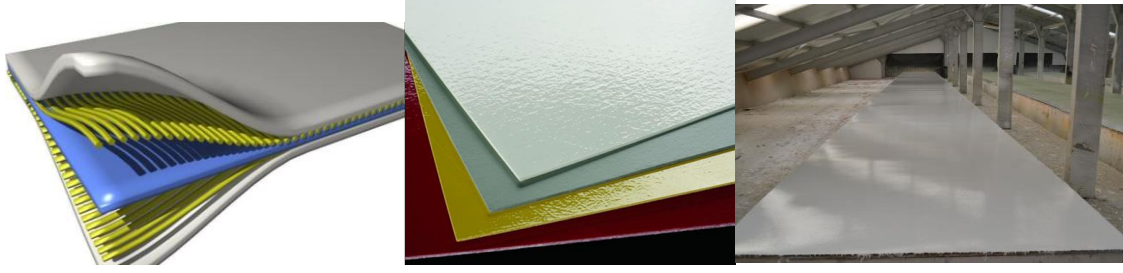
Şekil 6.10. Paslanmaz saç.



Şekil 6.11. Alüminyum alt profili.



Şekil 6.12. Kontrplak.



Şekil 6.13. İç ve dış kaplama CTP (asetat film, jelcoat, aseton, kobalt, mek-p, cam elyaf, polyester, stiren).



Şekil 6.14. Bisiklet korkuluk profili, köşe alüminyum bariyer başlığı.



Şekil 6.15. Şerit reflektör beyaz, şerit reflektör kırmızı, kamyon reflektör.

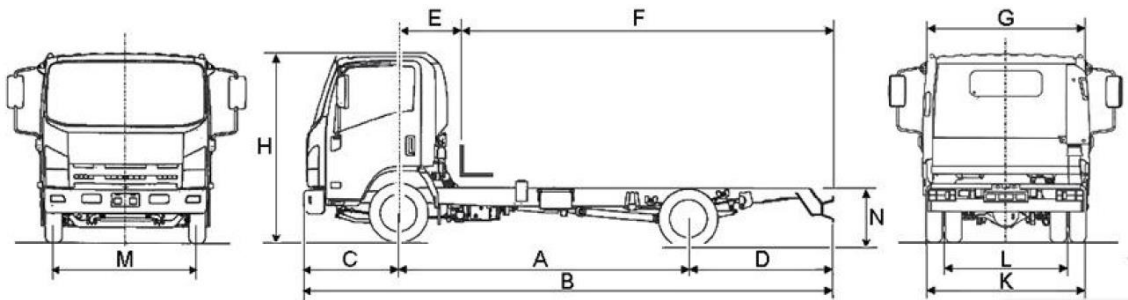


Şekil 6.16. Arka dayama takozu, arka kapı tutamağı, cıvatalı armut takozu.

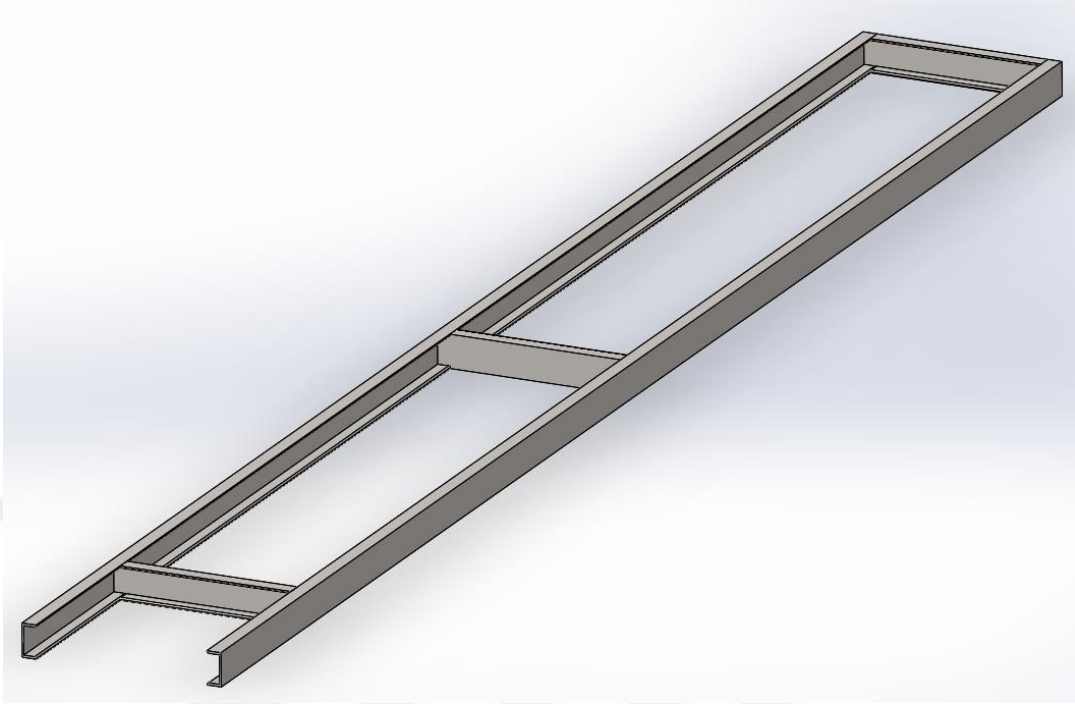
6.1.2. Normal üretim yöntemi

Kamyon üzerinden kamyonu ait şasi ölçüleri alınarak üzerine tasarlanan karoserin ebatlarına ve karoser şasisinin ölçülerine karar verilir, tekerlek ve depo ölçüleri alınarak da karoser imalatında arka tekerleklere yapılacak olan çamurluk ve kalan boşluklar için bisiklet korkuluğu hesaplamaları yapılır (Şekil 6.17). Tasarım ve imalat şasiden başlar:

Öncelikle 140x8 NPU profiller kamyon şasisinin genişliğinde ve uzunluğunda kesilir (Şekil 6.18). Karoseri taşıması ve yük bindiğinde daha mukavemetli davranması için C profilin iç kısmına gelecek şekilde aralarına da destek profilleri kamyon şasi genişliğinde kesilir. Kesilen destek profilleri C profil içine yerleştirilmesi için alt ve üst kısımlarından kesilir. Ebatları ayarlanan profiller karoserde şasi profillerine denk gelecek ölçülerde kaynatılır. Kamyonun şasisinde bulunan ve karoseri şasiye sabitlemek için kullanılmak üzere montaj edilen şasi braketleri de karoser üzerinde şasideki braketlere denk gelecek şekilde konumlandırıldıktan sonra profiller ve braketler kaynatılır. Böylelikle karoser şasisi hazırlanmış olur.



Şekil 6.17. Üst yapı yapılacak kamyon örneği.

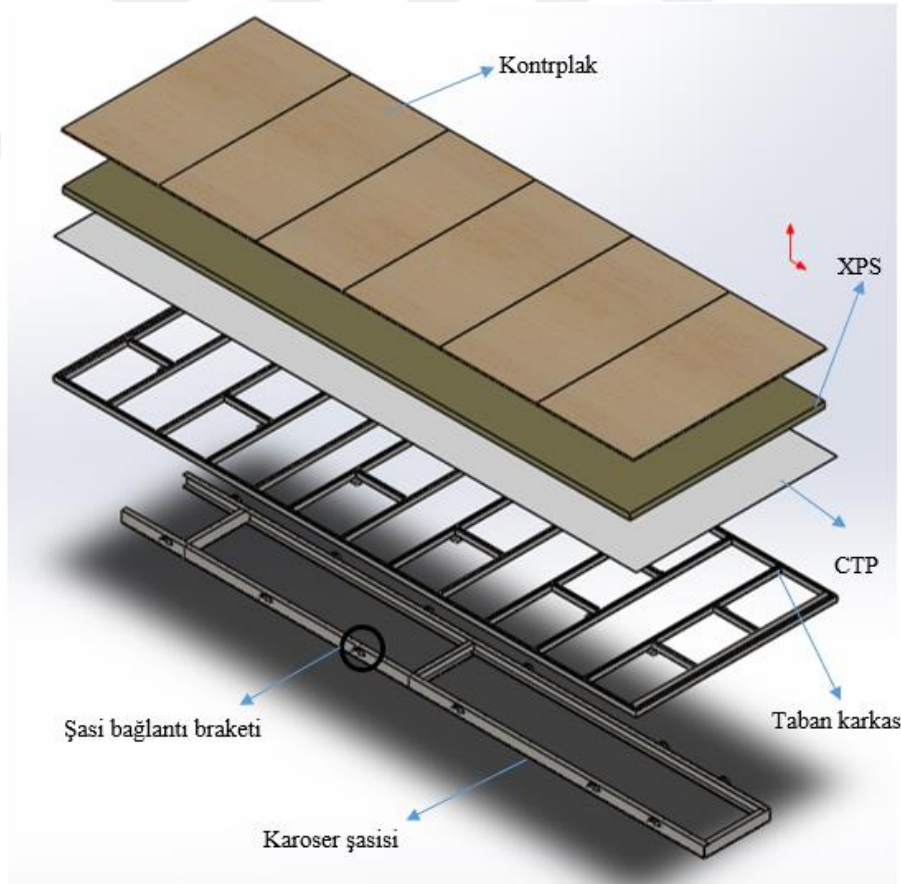


Şekil 6.18. Karoser şasisi.

Taban panel hazırlanırken 40x40 kutu profillerden karkas iskelet oluşturulur. Karkas oluşturulurken aralarına yerleştirilecek olan XPS strafor köpük malzeme sıkı geçme ile yerleştirileceğinden en boy ebatları ve zeminde mukavemeti sağlayacak olan kontrplak malzemenin ebatları dikkate alınarak profiller yerleştirilir. Tüm ebatları hesaplanan profiller gerekli uzunlukta kesilir. Karoser şasisi ile taban karkas arasında birleşmeyi sağlayacak olan 10x10x3 lama saçlar karoser şasisi üzerine denk gelecek şekilde diğer profiller ile birlikte kaynatılır. Böylece taban karkas iskelet tamamlanmış olur. XPS strafor köpük malzeme montajına geçilmeden profiller arası dar boşluk olan yerlere göre kesme işlemi yapılır. Talep edilen ebatlara getirilen XPS strafor köpük malzemeler taban karkasta bulunan kutu profiller arasına sıkı geçme metodu ile yerleştirilir. Taban karkas üzerine ön, sağ ve sol panel ve arka kapıları taşıyacağından kenarlardan 45 mm boşluk bırakılarak kontrplak ölçüleri belirlenir. Belirlenen ölçülerde kesilen 18 mm kalınlığındaki kontrplaklar vidalama yöntemi ile taban karkasa sabitlenir. Tabandan su almasını önlemek amacıyla 1 mm kalınlığındaki CTP malzemesi ile kaplanır (Şekil 6.19). Böylece taban panel için sadece iç kısımdan jelkot atılması kalmıştır ve bu işlem de diğer işlemler esnasında zarar görmemesi için karoserin teslimine yakın yapılır. Tamamlanan taban panel karoser şasi üzerinde konumlandırıldıktan sonra punto kaynaklar ile sabitlenir. Daha sonra lama saçlardan vidalanır ve kaynaklar tamamlandıktan sonra birleştirme işlemi tamamlanmış olur.

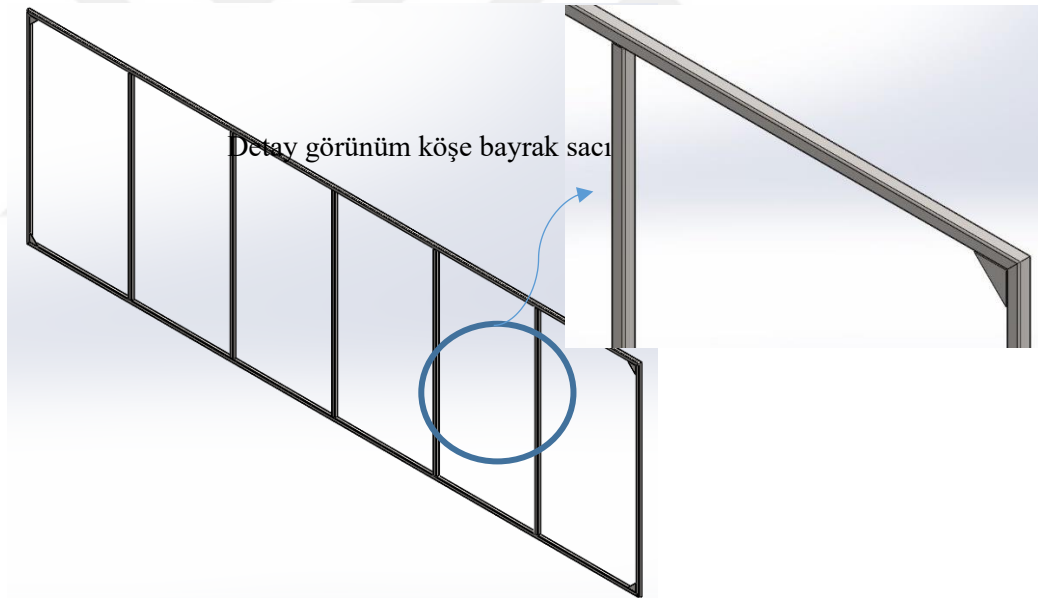
Çizelge 6.2. XPS Strafor köpük mekanik özellikleri.

TS EN 13163 Uygunluk Tablosu		Birim	Sınıfı	İlgili Standart
Kalınlıklar	1 – 2 – 3 – 4 – 5	Cm		
Kullanım Sıcaklığı	-50 / +75	°C		
Isı İletkenlik Grubu	040			TS EN 12667
Boyutsal Kararlılık	± %0,2		DS(N) ³	TS EN 1603 – 1604
Yoğunluk	10	Kg/m ³		TS EN 1602
Çekme Mukavemeti	≥ 100	kPa	TR100	TS EN 1607
Isı İletkenlik Katsayısı	0,039	W/mK		TS EN 12667
%10 Deformasyonda Basınç Dayanımı	≥ 70	kPa	CS (10) 120	TS EN 826
Yangın Dayanımı	Yanııcıdır		E	EN 13501 – 1

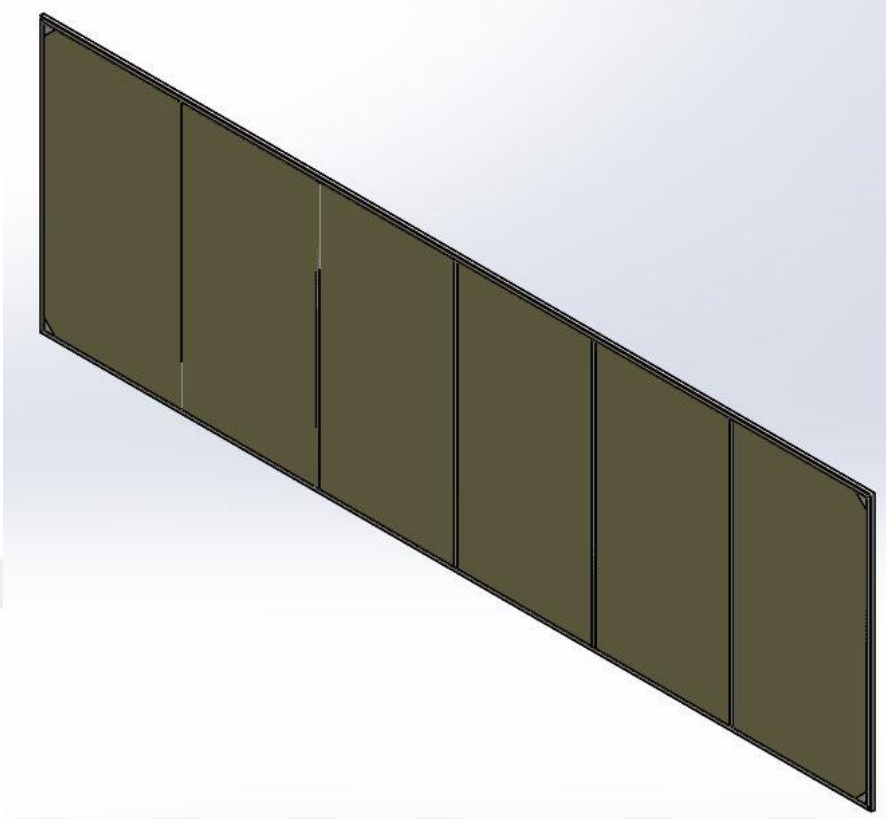


Şekil 6.19. Taban panel kompleşi.

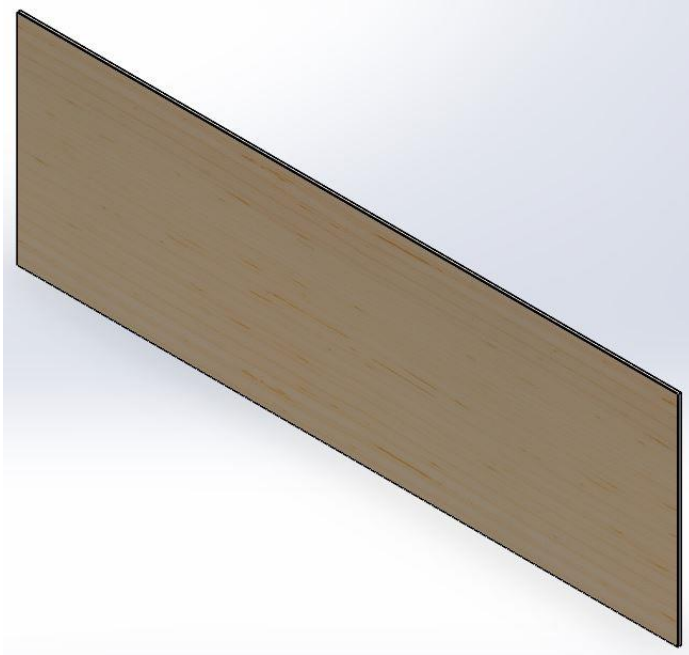
Sağ panel, sol panel, ön panel ve üst panel de karkas iskelet ile üretime başlanır. 40x40 kutu profiller karayolları yönetmeliğinin yükseklik sınırları çerçevesinde talep edilen ve kamyonun müsaade ettiği yükseklik ölçülerinde kesilir. Aralarına gelecek ısı yalıtımı sağlayacak olan XPS strafor köpük en geniş ölçüsünde sıkı geçme yöntemi ile montaj olacak şekilde 40x40 kutu profilleri konumlandırılır. Yerleri belirlenen kutu profiller kaynak yapılarak panellerin karkas iskeletleri oluşturulur. Oluşturulan karkasın içerisine 40 mm kalınlığında ısı yalıtımı da sağlayacak olan XPS strafor köpük malzemeler kutu profillerin arasına gelecek şekilde kesilerek yerleştirilir (Şekil 6.21). Dış kısımda darbelere karşı dayanma gücünü arttırmak amacıyla 2 mm kalınlığında kontrplaklar profillere denk gelecek şekilde kesilir. Kesilen kontrplaklar profillere vidalanarak karkasa sabitlenir (Şekil 6.22). İç kısımda straforu sabitlemek için 40*40*3 mm'den oluşan ikizkenar dik üçgen şeklindeki bayrak sacları köşelere kaynatılır. Son olarak iç ve dıştan 1 mm CTP ile kaplanarak paneller hazırlanır (Şekil 6.24).



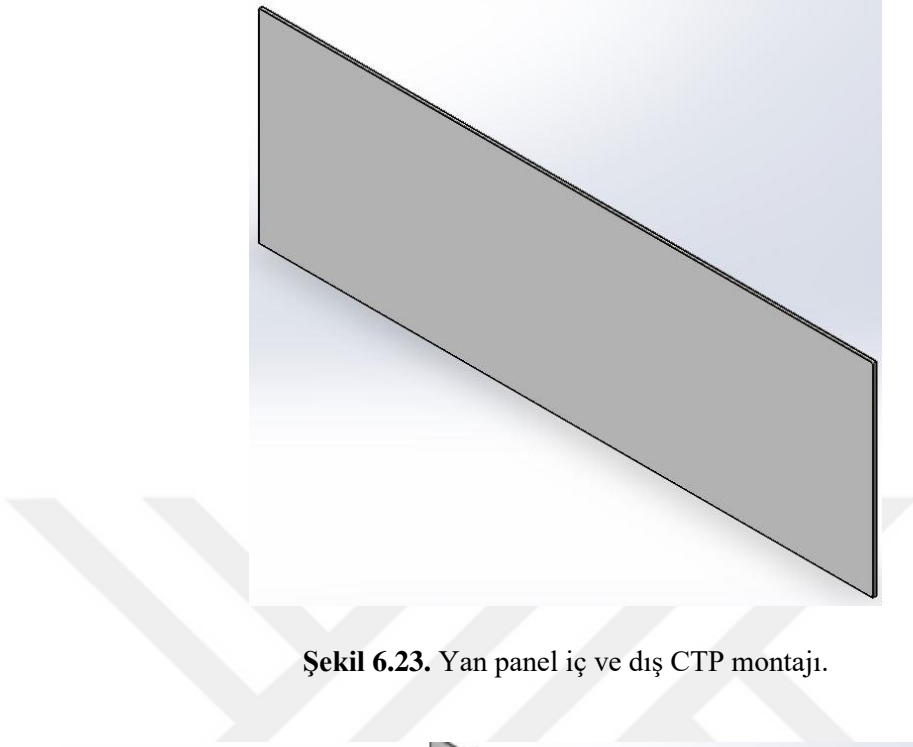
Şekil 6.20. Karoser yan karkas.



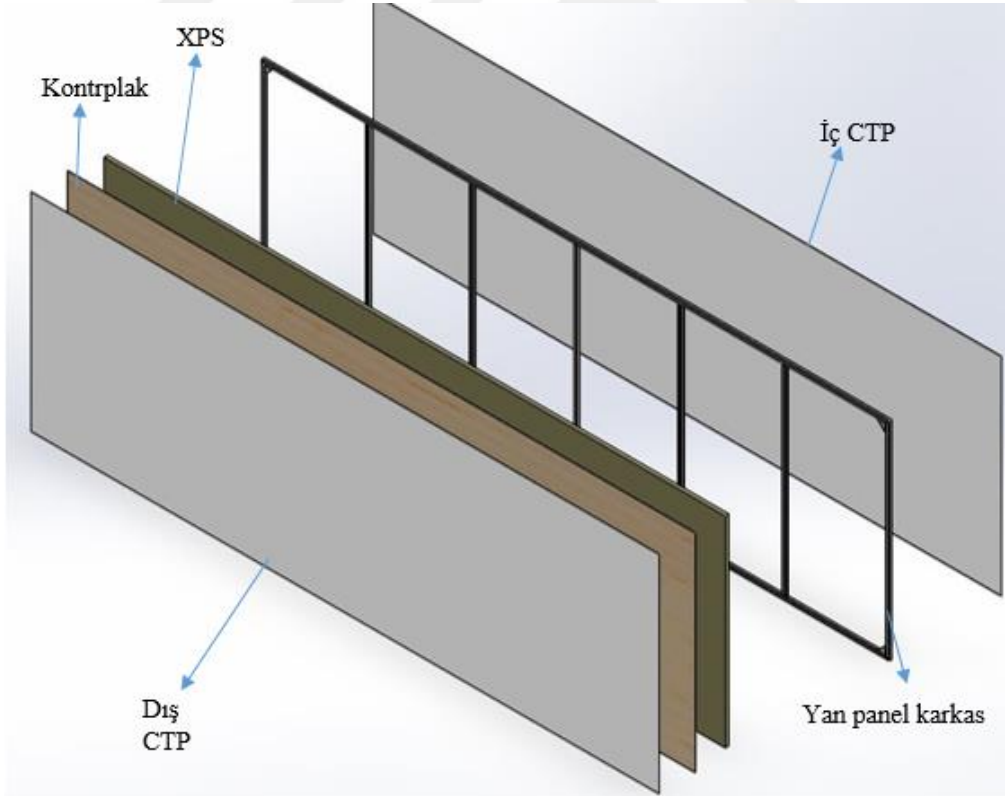
Şekil 6.21. Yan panel karkas içine XPS montajı.



Şekil 6.22. Yan panel kontrplak montajı.

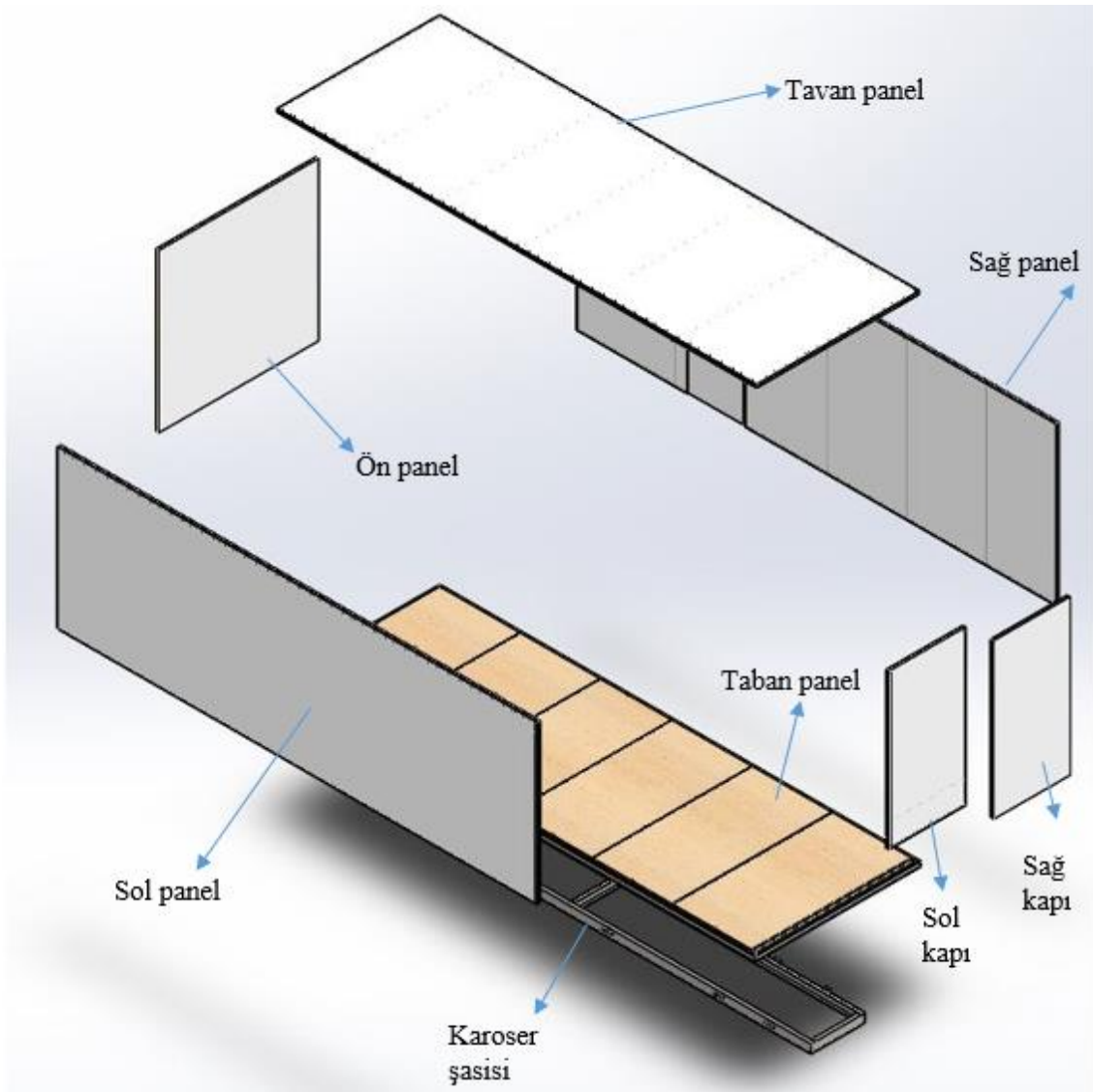


Şekil 6.23. Yan panel iç ve dış CTP montajı.



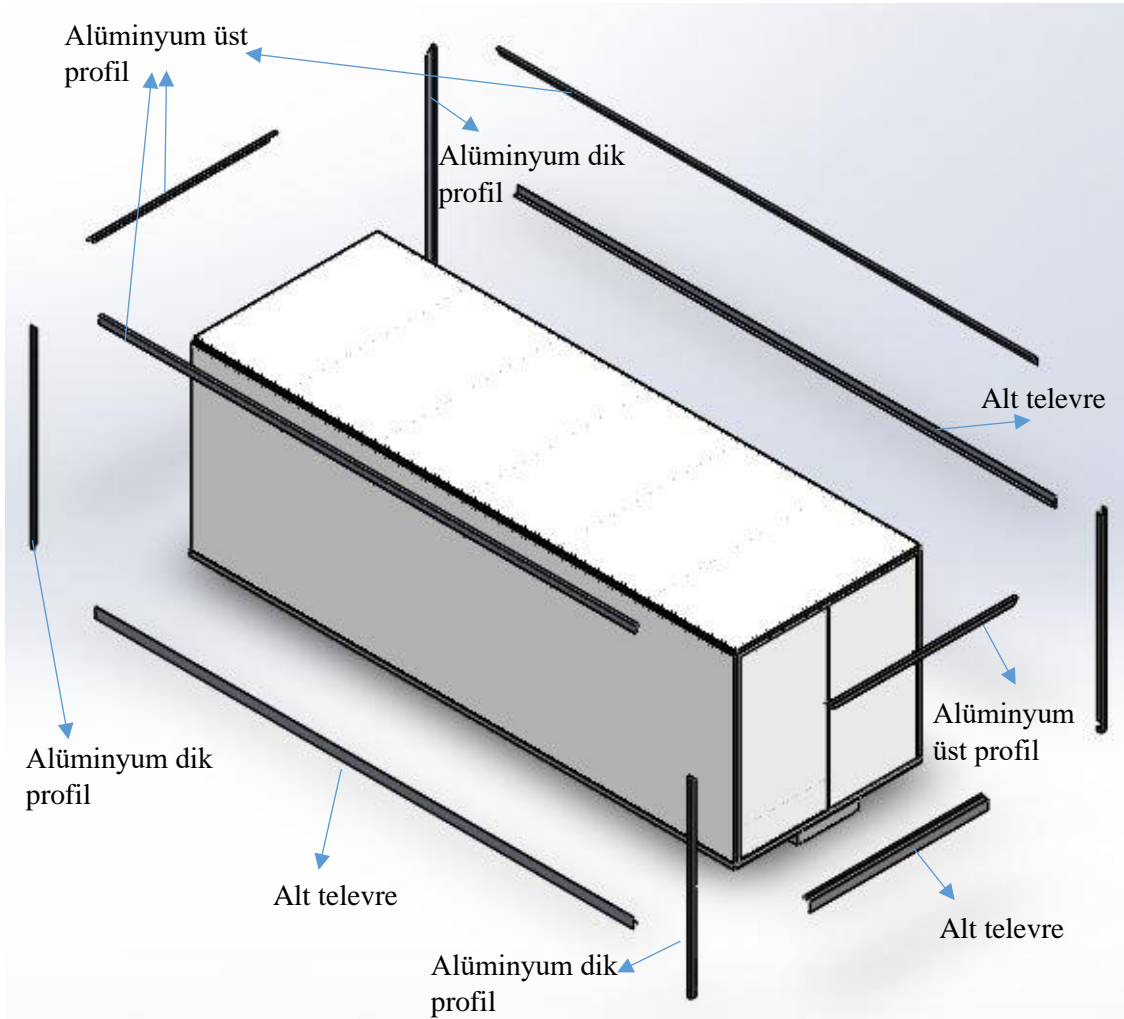
Şekil 6.24. Yan panel kompleksi.

Panellerin montajı: Tamamlanan ve karoser şasisi üzerine monte edilen taban panel kamyon üzerine braketler denk gelecek şekilde vidalama yöntemi ile montaj edilir. Panellerin taban panel üzerinde dikilme işlemine ön panelden başlanır. Ön panel iki köşeden de 45 mm boşluk kalacak şekilde tam ortalanarak punto kaynak atılır. Sabitleme işlemi için L köşe sac lar ile boydan boya alın kaynak kullanılır. Profillerden birbirine kaynatılarak sabitleme işlemi tamamlandıktan sonra sağ panel ve sol panel de taban panel üzerinde dikilir. Sağ ve sol panel de taban panel ve ön panele profil yerlerinden kaynatılarak sabitlenir. Tavan panel ise sağ panel, ön panel ve sol panelden 20 mm boşluk bırakılacak şekilde ortalanarak montajı gerçekleştirilir (Şekil 6.25).



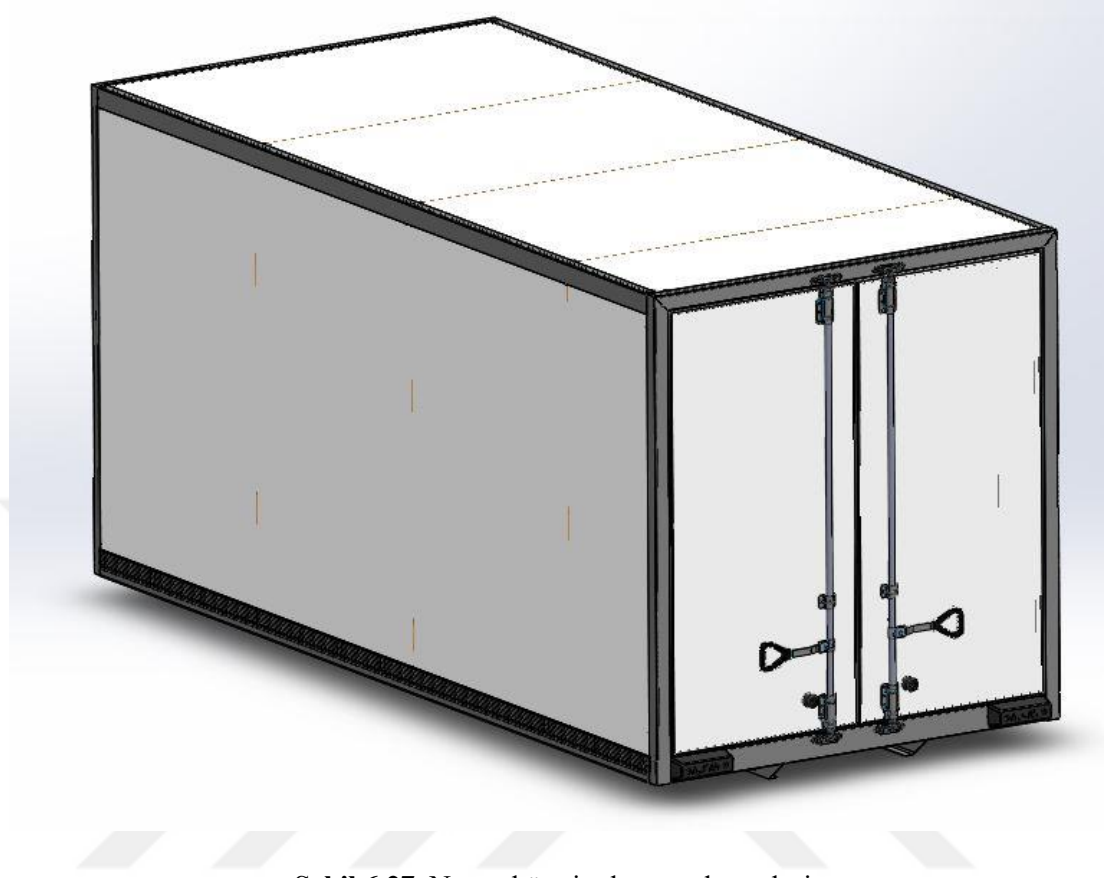
Şekil 6.25. Panellerin montajı.

Köşelerde kalan boşluklar üst köşelerde 60*60*2 paslanmaz köşe profilleri ile inişler ve alt köşeler ise alüminyum köşe profilleri silikon ve mastik ile montaj edilerek yalıtımı sağlanır. Köşe profillerinin montajı tamamlanan karoserde diğer aksesuarların montajına devam edilir (Şekil 6.26).



Şekil 6.26. Alüminyum köşe profillerinin montajı.

Kapı kolları, dayama takozları montaj setleri halinde hazır alınır ve karosere vidalama yöntemi ile sabitlenir. Böylece karoserin imalatı tamamlanmış olur (Şekil 6.27).



Şekil 6.27. Normal üretim karoser kompleksi.

6.1.3. Maliyet analizi

Çizelge 6.3. Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
TABAN GRUBU	1	-	-	
ANA ŞAŞİ KOMPLESİ	1	-	-	
ANA ŞAŞİ KOLU NPU	2	4	0	188,40 ₺
ŞAŞİ BAĞLANTI BRAKETİ	12	10	200	30,00 ₺
KROS KOMPLESİ	1	-	-	
KROS-1 2*40*60 KUTU PROFİL (2510 mm)	13		2,51	248,64 ₺
KROS-2 2*40*60 KUTU PROFİL (7500 mm)	2		7,5	114,30 ₺
KROS-3 2*40*60 KUTU PROFİL (2590 mm)	2		2,59	39,47 ₺
KROS-4 2*40*40 KUTU PROFİL (560 mm)	4		0,56	17,07 ₺
KROS-5 2*40*30 KUTU PROFİL (600 mm)	12		0,6	54,86 ₺
KROS-6 1,5*40*30 KUTU PROFİL (850 mm)	1		1	6,02 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
KROS-7 1,5*40*30 KUTU PROFİL (300 mm)	3		0,3	5,42 ₺
KROS-8 1,5*40*30 KUTU PROFİL (1820 mm)	1		2	12,04 ₺
KROS-9 2*40*80 KUTU PROFİL (1200 mm)	1		1,2	7,22 ₺
TELEVRE KOMPLESİ	1	-	-	
YAN TELEVRE	2	1,5	0	74,18 ₺
MONTAJ MALZEMELERİ GRUBU	1	-	-	
ÇAMURLUK	4	1,5	600	33,06 ₺
YAN PANEL KOMPLESİ (7475*2472)	2			
YAN DUVAR KARKAS GRUBU	1	-	-	
KARKAS PROFİLİ-1 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2542 mm)	2		0	114,30 ₺
KARKAS PROFİLİ-2 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2462 mm)	5		0	99,06 ₺
KARKAS PROFİLİ-3 1,5*40*30 KUTU PROFİL (7475 mm)	2		2,6	39,62 ₺
KÖŞE BAYRAK SACI	4	4	0,05	0,82 ₺
İZOLASYON MALZEME GRUBU	1	-	-	
XPS İZOLASYON MALZEMESİ (40*600*2000)	8	40	2000	111,36 ₺
DIŞ KAPLAMA MALZEMEZİ (2 mm CTP) (450+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2	103,08 ₺
JELKOAT	1		0	115,83 ₺
ASETON	1		0	20,55 ₺
KOBALT	1		0	1,29 ₺
MEK-P	1		0	5,46 ₺
CAM ELYAF 450	1		0	59,67 ₺
CAM ELYAF 300	1		0	41,83 ₺
POLYESTER	1		0	185,64 ₺
STİREN	1		0	27,89 ₺
ASETON	1		0	8,46 ₺
İÇ KAPLAMA MALZEMEZİ (1,5 mm CTP) (300+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2	103,08 ₺
JELKOAT	1		0	115,83 ₺
ASETON	1		0	20,55 ₺
KOBALT	1		0	1,29 ₺
MEK-P	1		0	5,46 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
CAM ELYAF 300	2		0	83,66 ₺
POLYESTER	1		0	132,60 ₺
STİREN	1		0	20,91 ₺
ASETON	1		0	6,05 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-	-	
POLİN YAPIŞTIRICI	2		0	436,80 ₺
ÖN PANEL KOMPLESİ (2490*2472)	1			
ÖN DUVAR KARKAS GRUBU	1	-	-	
KARKAS PROFİLİ-1 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2490 mm)	2		2,49	37,95 ₺
KARKAS PROFİLİ-2 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2472 mm)	2		2,472	37,67 ₺
KARKAS PROFİLİ-3 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2392 mm)	1		2,392	18,23 ₺
KÖŞE BAYRAK SACI	4	4	0,05	0,82 ₺
İZOLASYON MALZEME GRUBU	1	-	-	
XPS İZOLASYON MALZEMESİ (40*600*2000)	4	40	2000	55,68 ₺
DIŞ KAPLAMA MALZEMEZİ (2 mm CTP) (450+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		1	92,23 ₺
JELKOAT	1		2,49	38,46 ₺
ASETON	1		2,49	6,82 ₺
KOBALT	1		2,49	0,43 ₺
MEK-P	1		2,49	1,81 ₺
CAM ELYAF 450	1		2,49	19,81 ₺
CAM ELYAF 300	1		2,49	13,89 ₺
POLYESTER	1		2,49	61,63 ₺
STİREN	1		2,49	9,26 ₺
ASETON	1		2,49	2,81 ₺
İÇ KAPLAMA MALZEMEZİ (1,5 mm CTP) (300+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		1	92,23 ₺
JELKOAT	1		2,49	38,46 ₺
ASETON	1		2,49	6,82 ₺
KOBALT	1		2,49	0,43 ₺
MEK-P	1		2,49	1,81 ₺
CAM ELYAF 300	2		2,49	27,77 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
POLYESTER	1		2,49	44,02 ₺
STİREN	1		2,49	6,94 ₺
ASETON	1		2,49	2,01 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-	-	
POLİN YAPIŞTIRICI	2		2,49	145,02 ₺
TAVAN PANEL KOMPLESİ (2542*7475)	1			
YAN DUVAR KARKAS GRUBU	1	-	-	
KARKAS PROFİLİ-1 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2542 mm)	2		2,542	38,74 ₺
KARKAS PROFİLİ-2 1,5*40*30 KUTU PROFİL (2462 mm)	5		2,462	93,80 ₺
KARKAS PROFİLİ-3 1,5*40*30 KUTU PROFİL (7475 mm)	2		7,475	113,92 ₺
KÖŞE BAYRAK SACI	4	4	0,05	0,82 ₺
İZOLASYON MALZEME GRUBU	1	-	-	
XPS İZOLASYON MALZEMESİ (40*600*2000)	8,5	40	2000	118,32 ₺
DIŞ KAPLAMA MALZEMEZİ (2 mm CTP) (450+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2	103,08 ₺
JELKOAT	1		0	115,83 ₺
ASETON	1		0	20,55 ₺
KOBALT	1		0	1,29 ₺
MEK-P	1		0	5,46 ₺
CAM ELYAF 450	1		0	59,67 ₺
CAM ELYAF 300	1		0	41,83 ₺
POLYESTER	1		0	185,64 ₺
STİREN	1		0	27,89 ₺
ASETON	1		0	8,46 ₺
İÇ KAPLAMA MALZEMEZİ (1,5 mm CTP) (300+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		1	92,23 ₺
JELKOAT	1		0	115,83 ₺
ASETON	1		0	20,55 ₺
KOBALT	1		0	1,29 ₺
MEK-P	1		0	5,46 ₺
CAM ELYAF 300	2		0	83,66 ₺
POLYESTER	1		0	132,60 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
STİREN	1		0	20,91 ₺
ASETON	1		0	4,88 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-	-	
POLİN YAPIŞTIRICI	2		0	436,80 ₺
ARKA PANEL KOMPLESİ	1	-	-	
ARKA KAPI GRUBU	1	-	-	
SAĞ ARKA KAPI KOMPLESİ	1			1.132,31 ₺
KAPI KARKAS GRUBU	1			
KARKAS PROFİLİ-1 1,5*40*30 KUTU PROFİL(2420 mm)	4		2,4	73,15 ₺
KARKAS PROFİLİ-2 1,5*40*30 KUTU PROFİL(1202 mm)	4		0	39,62 ₺
KARKAS PROFİLİ-3 1,5*40*30 KUTU PROFİL(2000 mm)	2		0	19,81 ₺
KARKAS PROFİLİ-4 1,5*40*30 KUTU PROFİL(1122 mm)	2		2,4	36,58 ₺
KARKAS PROFİLİ-5 1,5*40*30 KUTU PROFİL(300 mm)	2		0,3692	5,63 ₺
MENTEŞE BRAKETİ	6	6	0,2	22,04 ₺
BRAKET-1	2	6	0,15	5,51 ₺
BRAKET-2	2	6	0,15	9,18 ₺
BRAKET-3	4	6	0,1	7,35 ₺
BRAKET-4	2	6	0,1	2,45 ₺
İZOLASYON MALZEME GRUBU	1	-	-	
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-1 (40*600*1610)	1	40	1610	11,21 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-2 (40*130*1610)	1	40	1610	2,43 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-3 (40*150*1610)	1	40	1610	2,80 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-4 (40*600*300)	1	40	300	2,09 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-5 (40*130*300)	1	40	300	0,45 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-6 (40*150*300)	1	40	300	0,52 ₺
DIŞ KAPLAMA MALZEMEZİ (2 mm CTP) (450+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2,9	31,47 ₺
JELKOAT	1		2,4	18,53 ₺
ASETON	1		2,4	3,29 ₺
KOBALT	1		2,4	0,21 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
MEK-P	1		2,4	0,87 ₺
CAM ELYAF 450	1		2,4	9,55 ₺
CAM ELYAF 300	1		2,4	6,69 ₺
POLYESTER	1		2,4	29,70 ₺
STİREN	1		2,4	4,46 ₺
ASETON	1		2,4	1,35 ₺
İÇ KAPLAMA MALZEMEZİ (1,5 mm CTP) (300+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2,9	31,47 ₺
JELKOAT	1		2,4	18,53 ₺
ASETON	1		2,4	3,29 ₺
KOBALT	1		2,4	0,21 ₺
MEK-P	1		2,4	0,87 ₺
CAM ELYAF 300	2		2,4	13,38 ₺
POLYESTER	1		2,4	21,22 ₺
STİREN	1		2,4	3,35 ₺
ASETON	1		2,4	0,97 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-	-	
POLİN YAPIŞTIRICI	2		2,4	69,89 ₺
KAPI KOL GRUBU	1			
DELTA PLASTİKLİ KOL TAKIMI (KROM) NEVPA	1			78,78 ₺
SİMETRİ KANCA TAKIMI (KROM) 27 LİK NEVPA	2			14,60 ₺
BÜYÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	2			48,46 ₺
KÜÇÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	1			21,03 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	10			25,50 ₺
KROM BORU 27 LİK	1		2,4	15,63 ₺
KAPI MENTEŞE GRUBU	3			
YENİ MENTEŞE SAC AYAK (KROM) NEVPA	1			63,78 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	4			42,40 ₺
KAPI LASTİK GRUBU	1			
PVC PROFİL 47 MM NEVPA (2000 mm)	2		2,4	41,14 ₺
PVC PROFİL 47 MM NEVPA 1000 mm)	2		0	22,28 ₺
4.8*16 ÇELİK PERÇİN	20			30,20 ₺
LASTİK KÖŞE BİRLEŞTİRİCİ	4			6,04 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
SOL ARKA KAPI KOMPLESİ	1			926,24 ₺
KAPI KARKAS GRUBU	1			
KARKAS PROFİLİ-1 1,5*40*30 KUTU PROFİL(2000 mm)	2		2,4	36,58 ₺
KARKAS PROFİLİ-2 1,5*40*30 KUTU PROFİL(1000 mm)	2		0	19,81 ₺
KARKAS PROFİLİ-3 1,5*40*30 KUTU PROFİL(940 mm)	1		0	9,91 ₺
KARKAS PROFİLİ-4 1,5*40*30 KUTU PROFİL(1640 mm)	1		2,4	18,29 ₺
KARKAS PROFİLİ-5 1,5*40*30 KUTU PROFİL(300 mm)	1		0,3692	2,81 ₺
MENTEŞE BRAKETİ	3	6	0,2	11,02 ₺
BRAKET-1	1	6	0,15	2,76 ₺
BRAKET-2	1	6	0,15	4,59 ₺
BRAKET-3	2	6	0,1	3,67 ₺
BRAKET-4	1	6	0,1	1,22 ₺
İZOLASYON MALZEME GRUBU	1	-	-	
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-1 (40*600*1610)	1	40	1610	11,21 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-2 (40*130*1610)	1	40	1610	2,43 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-3 (40*150*1610)	1	40	1610	2,80 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-4 (40*600*300)	1	40	300	2,09 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-5 (40*130*300)	1	40	300	0,45 ₺
XPS İZOLASYON MALZEMESİ-6 (40*150*300)	1	40	300	0,52 ₺
DIŞ KAPLAMA MALZEMEZİ (2 mm CTP) (450+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2,9	31,47 ₺
JELKOAT	1		2,4	18,53 ₺
ASETON	1		2,4	3,29 ₺
KOBALT	1		2,4	0,21 ₺
MEK-P	1		2,4	0,87 ₺
CAM ELYAF 450	1		2,4	9,55 ₺
CAM ELYAF 300	1		2,4	6,69 ₺
POLYESTER	1		2,4	29,70 ₺
STİREN	1		2,4	4,46 ₺
ASETON	1		2,4	1,35 ₺

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
İÇ KAPLAMA MALZEMEZİ (1,5 mm CTP) (300+300)	1	-	-	
ASETAT FİLM	1		2,9	31,47 ₺
JELKOAT	1		2,4	18,53 ₺
ASETON	1		2,4	3,29 ₺
KOBALT	1		2,4	0,21 ₺
MEK-P	1		2,4	0,87 ₺
CAM ELYAF 300	2		2,4	13,38 ₺
POLYESTER	1		2,4	21,22 ₺
STİREN	1		2,4	3,35 ₺
ASETON	1		2,4	0,97 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-	-	
POLİN YAPIŞTIRICI	2		2,4	69,89 ₺
KAPI KOL GRUBU	1			
DELTA PLASTİKLİ KOL TAKIMI (KROM) NEVPA	1			78,78 ₺
SİMETRİ KANCA TAKIMI (KROM) 27 LİK NEVPA	2			14,60 ₺
BÜYÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	2			48,46 ₺
KÜÇÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	1			21,03 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	10			25,50 ₺
KROM BORU 27 LİK	1		2,4	15,63 ₺
KAPI MENTEŞE GRUBU	3			
YENİ MENTEŞE SAC AYAK (KROM) NEVPA	1			63,78 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	4			10,60 ₺
KAPI LASTİK GRUBU	1			
PVC PROFİL 47 MM NEVPA (2000 mm)	2		2,4	41,14 ₺
PVC PROFİL 47 MM NEVPA 1000 mm)	2		0	22,28 ₺
4.8*16 ÇELİK PERÇİN	20			30,20 ₺
LASTİK KÖŞE BİRLEŞTİRİCİ	4			6,04 ₺
KAPI ÇERÇEVE GRUBU	1	-	-	
ARKA TELEVRE PASLANMAZ SAC	1	2	0	142,87 ₺
ÜST ÇERÇEVE PASLANMAZ SAC	1	2	0	91,44 ₺
ARKA SOL ÇERÇEVE PASLANMAZ SAC	1	2	2,6	100,01 ₺
ARKA SAĞ ÇERÇEVE PASLANMAZ SAC	1	2	2,6	100,01 ₺
KASA TRİM GRUBU	1	-	-	

Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
ALUMINYUM PROFİL GRUBU	1	-	-	
ALUMINYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÜST YAN)	2		0	220,50 ₺
ALUMINYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÖN YAN)	2		2,6	76,44 ₺
ALUMINYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÜST ÖN)	1		0	38,22 ₺
ALUMINYUM KÖŞE PROFİLİ (T PRF.) (ALT YAN KAP.)	2		0	368,55 ₺
ALUMINYUM YARDINCI MALZEME GRUBU	1	-	-	
4.8*20 ÇELİK PERÇİN	150			9,00 ₺
MASTİK SOSİS	6			52,80 ₺
TABAN TAHTASI KOMPLESİ	1	-	-	
TABAN TAHTA GRUBU	1	-	-	
18 MM TABAN TAHTASI 1250*2500	0	0,018	2,5	1.080,00 ₺
MONTAJ MALZEMELERİ	1	-	-	
TABAN VİDASI	120			223,20 ₺
MASTİK	6			88,80 ₺
ELEKTRİK MALZEME GRUBU	1	-	-	
PARK LAMBALARI GRUBU	1	-	-	
YAN PARK LAMBALARI YAPIŞTIRMA	6			34,80 ₺
LED Lİ ÖN GABARİ LAMBASI	2			10,60 ₺
LED Lİ ARKA GABARİ LAMBASI	2			10,60 ₺
İÇ AYDINLATMA GRUBU	1	-	-	
İÇ AYDINLATMA LAMBASI	2			36,00 ₺
AÇMA KAPAMA DÜĞMESİ	1			5,60 ₺
KABLO GRUBU	1	-	-	
2*1,5 TTR KABLO	1		0	108,00 ₺
TESİSAT MONTAJ MALZEMELERİ	1	-	-	
İZOLE BANT	1		20	2,75 ₺
5*12 SAC VİDASI	30			13,50 ₺
12 VSİNYAL AMPULÜ	2			0,74 ₺
12 V 67 PARK AMPULU	4			10,00 ₺
BOYA GRUBU	1	-	-	
BOYA MALZEMELERİ	1	-	-	
TİNER	1		3	37,50 ₺
ASTAR	1		2	30,50 ₺
BOYA (SİYAH)	1		2	51,40 ₺

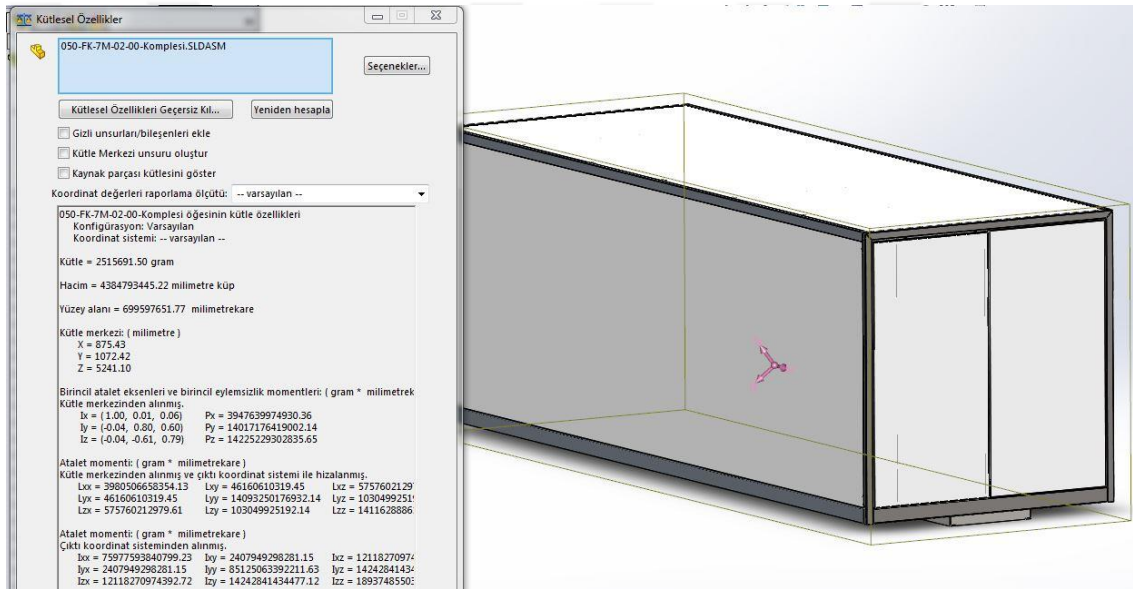
Çizelge 6.3. (devam) Polyester kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

POLYESTER KAPALI KASA MALİYET ANALİZİ				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR	EBAT		
	ADET/KG	KALINLIK	BOY	FİYAT
MASTİK (BEYAZ)	5			71,50 ₺
AKSESUARLAR	1	-	-	
BİSİKLET KORKULUĞU GRUBU	1	-	-	
AL. BİSİKLET KORKULUK PRF.	4		1,5	82,22 ₺
M8*20 CİVATA	8			6,00 ₺
M8 KARE SOMUN	8			4,00 ₺
AL. KÖŞELİ BARİYER PROFİLİ	2		0,12	7,03 ₺
KÖŞELİ ALUMINYUM BARİYER BAŞLIĞI	2			5,50 ₺
ALUMINYUM BARİYER BAŞLIĞI	6			16,50 ₺
4.8*20 ÇELİK PERÇİN	20			39,00 ₺
REFLEKTÖR GRUBU	1	-	-	
ŞERİT REFLEKTÖR (BEYAZ)	2		5	75,00 ₺
ŞERİT REFLEKTÖR (KIRMIZI)	4		2	60,00 ₺
KAMYON REFLEKTÖRÜ YAPIŞTIRMA	1			35,00 ₺
BÜYÜK ETİKET	4			50,00 ₺
AKSESUAR MALZEME GRUBU	1	-	-	
ARKA DAYAMA TAKOZU NEVPA	2			25,00 ₺
ARKA KAPI TUTAMAĞI 367 MM NEVPA	2			55,70 ₺
CİVATALI ARMUT TAKOZ NEVPA	2			18,40 ₺
KASA TADİLAT PROJESİ	1			350,00 ₺
İŞÇİLİK GRUBU	1	-	-	
KAYNAKLI İMALAT İŞÇİLİĞİ	1	-	8	640,00 ₺
PANEL BASIM İŞÇİLİĞİ	1	-	4	800,00 ₺
KASA MONTAJ İŞÇİLİĞİ	1	-	4	320,00 ₺
MARANGOZ İŞÇİLİĞİ	1	-	4	320,00 ₺
ELEKTRİK İŞÇİLİĞİ	1	-	2	160,00 ₺
ALUMINYUM TRİM İŞÇİLİĞİ	1		4	320,00 ₺
BOYA İŞÇİLİĞİ	1		4	480,00 ₺
AKSESUAR İŞÇİLİĞİ	1	-	4	320,00 ₺
TOPLAM MALİYET				46.393,81 ₺

6.1.4. Ansys analizleri

Analizlerimizi yaparken gerçekçi olması için öncelikle tek bir panel üzerinde daha sonra tüm karosere uygulayarak toplam deformasyonlar incelenmiştir. Daha sonra ısı geçişi için analizler yapılarak termal açıdan yalıtım konusunda konstrüksiyonun davranışı gözlemlenmiştir. Tüm bu analizler tamamlandıktan sonra aynı analizleri alüminyum köpük ile tasarlanan karosere uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır.

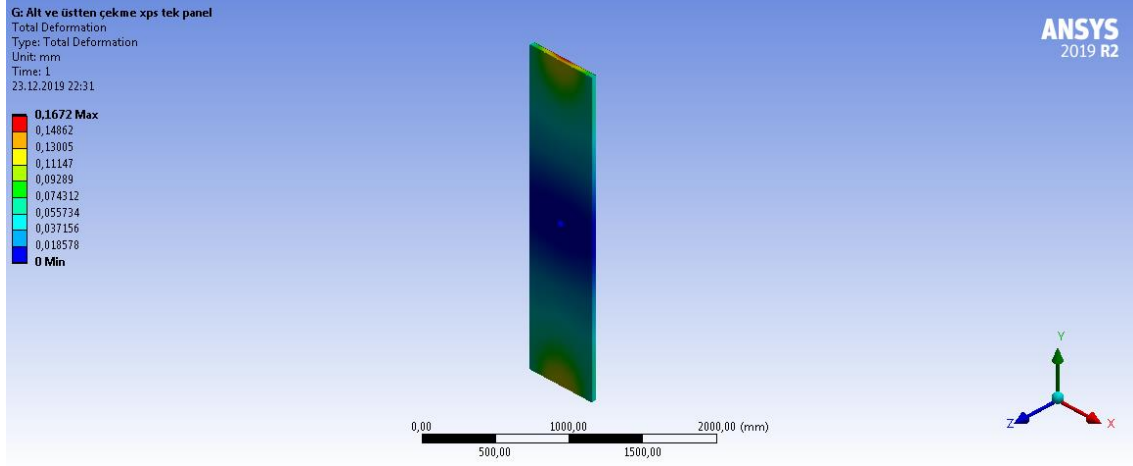
Ağırlık açısından incelediğinde aksesuarları hariç karoser kompleksinin toplam ağırlığı 2 ton 515 kg gelmektedir (Şekil 6.28).



Şekil 6.28. Normal üretim ile karoser kompleksi ağırlık analizi.

1 mm kalınlığında iç CTP, 40 mm kalınlığında XPS, 2 mm kalınlığında kontrplak ve 1 mm kalınlığında dış CTP'den oluşan panele alt ve üst kısımlarından 60 kN çekme kuvveti uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

Normal üretim yöntemi tek panel alt ve üstten çekme analizi

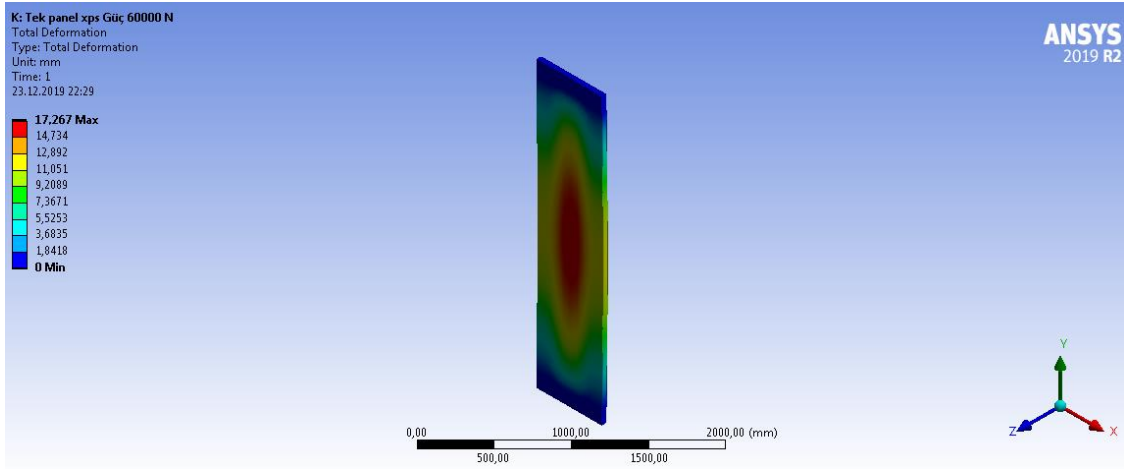


Şekil 6.29. Normal üretim 60 kN çekme kuvveti altında 0,167 mm total deformasyon.

Solidworks programı yardımı ile çizimleri tamamlanan, montajları tamamlanan ve malzeme tanımlaması yapılan montajlı panel ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedildi. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra panel ortasından sabitlendikten sonra üst bölgesinden yukarı yönde, alt bölgesinden aşağı yönde 60 kN kuvvet ile çekme uygulanır. Analizlerin sonucunda panelde 0,167 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.29).

Normal üretim yöntemi tek panel 60 kN analizi

1 mm kalınlığında iç CTP, 40 mm kalınlığında XPS, 2 mm kalınlığında kontrplak ve 1 mm kalınlığında dış CTP'den oluşan panel yüzeyine dik yönde 60 kN bası kuvveti uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır (Şekil 6.30).

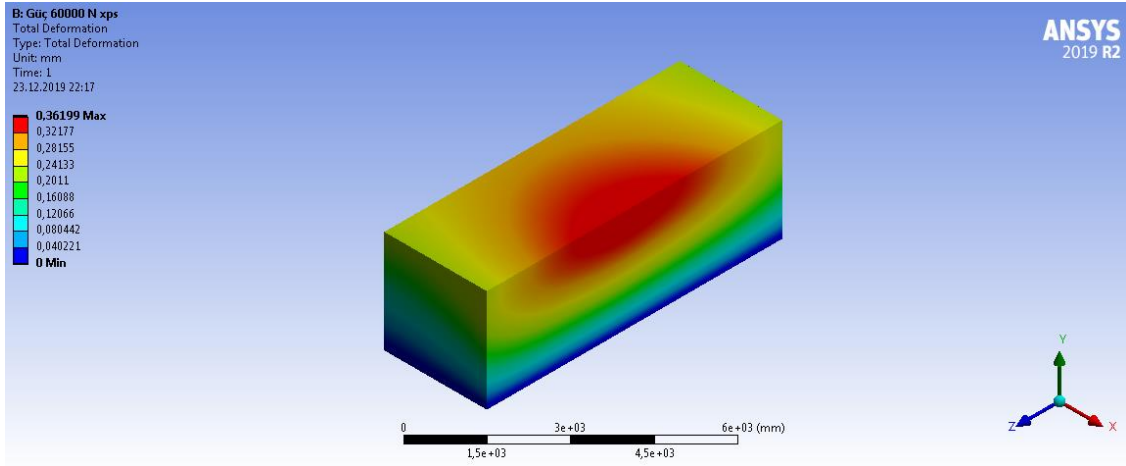


Şekil 6.30. Normal üretim 60 kN bası kuvveti altında 17,267 mm çökme.

Solidworks programı yardımı ile çizimleri tamamlanan, montajları tamamlanan ve malzeme tanımlaması yapılan montajlı panel ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedildi. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra panel alt yüzeyinden sabitlendikten sonra ön yüzeyinden panele dik 60 kN yayılı yük ile bası kuvveti uygulanır. Analizlerin sonucunda panelde 17,267 mm çökme görülmüştür.

Normal üretim karoser 60 kN analizi

Solidworks programı ile çizimleri tamamlanan tüm panellerin montajları tamamlanır. Malzeme tanımlaması yapılan 2600 mm x 2600 mm x 7500 mm ebatlarındaki montajlı karoser ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedildi. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra karoser alt yüzeyinden sabitlenir yan panele dik 60 kN kuvvet uygulanır (Şekil 6.31).

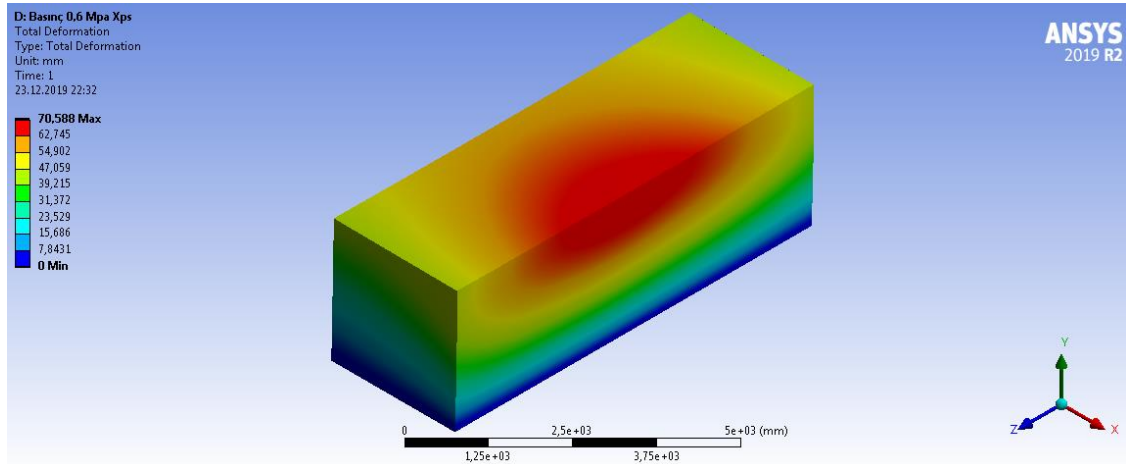


Şekil 6.31. Normal üretim 60 kN uyguladığımızda 0,362 mm deformasyon.

Ansysis programı yardımıyla yapılan analizler sonucunda 0,362 mm deformasyona uğradığı görülmüştür.

Normal üretim karoser 0,6 MPa analizi

Tek bir noktaya uygulanan kuvvet yerine daha gerçekçi olması açısından yan panelin tamamına dik yönde 0,6 MPa bası gerilmesi uygulanarak analiz yapılır (Şekil 6.32).

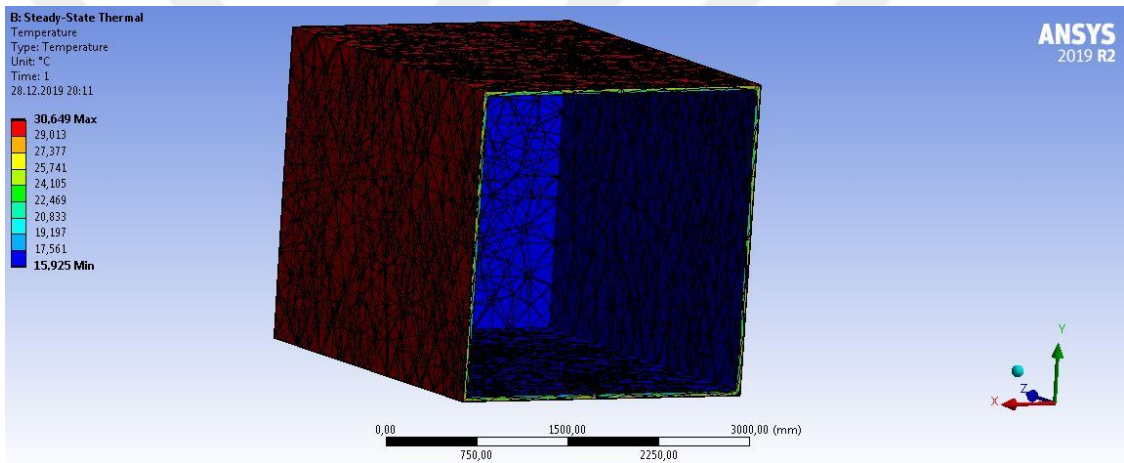


Şekil 6.32. Normal üretim 0,6 MPa bası gerilmesi uygulanmış ve 70,588 mm deformasyon.

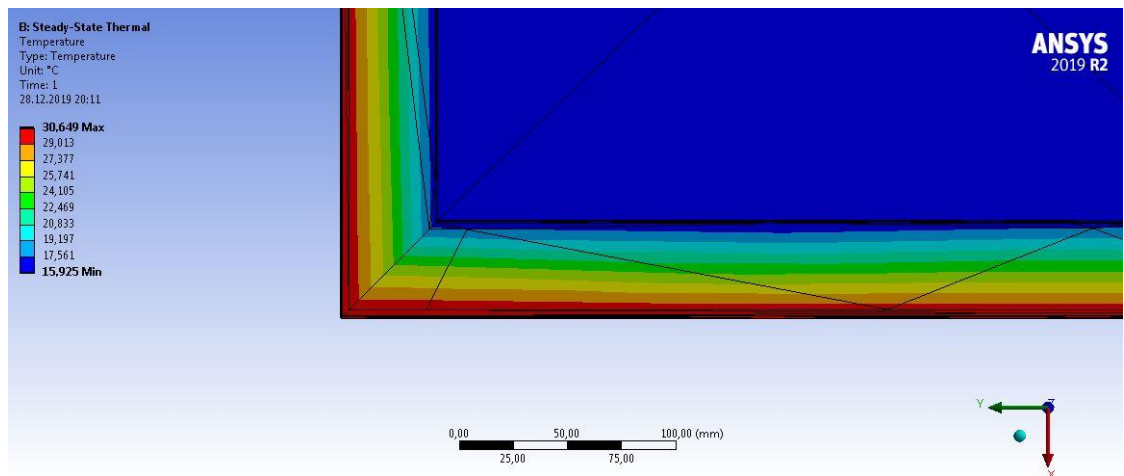
Ansysis programı yardımıyla yapılan analizler sonucunda 70,588 mm deformasyona uğradığı görülmüştür.

Normal üretim karoser termal analiz

Termal analizlerde ısı geçişini gözlemlenir. Isı geçişi çok fazla ise sıcaklık da doğru orantılı düşeceği için sıcaklık farkı çok fazla ise ısı geçişi çok fazladır. Dolayısıyla ısı geçişi çok olan bir malzeme için yalıtımı düşük denilebilir. XPS çok başarılı bir ısı yalıtımı sağladığından binaların dıştan ısı yalıtımında da kullanılmaktadır. Normal üretim yöntemi ile üretilen bir karoser için kullanılan malzemelerde sırası ile ısı iletim katsayıları: XPS strafor köpük için $0,00003,4467 \text{ W/mm}\cdot\text{°C}$, CTP kimyasalı için $0,00038723 \text{ W/mm}\cdot\text{°C}$, kontrplak için $0,00033317 \text{ W/mm}\cdot\text{°C}$, kutu profil için $0,060500 \text{ W/mm}\cdot\text{°C}$ olarak tanımlanmıştır. Ortak ısı iletim katsayısı $0,00024 \text{ W/mm}\cdot\text{°C}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.33).



Şekil 6.33. Normal üretim termal analiz.



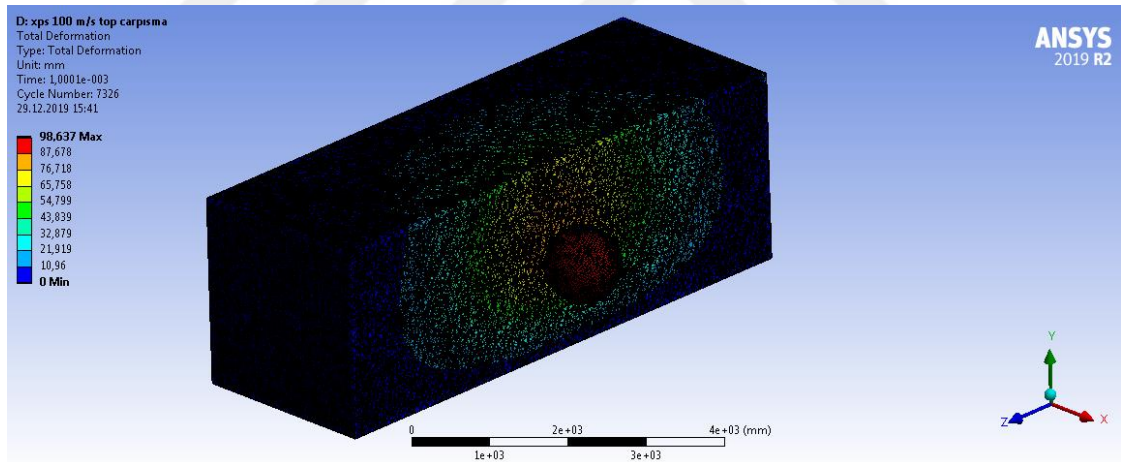
Şekil 6.34. Normal üretim sıcaklık dağılımı.

Ansys programında termal analiz bölümünde tanımları yaparken analizlerin belirgin olması açısından dış ortam sıcaklığına 60°C tanımlanır. İç ortam sıcaklığına ise 15°C tanımlanır ve analiz başlatılır. Yapılan analizlerin sonucunda dış yüzeyden iç yüzeye doğru sıcaklık $30,6^{\circ}\text{C}$ dereceden $15,9^{\circ}\text{C}$ dereceye düşmüştür. Burada $14,7^{\circ}\text{C}$ derece sıcaklık düşüşü olmuştur (Şekil 6.34).

Normal üretim karoser çarpışma analizleri

Karosere yan yüzeyinden 1 m çapında 100 m/s hızla çarpan küre analizleri:

Solidworks programı yardımı ile karoserin çizimleri ve montajları tamamlanır. Malzeme tanımlaması yapılan montajlı karoser ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedilir. Ayrıca 1 metre çapında beton malzemesi tanımlanmış bir top karoserin yan panelin tam ortasından 30 cm uzağına konumlandırılır. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra panel alt yüzeyinden sabitlenen karosere yan yüzeyinde 30 cm uzağında bulunan beton top 100 m/s hız ile karosere doğru hareket ettirilir (Şekil 6.35).



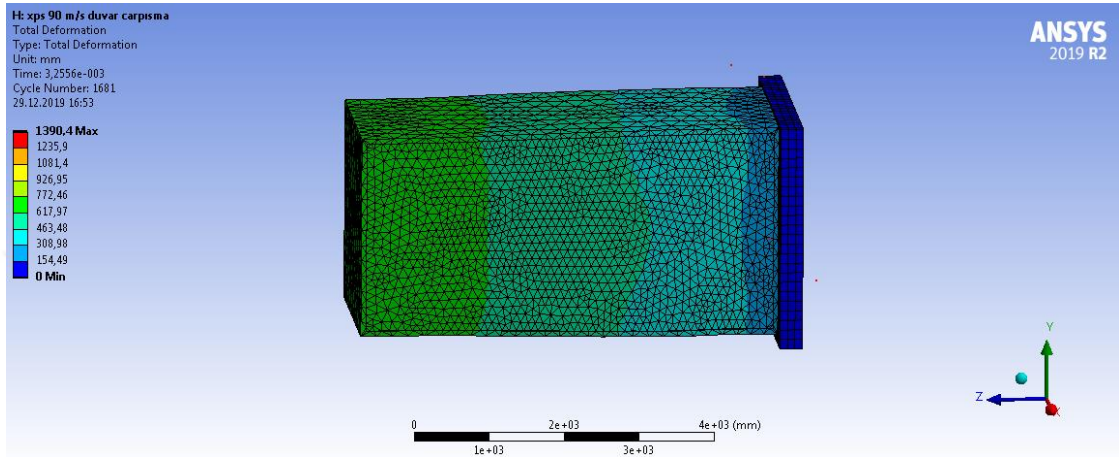
Şekil 6.35. Normal üretim karoser top çarpışma 98,637 mm deformasyon.

Ansys programında topun karosere 100 m/s hız ile çarpması sonucunda karoserin yan paneli 98,637 mm deformasyona uğrayarak içe doğru eğilmiştir.

Karosere 90 m/s hızla giderken duvara çarpması durumu:

Solidworks programı yardımı ile karoserin çizimleri ve montajları tamamlanır. Malzeme tanımlaması yapılan montajlı karoser ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedilir.

Ayrıca 2700 mm yükseklik 2700 mm en ve 30 mm kalınlığında beton malzemesi tanımlanmış bir duvar karoserin ön panelinden 30 cm uzağına konumlandırılır. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra karoser 90 m/s hızla ön yüzeyinden 30 cm uzağına bulunan alt yüzeyinden sabitlenen duvara doğru hareket ettirilir (Şekil 6.36).



Şekil 6.36. Normal üretim karoser duvar çarpışma 1398,4 mm deformasyon.

Ansys programında karoserin duvara 90 m/s hız ile çarpması sonucunda karoserin ön paneli 1398,4 mm deformasyona uğrayarak dışa doğru şişmiştir.

6.2. Alüminyum Köpük ile Üretilen Karoser

Burada amacımız normal yöntemler ile üretilen karoserlerde kullanılan xps yerine alüminyum köpük kullanarak daha hızlı, daha sağlam, ses yalıtımı daha kuvvetli, yanmaz ve tamamı geri dönüştürülebilir karoserler imal etmektir.



Şekil 6.37. Mobil komuta merkezi karoser örneği.

Alüminyum köpük ile üretilen karoser için kullanılabilir yerlerin başında taşınabilir toplantı salonları gelir. Çünkü alüminyum köpük ses yalıtımı analizlerinde çok başarılı sonuçlar vermiştir. Bu da dışarıdan gelecek seslere izin vermemesi ve içeriden gelen seslerin de dışarı çıkmasına engel olacağından tercih sebebi haline gelecektir (Şekil 6.37).



Şekil 6.38. Deprem simülatörü karoser örneği.

Alüminyum köpük ile üretilen karoser için kullanılabilir toplantı salonlarına bir diğer örnek ise deprem simülatörü için tasarlanan karoserler verilebilir. Çünkü alüminyum köpük ses yalıtımı analizlerinde çok başarılı sonuçlar vermiştir. Bu da dışarıdan gelecek seslere izin vermemesi ve içeriden gelen seslerin de dışarı çıkmasına engel olacağından deprem bölgelerine eğitim ve bilgilendirme amaçlı gönderilen bölgeler için tercih sebebi haline gelecektir (Şekil 6.38).



Şekil 6.39. Kızılay kan toplama amacı karoser örneği.



Şekil 6.40. Mobil kültür merkezi karoser örneği.



Şekil 6.41. Mobil mutfak karoser örneği.



Şekil 6.42. Mobil mamografi treyler örneği.

Bu yöntem ile üretilen karoserler malzeme taşınmasında, özel üretim amacıyla üretilen seyyar toplantı salonu (Şekil 6.38), seyyar klinik (Şekil 6.39, Şekil 6.42), seyyar derslik (Şekil

6.40), seyyar komuta merkezi (Şekil 6.37), fuarlara özel üretilen reklam treyleri ve seyyar mutfak (Şekil 6.41) gibi amaçlar ile üretilen karoser ve treylerler için uygundur.

6.2.1. Alüminyum köpük montaj yöntemleri

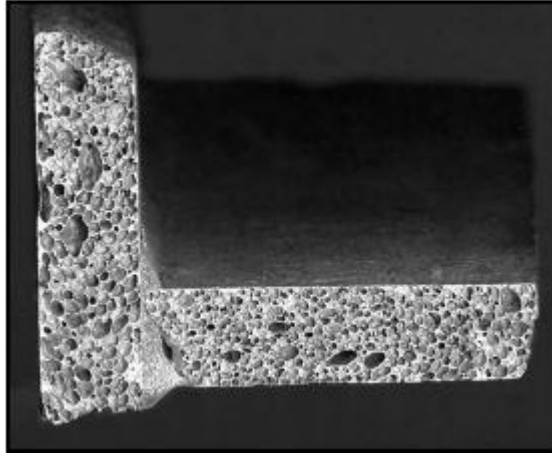
Alüminyum köpüklerin ahşap veya ağaçtaki gibi boşluklu yapıya sahip olmaları onları benzer montaj yöntemleri kullanımı açısından verimli kılar. Bunları sıralayacak olursak: gömülü dişi bağlantı elemanları, vidalar veya tutkal ile birbirlerine veya başka yüzeylere tutturulması, montajlanması mümkündür. Metal olmasının getirdiği yüksek ısı dayanımından dolayı lehimleme ve kaynakta kullanımı mümkündür. Alüminyum köpüğün kullanılacağı yere bağlı olarak montajlama yöntemi seçilir ve montajlama işlemi gerçekleştirilir (Şekil 6.43).



Şekil 6.43. Alüminyum köpük montaj yöntemleri (European Aluminium Association, 2002).

Lehimleme, sert lehimleme ve kaynak

Lehimleme (Şekil 6.44), sert lehimleme ve kaynağın en iyi kullanılabileceği alan sandviç panellerdir. Alüminyum için kullanılan kaynaklar burada da kullanılabilir. Lazer kaynağı çalışmaları da mevcut olmakla birlikte dikkatli olmak gereklidir. Diğer bir açıdan alüminyum bazlı köpüklerin lehimlenme işlemi alüminyum-ötektik alaşımlarla yapılabilir (M. Ashby 2000) (M. Ashby 2000).



Şekil 6.44. Alüminyum köpük lehimleme ile birleştirme (European Aluminium Association, 2002).

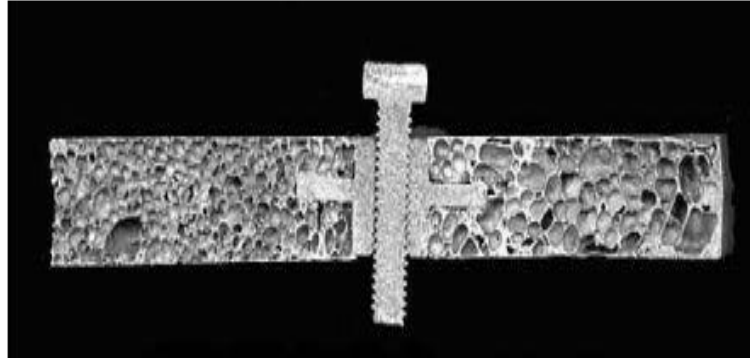
Yapıştırıcılar

Metal köpükleri yapıştırmak için; baz metalin normal şartlarda yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcılar kullanılabilir. Tutkalla sağlanan bağlantılar genellikle köpükten daha güçlüdür. Bununla birlikte kimi dezavantajları da mevcuttur: genleşme katsayısının uyumsuzluğundan doğabilecek problemler, termal kararlılıkta düşüklük, termal veya elektrik izolasyon bariyerinin ortaya çıkma ihtimali bunlara örnektir. Bu bahsedilenlerin, tasarlanan ürün bağlamında kritik öneme sahip olmaması şartıyla, yapıştırıcılar (özellikle epoksiler) bağlantıyı sağlaması açısından basit ve etkili bir yöntemdir. Tipik olarak kullanımları; sandviç levha konstrüksiyonunda, köpük metal çekirdeklerinin yüz tabakalarıyla birleştirilmesidir (Ashby vd., 2000: 194-196) (Ashby, Evans ve Fleck 2007).

Vida ile birleştirme

Üretim öncesinde tasarlanarak sandviç panelin montajlanacak bölümüne vida yuvasının eklenmesi ile katılma sonrasında şekilde görüldüğü gibi bir yapı ortaya çıkar. Ve montajlama işlemi bu noktalardan gerçekleştirilir. Bu yöntemin kötü yanı prototip oluşturulması için uygun olmayışları ve ilerleyen zamanlarda eklenebilecek ekstra bir bağlantıya olanak tanımamalarıdır (Ashby, Evans ve Fleck 2007).

Bir diğer yöntemde köpük metalin istenilen noktalardan delinerek, kurlaşen sıvı metal ile doldurulup, bu noktalardan dış açılarak, köpük metallerin dış açılan bu noktalardan vida ve cıvata ile bağlanması olayıdır (Şekil 6.45) (Sığırtmaç vd., 2012).



Şekil 6.45. Alüminyum köpük vida ile birleştirme (European Aluminium Association, 2002).

6.2.2. Alüminyum köpük ile üretilen karoserde kullanılan malzemeler

Çizelge 6.4. Alüminyum köpük ile üretilen karoser malzeme listesi.

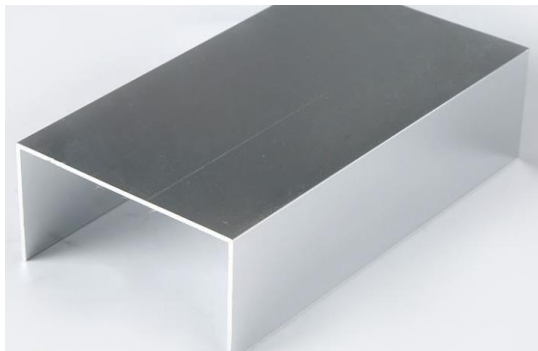
ALÜMİNYUM KÖPÜK İLE ÜRETİLEN KAROSERDE KULLANILAN MALZEMELER	
No	Malzeme
1	Alüminyum köpük sandviç panel (Şekil 6.46)
2	Alüminyum H profil (Şekil 6.47)
3	Alüminyum C profil (Şekil 6.48)
4	Alüminyum köpürtülmüş kutu profil (Şekil 6.49)
6	Şasi bağlantı braketi
7	Kutu profil 40x40x2,6
8	Çamurluk sacı
9	Kapı kol grubu
10	Kapı menteşe grubu
11	Kapı lastik grubu
12	Mastik yapıştırıcı
13	Alüminyum alt televre
14	Silikon yapıştırıcı
15	Reflektör grubu
16	Kapı sabitleyicileri
17	Dayama takozları
18	Bisiklet korkuluğu



Şekil 6.46. Alüminyum köpük sandviç.



Şekil 6.47. Alüminyum H profil.



Şekil 6.48. Alüminyum U kanal profil.



Şekil 6.49. Alüminyum köpürtülmüş kutu profil.

6.2.3. Alüminyum köpük özellikleri ve üretim yöntemi

Kullanılan alüminyum köpüğün üretimi için toz metalurjisi üretim yöntemi kullanılır. Sektörde geçen ismi ise Alporas'tır. Üretilen malzemenin içerisinde %97 oranında saf alüminyum %3 oranında köpükendirme maddesi olan Ca ve TiH_2 bulunmaktadır. Bu bahsi geçen malzemeler 1 mm et kalınlığına sahip alüminyum levhalardan oluşan bir kalıp formunun içerisine yerleştirilerek köpükleme malzemesi köpüklenmeye başlayana kadar ısıtılır. Hücre boyutu sıcaklık ve zaman ile doğru orantılıdır. Elde edilen köpük kapalı hücrelere sahiptir. Hücre boyutu yaklaşık olarak 0,35-0,39 mm çapına ulaştığında fırından çıkarılarak malzeme hava ortamında soğutulmaya bırakılır. Bu işlemlerin ardından malzeme yüzeyinde ince bir döküm tabakası oluşur. Oluşan malzemenin teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

Hücre Tipi: Kapalı Hücreli

Yoğunluk: 970-1030 kg/m³

Young Modülü: 13,2-14,8 GPa

Akma Dayanımı: 25-30 MPa

Çekme Dayanımı: 50-70 MPa

Sertlik (Vickers): 2,5-3 HV

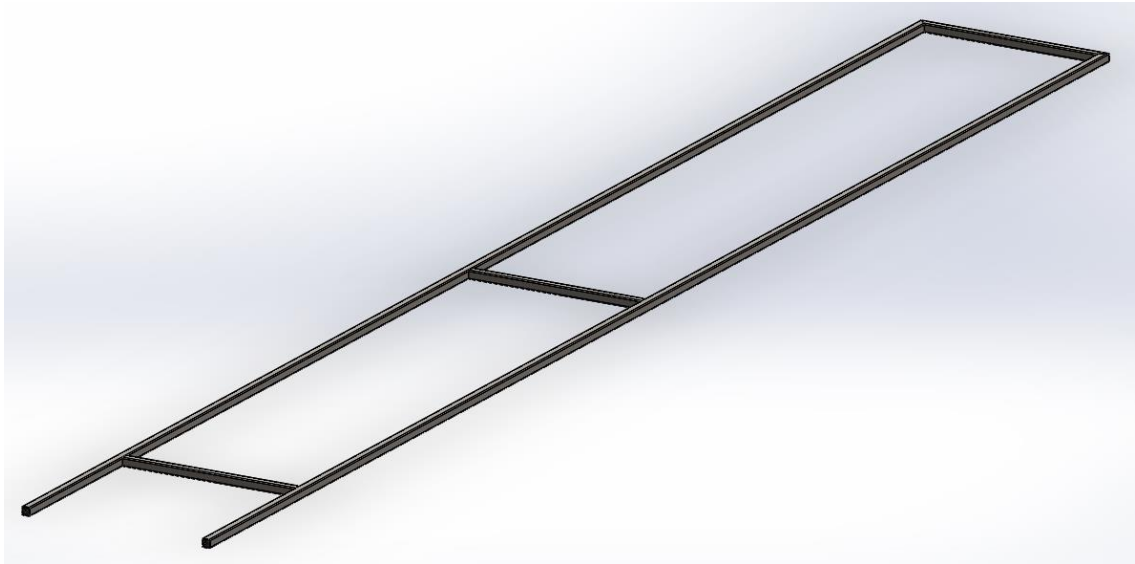
Özgül Isı Kapasitesi: 910-960 J/kg.°C

6.2.4. Alüminyum köpük karoser montaj ve üretim yöntemi

Kamyon üzerinden kamyonu ait şasi ölçüleri alınarak üzerine tasarlanan karoserin ebatlarına ve karoser şasisinin ölçülerine karar verilir, tekerlek ve depo ölçüleri alınarak da karoser imalatında arka tekerleklere yapılacak olan çamurluk ve kalan boşluklar için bisiklet

korkuluğu için hesaplamalar yapılır. Tasarım ve imalat normal üretimde olduğu gibi şasiden başlar:

Üzerine üst yapı (karoser) tasarlanan kamyon Iveco markasının 160 E modelidir. Normal üretim yönteminde karoser şasisini oluşturan 140*8 NPU yerine ağırlığı düşürmek için 40*40*2,6 kutu profil kullanılacaktır. Mukavemeti arttırmak için ise kutu profil içerisine toz metalurjisi yöntemi ile alüminyum köpürtülecektir. Bu sayede yaklaşık 800 kat daha dayanıklı hale getirilmiştir. Ayrıca ağırlık 140*8 NPU profilde 113,19 kg iken 29,56 kg'a düşürülmüştür. Bu nedenle 40*40*2,6 kutu profil içine köpürtülmüş alüminyum tercih edilerek şasi kompleksi oluşturulmuştur. Şasi hakkında bütün analizlere ansys analizleri başlığı altında inceleyeceğiz. İçerisine alüminyum köpük köpürtülmüş 40*40*2,6 kutu profiller müşterinin talep ettiği karoser uzunluğunda kesilir. Tasarımımız 2600 mm * 2600 mm * 7500 mm ölçülerinde polyester kasa için çalışmalar yapılacaktır. Bu nedenle 7500 mm uzunluğunda 2 adet kutu profil içerisine alüminyum köpürtülüp bir ucundan 45 derecelik açı ile kesilir. Profilleri bir arada tutması için 900 mm bir kutu profil iki köşesinden 45 derece kesilerek içi alüminyum köpürtülür. İç kısımda mukavemeti ve birlikteliği sağlaması için 820 mm uzunluğunda içi alüminyum köpürtülmüş 2 adet profil mukavemet analizlerinde belirlenen ölçülere konumlandırılır ve bütün bu profiller kaynatılarak karoser şasisi oluşturulur (Şekil 6.50).



Şekil 6.50. Alüminyum köpürtülmüş kutu profilden üretilmiş şasi.

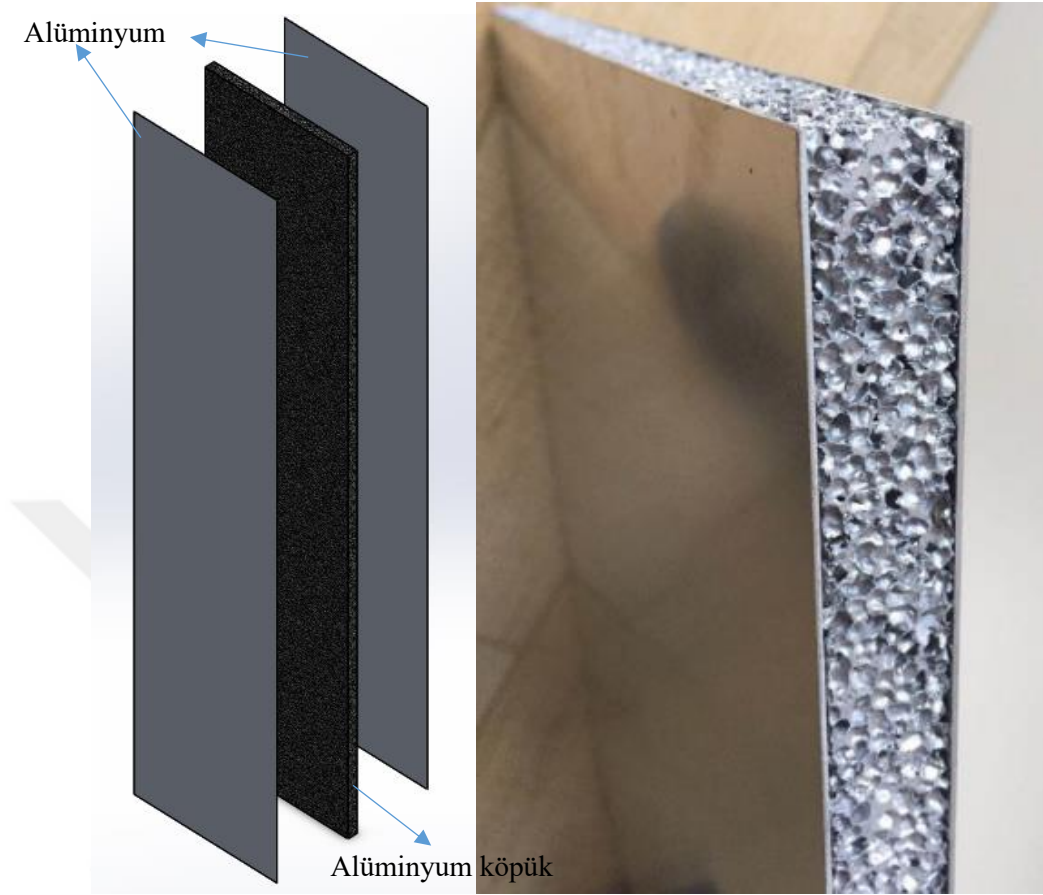
Kamyonlar üzerinde fabrikadan çıkarken üst yapı yapılabilmesi için şasinin belirli bölümlerine braketler monte edilir. Kamyon şasisi üzerinden bu braketlerin sayısı ve konumları

tespit edildikten sonra kutu profillerin yanına kamyon şasisine monte edilecek şekilde şasi braketleri kaynatılır. Üzerine üst yapı tasarlanması için seçilen kamyonun 1250 mm boşluklarla 4 adet bir tarafta 4 adet diğer tarafta olmak üzere toplamda 8 braket bulunmaktadır. Braketler profillerin yanına kaynatıldıktan sonra kamyon şasisinin üzerine getirilir vidalama yöntemi ile sabitlenir ve taban panelin üretimine geçilir (Şekil 6.51).

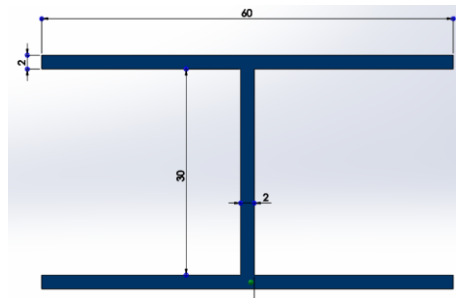


Şekil 6.51. Iveco Daily kamyon.

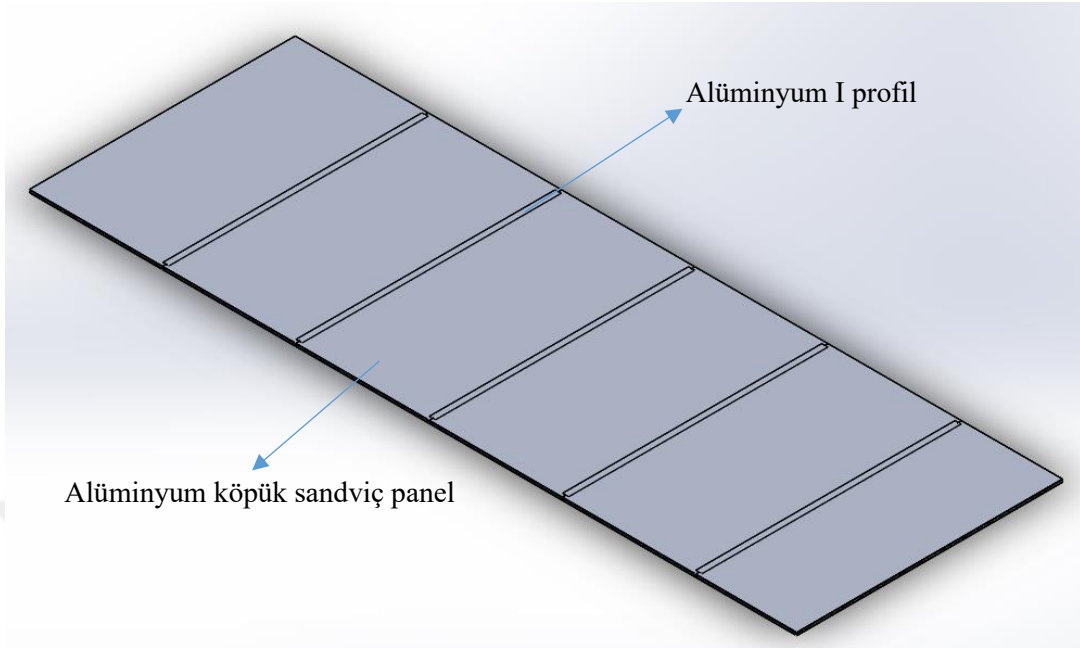
Taban panel üretilirken kalınlıkları 1 mm alüminyum, 28 mm alüminyum köpük ve 1 mm alüminyum ölçülerinden oluşan alüminyum köpük sandviçler 1,5 mm et kalınlığında 30 mm iç boşluğundaki I profilleri arasına geçirilir (Şekil 6.54). Arasına sıvı yalıtımı ve birleştirme için mastik ile montaj yapılır.



Şekil 6.52. Alüminyum köpük.

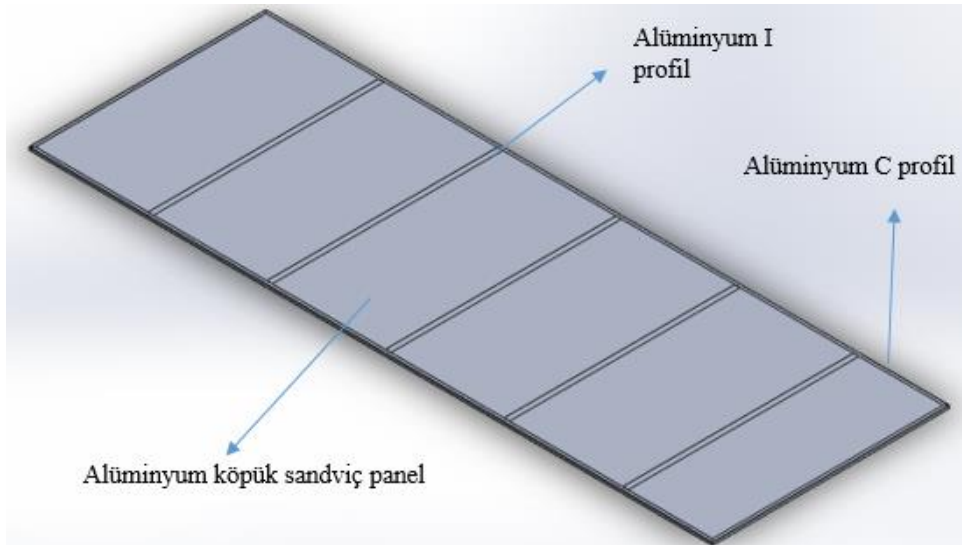


Şekil 6.53. Alüminyum I profil.



Şekil 6.54. Taban panel alüminyum köpük birleştirilmesi.

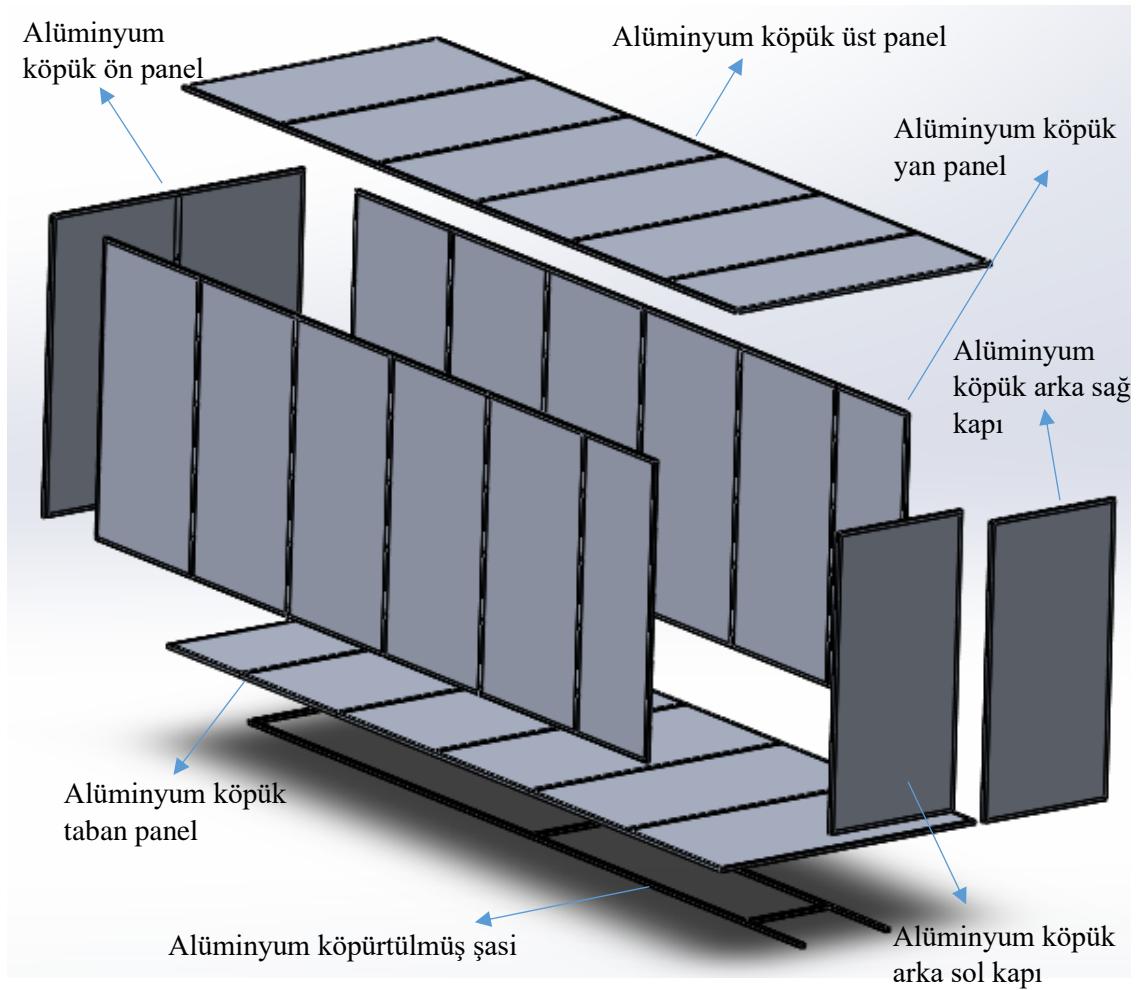
Bütün paneller bir araya geldiğinde mastik sürülen C profil ile tüm köşeler tamamen kapatılır. Böylece taban panel kompleksi oluşturulmuş olur. Karoser şasisi üzerine L şeklindeki lamalar ile vidalanarak sabitlenir. Taban panelin kamyon üzerindeki karoser şasisinin üzerine montajından sonra diğer panellerin imalatına başlanır (Şekil 6.55).



Şekil 6.55. Taban panel kompleksi.

Ön panel, sağ panel, sol panel ve tavan panel üretilirken karayolları yönetmeliğinin yükseklik sınırları çerçevesinde talep edilen ve kamyonun müsaade ettiği yükseklik ölçülerine göre yüksekliğe karar verildikten sonra yan panellerin ve ön panelin yüksekliği belirlenmiş olur. Bu yükseklik ölçülerinde üretilen alüminyum köpük sandviçler yine mastik yardımı ile H profillere, H profiller de alüminyum köpük sandviçlere birleştirilerek paneller bir araya getirilir. Panellerin montajları tamamlandıktan sonra C profil ile her panel çevrelenecek şekilde kapatılır. Paneller taban panel üzerinde dikilirken ön panel iki yandan 15 mm boşluk kalacak şekilde ortalanarak taban panele lehimlenir. Sağ ve sol panel ön panelde bırakılan boşluğu dolduracak şekilde konumlandırılarak montajlanır. Taban panel ve ön panele lehimleme yöntemi ile sabitlenen sağ ve sol panelin üzerine tavan panel getirilir. Tavan panel de ön panel ve yan panellerden 15 mm boşluk bırakılarak yarısına oturacak şekilde konumlandırıldıktan sonra lehimleme yöntemi ile ön panel ve yan panellere sabitlenir (Şekil 6.56). Arka kısımda ise 2 adet kapı bulunmaktadır. Bu kapılarda alüminyum köpük sandviç ile üretilip çevresi alüminyum C profil ile kapatıldıktan sonra menteşe kenarı hariç tüm kenarlarına kapı pvc'si olarak adlandırılan ve takım halinde satın alınan kapı lastikleri monte edilir. Ortalandıktan sonra iki kapı da menteşelerinden yerlerine oturturur. Son olarak kapı kol grubu set halinde montajlanır.

Panellerin montajında birbirlerine dayanmaları esnasında kalan alanları kapatmak ve yalıtımı arttırmak amacıyla alüminyum köşe profillerin montajına geçilir. Bunlar 60x60x1,5 mm'den oluşan alüminyum L profillerdir. Üstte kalan 4 kenar ve inişler bu profiller ile kaplanır. Profillerin montajında perçin, silikon ve mastik kullanılır.



Şekil 6.56. Alüminyum köpük karoser kompleksi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir.)

6.2.5. Alüminyum köpük karoser maliyet analizi

Çizelge 6.5. Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir).

ALÜMİNYUM KÖPÜK KAPALI KASA				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR			
	ADET/KG/L/M	BOY	BİRİM	FİYAT
TABAN GRUBU	1	-		
ANA ŞASİ KOMPLESİ	1	-		
ŞASİ KOLU-1 2,6*40*40 KUTU PROFİL (7500 mm)	2	0	m	360,00 ₺
ŞASİ KOLU-2 2,6*40*40 KUTU PROFİL (900 mm)	1			21,60 ₺
ŞASİ KOLU-3 2,6*40*40 KUTU PROFİL (820 mm)	2			39,36 ₺
ŞASİ BAĞLANTI BRAKETİ	12	200	Adet	30,00 ₺

Çizelge 2.5. (devam) Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir.).

ALÜMİNYUM KÖPÜK KAPALI KASA				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR			
	ADET/KG/L/M	BOY	BİRİM	FİYAT
TABAN KOMPLESİ	1	-		
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (1300 mm*2596 mm)	5	16,874	m ²	17899,48 ₺
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (986 mm*2596 mm)	1	2,59	m ²	2715,21 ₺
ALÜMİNYUM H PROFİL 2*30*60 (2532 mm)	5	2,53	m	46,70 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (7500 mm)	2	15	m	161,70 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (2600 mm)	2	5,2	m	56,05 ₺
TELEVRE KOMPLESİ	1	-		
YAN TELEVRE	2	0	kg	74,18 ₺
MONTAJ MALZEMELERİ GRUBU	1	-		
ÇAMURLUK	4	600	kg	33,06 ₺
YAN PANEL KOMPLESİ (7475*2472)	2			
YAN DUVAR GRUBU	1	-		
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (1300 mm*2566 mm)	5	16,679	m ²	17920,19 ₺
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (952 mm*2596 mm)	1	2,59	m ²	2624,62 ₺
ALÜMİNYUM H PROFİL 2*30*60 (2506 mm)	5	2,5	m	231,05 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (7500 mm)	2	15	m	161,70 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (2600 mm)	2	5,2	m	56,05 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-		
POLİN YAPIŞTIRICI	2	0	m ²	436,80 ₺
ÖN PANEL KOMPLESİ (2490*2472)	1			
ÖN DUVAR KARKAS GRUBU	1	-		
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (1282 mm*2540mm)	2	3,25	m ²	6916,34 ₺
ALÜMİNYUM H PROFİL 2*30*60 (2506 mm)	1	2,5	m	46,21 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (2538 mm)	4	10	m	109,44 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-		
POLİN YAPIŞTIRICI	2	2,49	m ²	145,02 ₺
TAVAN PANEL KOMPLESİ (2542*7475)	1			
YAN DUVAR KARKAS GRUBU	1	-		
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (1300 mm*2596 mm)	5	16,874	m ²	17899,48 ₺
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (986 mm*2596 mm)	1	2,59	m ²	2715,21 ₺
ALÜMİNYUM H PROFİL 2*30*60 (2532 mm)	5	2,53	m	46,70 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (7500 mm)	2	15	m	161,70 ₺

Çizelge 3.5. (devam) Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir.).

ALÜMİNYUM KÖPÜK KAPALI KASA				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR			
	ADET/KG/L/M	BOY	BİRİM	FİYAT
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (2600 mm)	2	5,2	m	56,05 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-		
POLİN YAPIŞTIRICI	2	0	m ²	436,80 ₺
ARKA PANEL KOMPLESİ	1	-		
ARKA KAPI GRUBU	1	-		
SAĞ ARKA KAPI KOMPLESİ	1			1.132,31 ₺
KAPI GRUBU	1			
ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ (1256 mm*2534 mm)	2	6,4	m ²	6760,06 ₺
ALÜMİNYUM U PROFİL 2*32*36 (7524 mm)	2	7,52	m	81,11 ₺
MENTEŞE BRAKETİ	6	0,2	kg	22,04 ₺
BRAKET-1	2	0,15	kg	5,51 ₺
BRAKET-2	2	0,15	kg	9,18 ₺
BRAKET-3	4	0,1	kg	7,35 ₺
PANEL YAPIŞTIRICI	1	-		
POLİN YAPIŞTIRICI	2	2,4	m ²	69,89 ₺
KAPI KOL GRUBU	1			
DELTA PLASTİKLİ KOL TAKIMI (KROM) NEVPA	1		Adet	78,78 ₺
SİMETRİ KANCA TAKIMI (KROM) 27 LİK NEVPA	2		Adet	14,60 ₺
BÜYÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	2		Adet	48,46 ₺
KÜÇÜK BORU YUVASI (KROM) 27 LİK NEVPA	1		Adet	21,03 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	10		Adet	25,50 ₺
KROM BORU 27 LİK	1	2,4	m	15,63 ₺
KAPI MENTEŞE GRBU	3			
YENİ MENTEŞE SACAYAK (KROM) NEVPA	1		ad.	63,78 ₺
M8*25 PASLANMAZ İMBUS CİVATA	4		ad.	42,40 ₺
KAPI LASTİK GRUBU	1			
PVC PROFİL 47 MM NEVPA (2000 mm)	2	2,4	m	41,14 ₺
PVC PROFİL 47 MM NEVPA 1000 mm)	2	0	m	22,28 ₺
4.8*16 ÇELİK PERÇİN	20		Adet	30,20 ₺
LASTİK KÖŞE BİRLEŞTİRİCİ	4		Adet	6,04 ₺
KASA TRİM GRUBU	1	-		
ALUMİNYUM PROFİL GRUBU	1	-		
ALUMİNYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÜST YAN)	2	0	m	220,50 ₺
ALUMİNYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÖN YAN)	2	2,6	m	76,44 ₺

Çizelge 4.5. (devam) Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir.).

ALÜMİNYUM KÖPÜK KAPALI KASA				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR			
	ADET/KG/L/M	BOY	BİRİM	FİYAT
ALUMİNYUM KÖŞE PROFİLİ (5*9) (ÜST ÖN)	1	0	m	38,22 ₺
ALUMİNYUM KÖŞE PROFİLİ (T PRF.) (ALT YAN KAP.)	2	0	m	368,55 ₺
ALUMİNYUM YARDINCI MALZEME GRUBU	1	-		
4.8*20 ÇELİK PERÇİN	150		Adet	19,00 ₺
MASTİK SOSİS	6		Adet	52,80 ₺
ELEKTRİK MALZEME GRUBU	1	-		
PARK LAMBALARI GRUBU	1	-	Adet	
YAN PARK LAMBALARI YAPIŞTIRMA	6		Adet	34,80 ₺
LED Lİ ÖN GABARİ LAMBASI	2		Adet	10,60 ₺
LED Lİ ARKA GABARİ LAMBASI	2		Adet	10,60 ₺
İÇ AYDINLATMA GRUBU	1	-	Adet	
İÇ AYDINLATMA LAMBASI	2		Adet	36,00 ₺
AÇMA KAPAMA DÜĞMESİ	1		Adet	5,60 ₺
KABLO GRUBU	1	-	Adet	
2*1,5 TTR KABLO	1	0	m	108,00 ₺
TESİSAT MONTAJ MALZEMELERİ	1	-	Adet	
İZOLE BANT	1	20	m	2,75 ₺
5*12 SAC VİDASI	30		Adet	13,50 ₺
12 VSİNYAL AMPULÜ	2		Adet	0,74 ₺
12 V 67 PARK AMPULU	4		Adet	10,00 ₺
BOYA GRUBU	1	-		
BOYA MALZEMELERİ	1	-		
TİNER	1	3	kg	37,50 ₺
ASTAR	1	2	kg	30,50 ₺
BOYA (SİYAH)	1	2	kg	51,40 ₺
MASTİK (BEYAZ)	5		Adet	71,50 ₺
AKSESUARLAR	1	-		
BİSİKLET KORKULUĞU GRUBU	1	-		
AL. BİSİKLET KORKULUK PRF.	4	1,5	m	82,22 ₺
M8*20 CİVATA	8		Adet	6,00 ₺
M8 KARE SOMUN	8		Adet	4,00 ₺
AL. KÖŞELİ BARIYER PROFİLİ	2	0,12	m	7,03 ₺
KÖŞELİ ALUMİNYUM BARIYER BAŞLIĞI	2		Adet	5,50 ₺
ALUMİNYUM BARIYER BAŞLIĞI	6		Adet	16,50 ₺
4.8*20 ÇELİK PERÇİN	20		Adet	39,00 ₺

Çizelge 5.5. (devam) Alüminyum köpük kapalı kasa maliyet analizi (Eylül 2019 fiyatları baz alınarak seçilmiştir.).

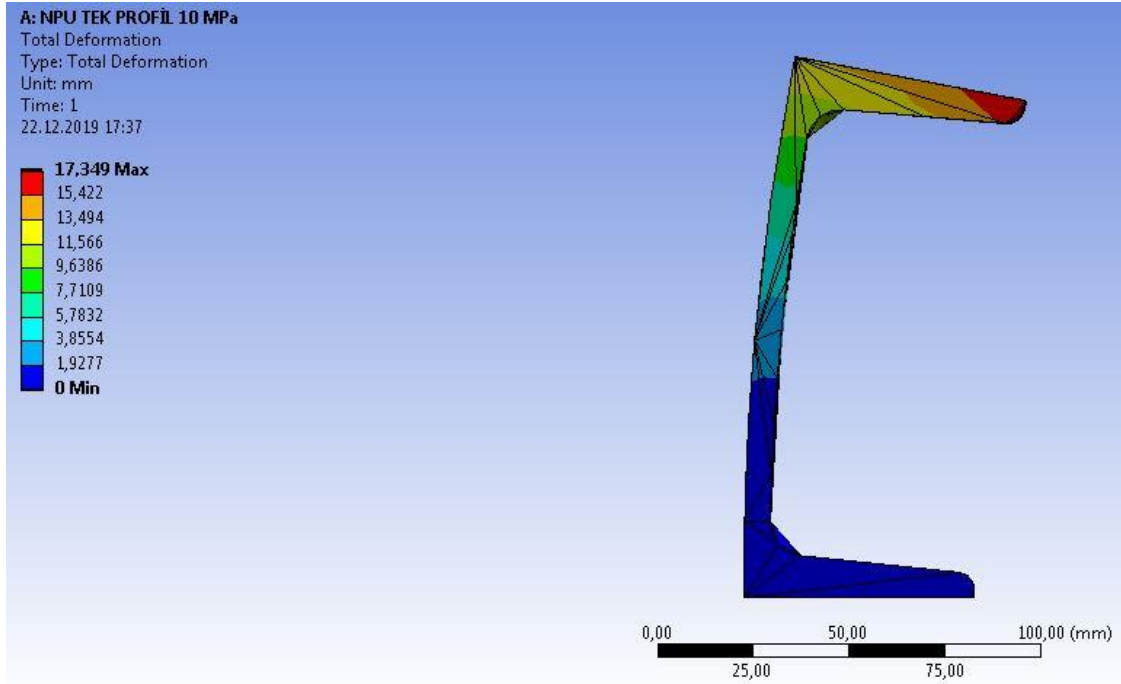
ALÜMİNYUM KÖPÜK KAPALI KASA				
KASA BOY : 7,5 m EN: 2,6 m YÜKSEKLİK: 2,6 m				
GURUP / PARÇA ADI	MİKTAR			
	ADET/KG/L/M	BOY	BİRİM	FİYAT
REFLEKTÖR GRUBU	1	-		
ŞERİT REFLEKTÖR (BEYAZ)	2	5	m	75,00 ₺
ŞERİT REFLEKTÖR (KIRMIZI)	4	2	m	60,00 ₺
KAMYON REFLEKTÖRÜ YAPIŞTIRMA	1		tm	35,00 ₺
BÜYÜK ETİKET	4		Adet	50,00 ₺
AKSESUAR MALZEME GRUBU	1	-		
ARKA DAYAMA TAKOZU NEVPA	2		Adet	25,00 ₺
ARKA KAPI TUTAMAĞI 367 MM NEVPA	2		Adet	55,70 ₺
CİVATALI ARMUT TAKOZ NEVPA	2			18,40 ₺
KASA TADİLAT PROJESİ	1			350,00 ₺
İŞÇİLİK GRUBU	1	-	Adet	
KAYNAKLI İMALAT İŞÇİLİĞİ	1	4	Saat	440,00 ₺
PANEL BASIM İŞÇİLİĞİ	1	6	Saat	660,00 ₺
KASA MONTAJ İŞÇİLİĞİ	1	4	Saat	320,00 ₺
ELEKTRİK İŞÇİLİĞİ	1	2	Saat	160,00 ₺
ALUMİNYUM TRİM İŞÇİLİĞİ	1	4	Saat	520,00 ₺
BOYA İŞÇİLİĞİ	1	2	Saat	480,00 ₺
AKSESUAR İŞÇİLİĞİ	1	4	Saat	320,00 ₺
TOPLAM MALİYET				84.826,34 ₺

6.2.6. Alüminyum köpük karoser ansys analizleri

Şasi profili analizleri:

Karoserlerde ağırlık Karayolları Genel Müdürlüğü trafik yönetmeliğinin 128. Maddesi gereği sınırlandırılmıştır. Bu nedenle karoseri mümkün olduğunca hafifletmek boş ağırlığı hafifleyeceğinden daha fazla yük alabilmesine olanak sağlayacaktır. Aynı zamanda boş ağırlığı azalacağından yakıt tasarrufu sağlanmış ve doğaya daha az egzoz salınımı sağlanmış olacaktır. Karoserler kutu profilden yapılan iskelet ve şase yerine profil içerisine köpürtülmüş alüminyum kullanılarak çok daha mukavemetli bir yapı yapılabilir.

NPU profil solidworks programı yardımı ile 7500 mm uzunluğunda çizilmiştir. Ansys programına yüklenmiştir. Normal üretim yönteminde kullanılan 140*8 NPU profil alt zemin yüzeyinden sabitlenmiş ve üzerinde 10 MPa yayılı yük uygulanmıştır.

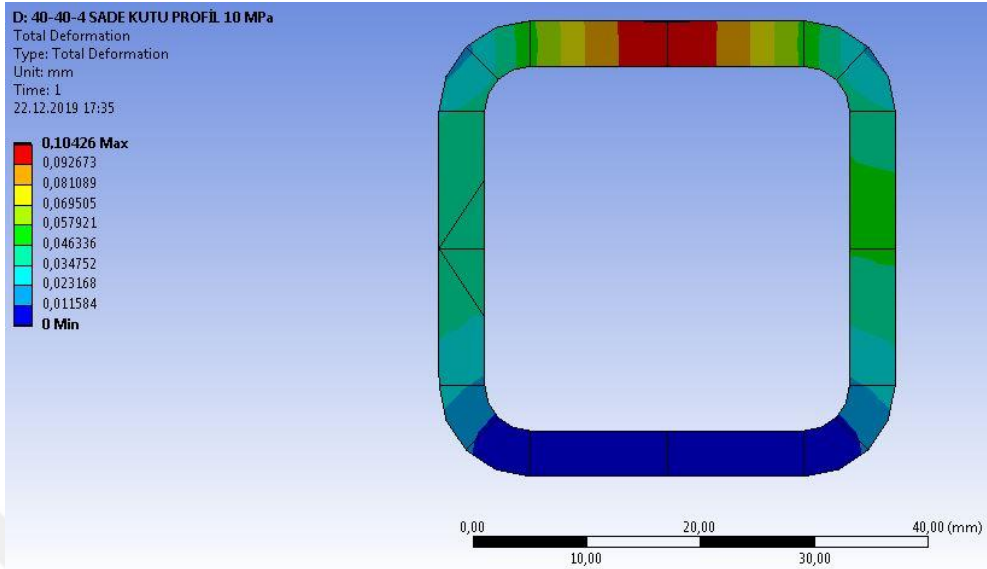


Şekil 6.57. NPU 10 MPa altında 17,349 mm deformasyon.

NPU profil geometrisi itibariyle üst yüzeyden gelen kuvvetlerde kutu profil kadar dayanıklı değildir. Analizlerin sonucunda da geometrisinin epeyi bozulduğu gözlemlenmiştir. Analiz değerlerine bakıldığında ise 17,349 mm deformasyona uğramıştır (Şekil 6.57).

Bunun yerine kutu profil kullanmayı amaçlıyoruz. 40*40 kutu profil standartlarından 4 mm, 3,2 mm ve 2,6 mm et kalınlığına sahip kutu profiller ile analizler yapılacaktır. Analizlerin sonuçlarına göre NPU profil sonuçlarına yakın olan seçilecektir.

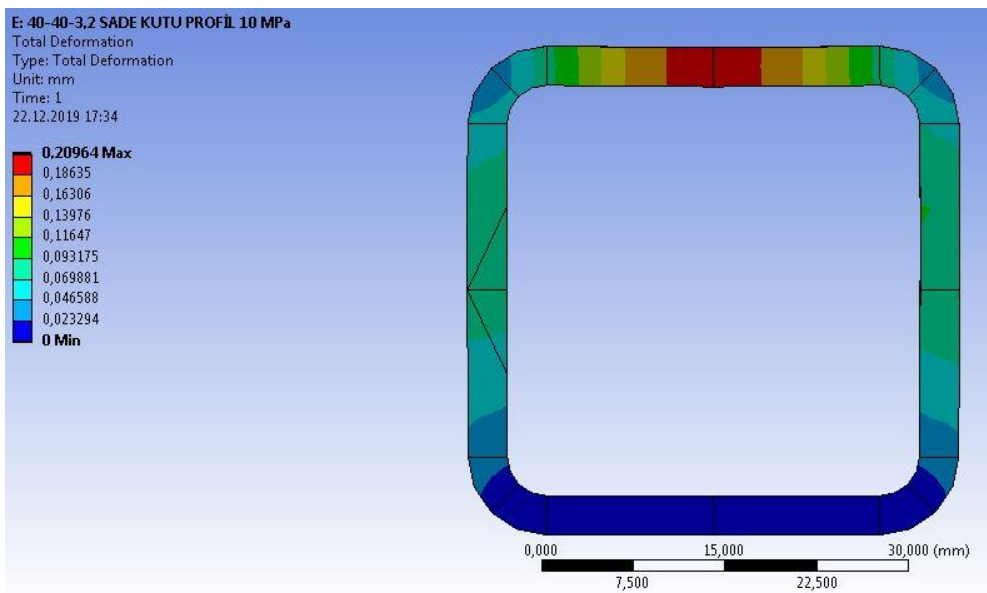
40*40*4 mm kutu profil (Şekil 6.58) ile analizlere başlayarak 7500 mm uzunluğunda kutu profil ansys programına yüklendikten sonra alt yüzeyinden sabitlendikten sonra üstten yük bineceği için üst yüzeyinden 10 MPa yayılı bası gerilmesi altında analizleri yapılacaktır.



Şekil 6.58. Şasi için 4x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,1 mm deformasyon.

Kutu profil geometrisi itibariyle üst yüzeyden gelen kuvvetlere daha dayanıklıdır. Analizlerin sonucunda da geometrisinin pek bir deformasyon olmamıştır. Analiz değerlerine bakıldığında ise 0,104 mm deformasyona uğramıştır.

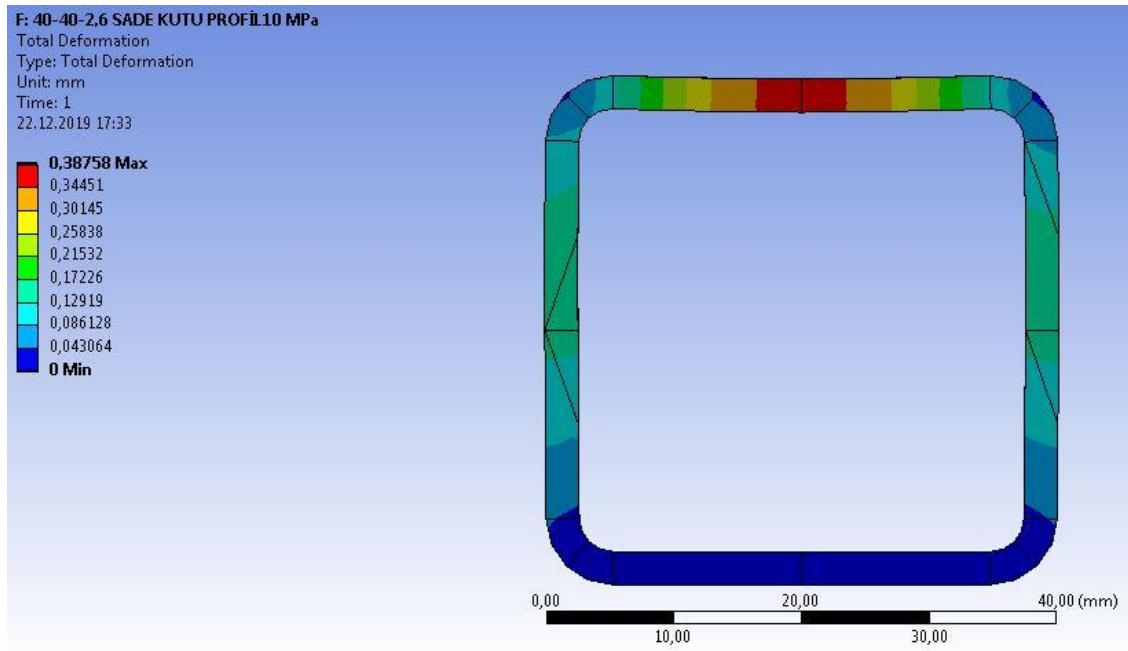
40*40*3,2 mm kutu profil (Şekil 6.59) solidworks programı ile 7500 mm uzunluğunda çizilmiştir. Ansys programına yüklendikten sonra alt yüzeyinden sabitlenir ve üstten yük bineceği için üst yüzeyinden 10 MPa yayılı bası gerilmesi altında analizleri yapılacaktır.



Şekil 6.59. Şasi için 3,2x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,2 mm deformasyon.

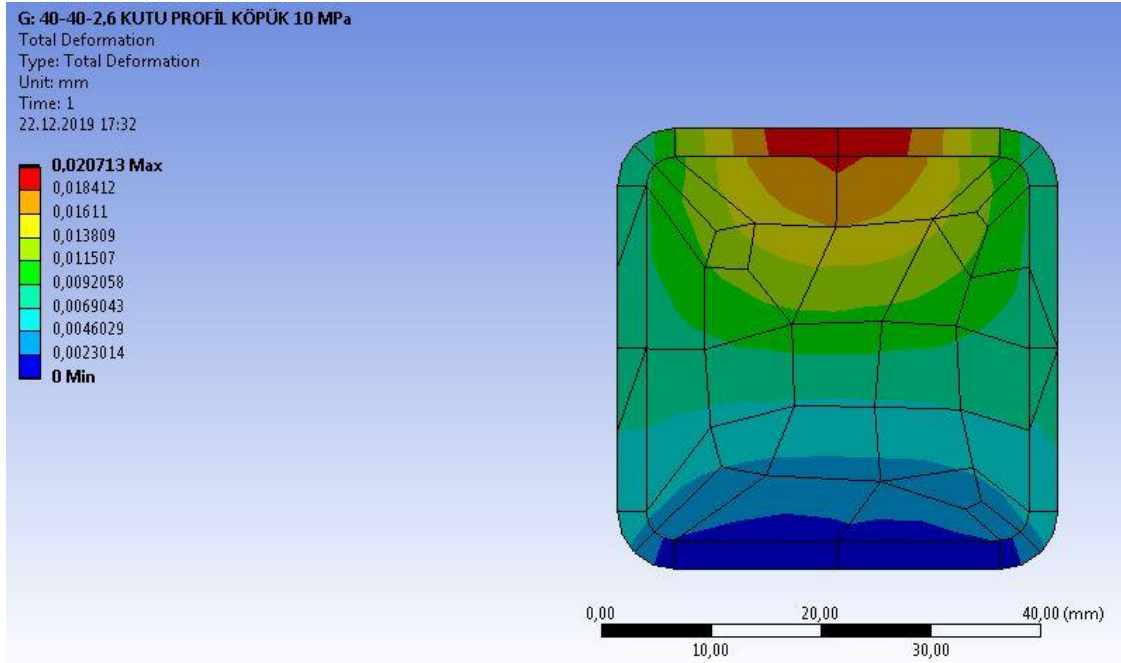
Kutu profil geometrisi itibariyle üst yüzeyden gelen kuvvetlere daha dayanıklıdır. 40*40*3,2 kutu profilin analizlerin sonucunda da geometrisinin pek bir deformasyon olmamıştır. Analiz değerlerine bakıldığında ise 0,104 mm deformasyona uğramıştır.

40*40*2,6 mm kutu profil (Şekil 6.60) solidworks programı ile 7500 mm uzunluğunda çizilmiştir. Ansys programına yüklendikten sonra alt yüzeyinden sabitlenir ve üstten yük bineceği için üst yüzeyinden 10 MPa yayılı bası gerilmesi altında analizleri yapılacaktır.



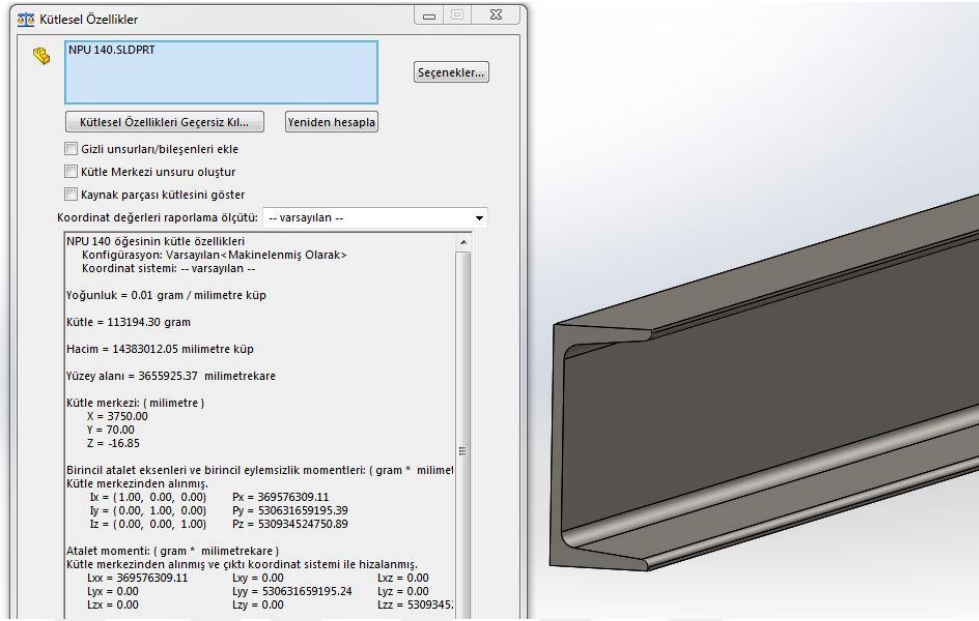
Şekil 6.60. Şasi için 2,6x40x40 kutu profil 10 MPa altında 0,387 mm deformasyon.

Kutu profil geometrisi itibariyle üst yüzeyden gelen kuvvetlere daha dayanıklıdır. 40*40*2,6 kutu profilin analizlerin sonucunda da geometrisinin pek bir deformasyon olmamıştır. Analiz değerlerine bakıldığında ise 0,387 mm deformasyona uğramıştır. 40*40*2,6 kutu profil ile yapılan analizler oldukça başarılı olmuştur. 40*40*2,6 kutu profile karar verilmiş ve içerisine alüminyum köpük köpürtülerek yine 10 MPa yayılı yük altında analizler yapılacaktır.

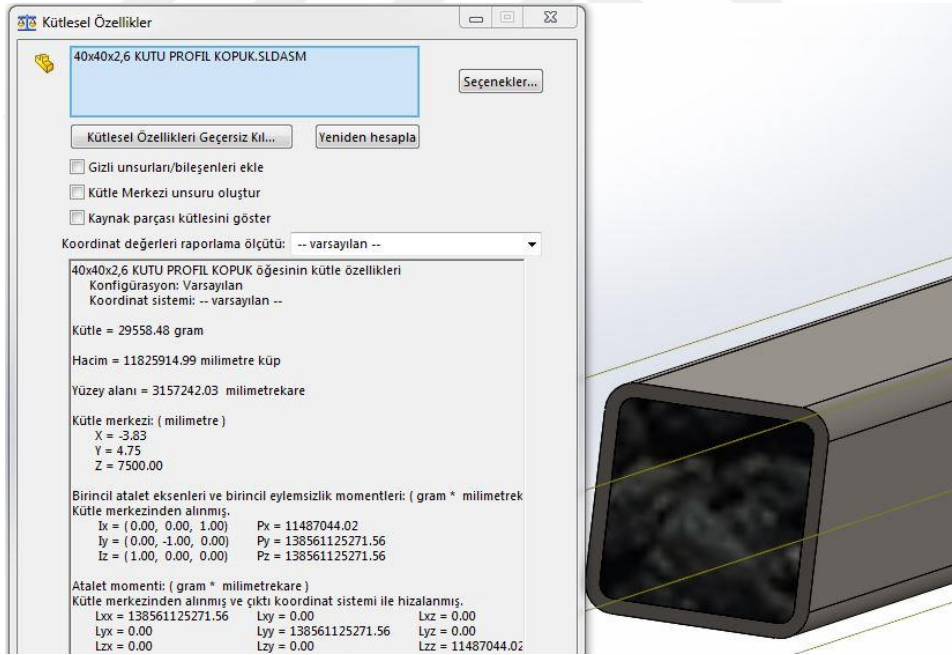


Şekil 6.61. Şasi için 2,6x40x40 kutu profile alüminyum köpürtülmüş haliyle 10 MPa altında 0,02 mm deformasyon.

Kutu profil içine alüminyum köpürtülmüş hali ile 40*40*2,6 kutu profilin analizlerin sonucunda dayanımı 18 kat artmıştır (Şekil 6.61). Analiz değerlerine bakıldığında toplam deformasyon 0,0207 mm'e kadar düşürülmüştür. Bu sayede NPU profile göre 838 kat daha dayanıklı hale getirilmiştir. Ağırlık açısından incelendiğinde 7500 mm uzunluğunda 140*8 NPU profilde 113,19 kg (Şekil 6.62) iken 29,56 kg'a (Şekil 6.63) düşürülmüştür.



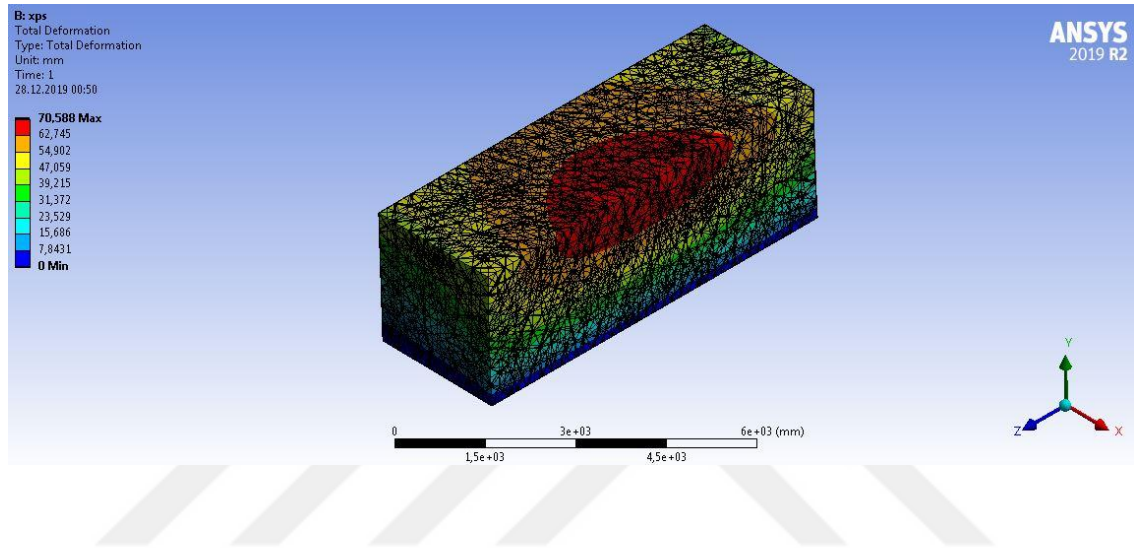
Şekil 6.62. Şasi profil uzunluğu 7500 mm olan 140x8NPU ağırlığı 113,19 kg.



Şekil 6.63. Şasi profil uzunluğu 7500 mm olan 2,6x40x40 alüminyum köpürtülmüş kutu profil 29,56 kg.

Alüminyum köpük seçimi

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser solidworks programı yardımı ile 1 mm kalınlıkta CTP, 40 mm kalınlıkta XPS köpük, 2 mm kalınlıkta kontrplak, 1 mm kalınlıkta CTP den oluşan çizimler tamamlandıktan sonra montajlanmıştır. Ansys programına yüklenen karoser alt şasisinden sabitlenerek yan yüzeyine 0,6 MPa yayılı yük uygulanmıştır.



Şekil 6.64. Normal üretim ile üretilmiş karoser 0,6 MPa altında 70,588 mm deformasyon.

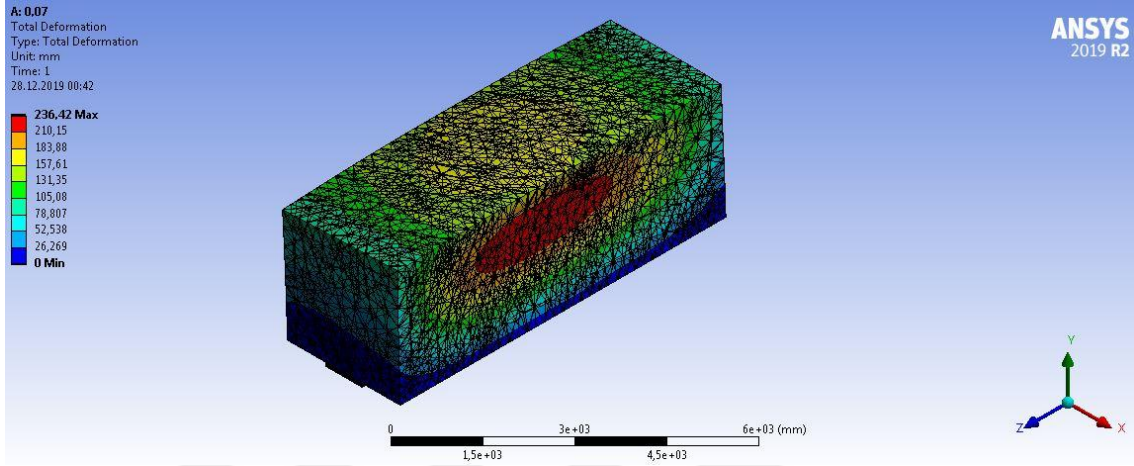
Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserde analiz sonuçlarında 70,588 mm deformasyona uğramaktadır (Şekil 6.64). O halde seçeceğimiz alüminyum köpük malzemesindeki deformasyon minimum 70,6 mm olmalıdır.

Alüminyum-SiC köpük (0,07)

Yoğunluk:	64-72 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,03-0,04 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,057-0,063
Young Modülü:	0,045-0,07 GPa
Akma Mukavemeti:	0,025-0,051 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller

montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.



Şekil 6.65. Alüminyum-SiC köpük 0,07 ile 0,6 MPa yük altında 236,42 mm deformasyon.

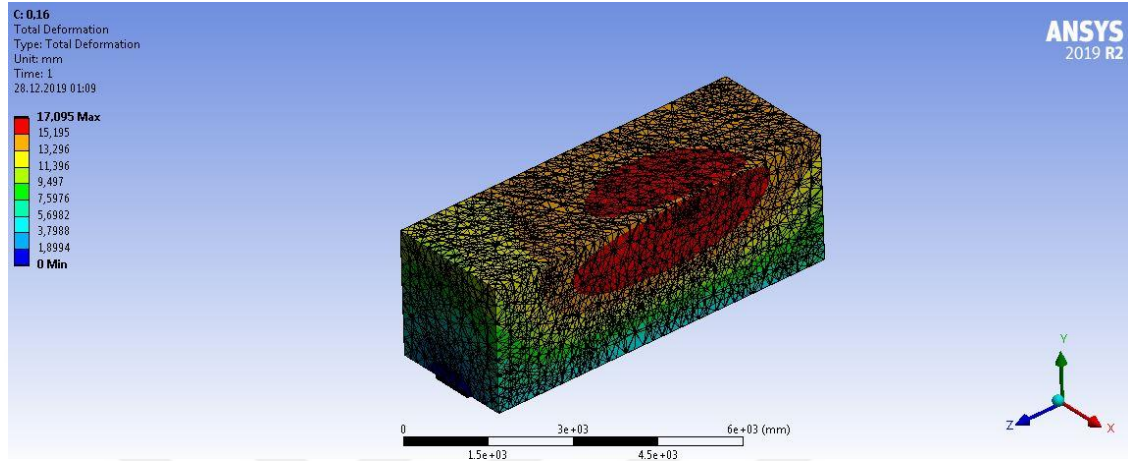
Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 236,42 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.65). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum-SiC köpük (0,07) daha fazla deformasyona uğradığı için daha dayanıksız denilebilir.

Alüminyum-SiC köpük (0,16)

Yoğunluk:	140-180 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,012-0,018 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,057-0,063
Young Modülü:	0,16-0,2 GPa
Akma Mukavemeti:	0,11-0,23 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen

alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.



Şekil 6.66. Alüminyum-SiC köpük 0,16 ile 0,6 MPa yük altında 17,095 mm deformasyon.

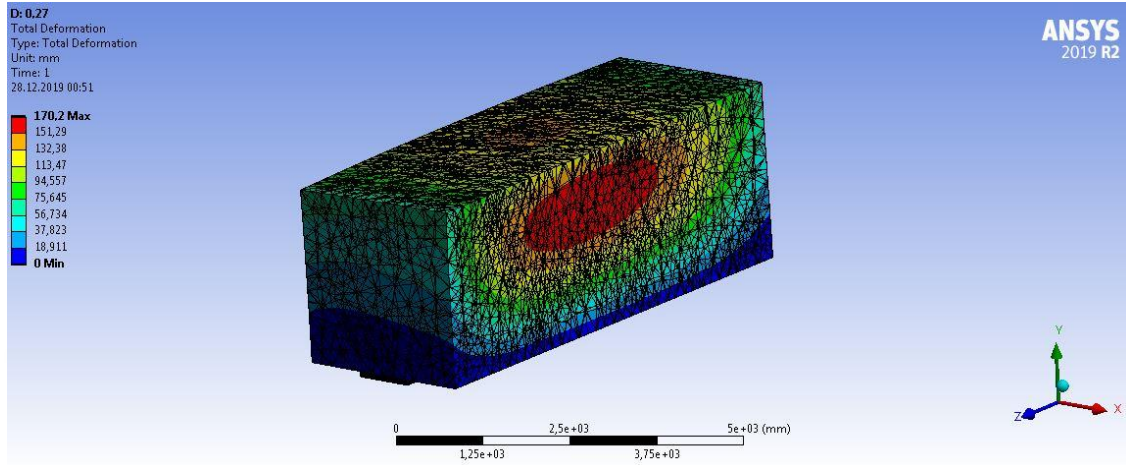
Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 17,095 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.66). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum-SiC köpük (0,16) daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir. Açık hücreli olduğundan tercih edilmemiştir.

Alüminyum-SiC köpük (0,27)

Yoğunluk:	240-300 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,004-0,006 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,09-0,11
Young Modülü:	0,67-0,9 GPa
Akma Mukavemeti:	0,58-0,91 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen

alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.



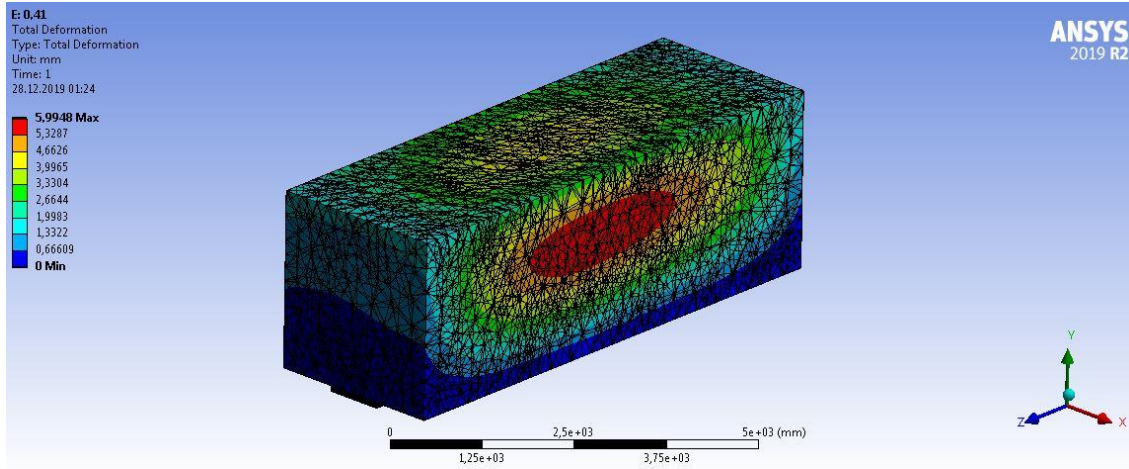
Şekil 6.67. Alüminyum-SiC köpük 0,27 ile 0,6 MPa yük altında 170,2 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 170,2 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.67). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum-SiC köpük (0,27) daha fazla deformasyona uğradığı için daha dayanıksızdır denilebilir.

Alüminyum-SiC köpük (0,41)

Yoğunluk:	380-440 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,001-0,0018 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,14-0,16
Young Modülü:	1,4-1,8 GPa
Akma Mukavemeti:	2,6-3,2 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.



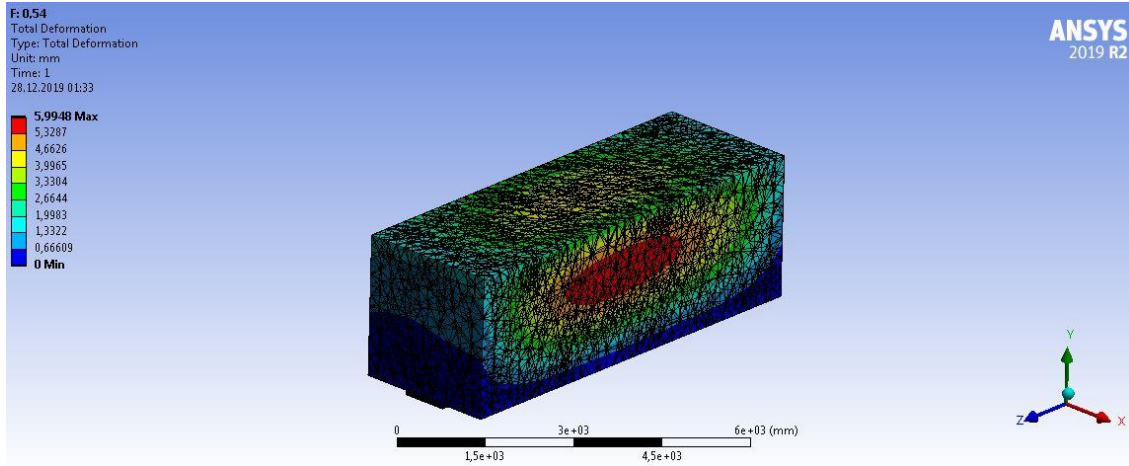
Şekil 6.68. Alüminyum-SiC köpük 0,41 ile 0,6 MPa yük altında 5,99 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 5,99 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.68). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum-SiC köpük (0,41) daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir. Fakat açık hücreli olduğundan tercih edilmemiştir.

Alüminyum-SiC köpük (0,54)

Yoğunluk:	500-580 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,0012-0,0002 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,19-0,21
Young Modülü:	2,6-3 GPa
Akma Mukavemeti:	7-7,7 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.



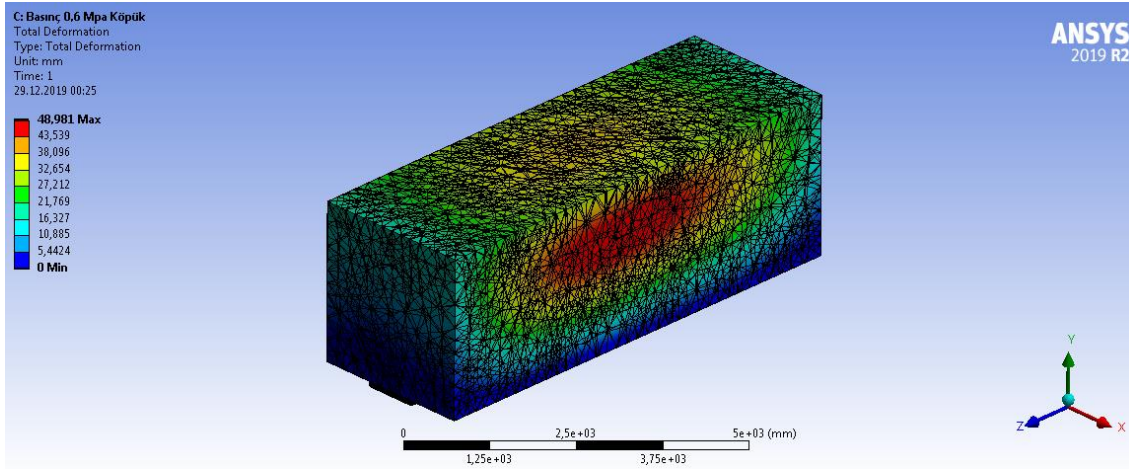
Şekil 6.69. Alüminyum-SiC köpük 0,54 ile 0,6 MPa yük altında 5,99 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 5,99 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.69). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum-SiC köpük (0,54) daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir. Fakat açık hücreli olduğundan tercih edilmemiştir.

Alüminyum Köpük (1,0)

Yoğunluk:	970-1000 kg/m ³
Hücre Boyutu:	0,015-1 mm ³
Bağıl Yoğunluk:	0,35-0,39
Young Modülü:	13,2-14,8 GPa
Akma Mukavemeti:	25-30 MPa

Yukarıdaki özelliklere sahip alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 38 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan panelinden 0,6 MPa bası gerilmesi altında analizler yapılacaktır.

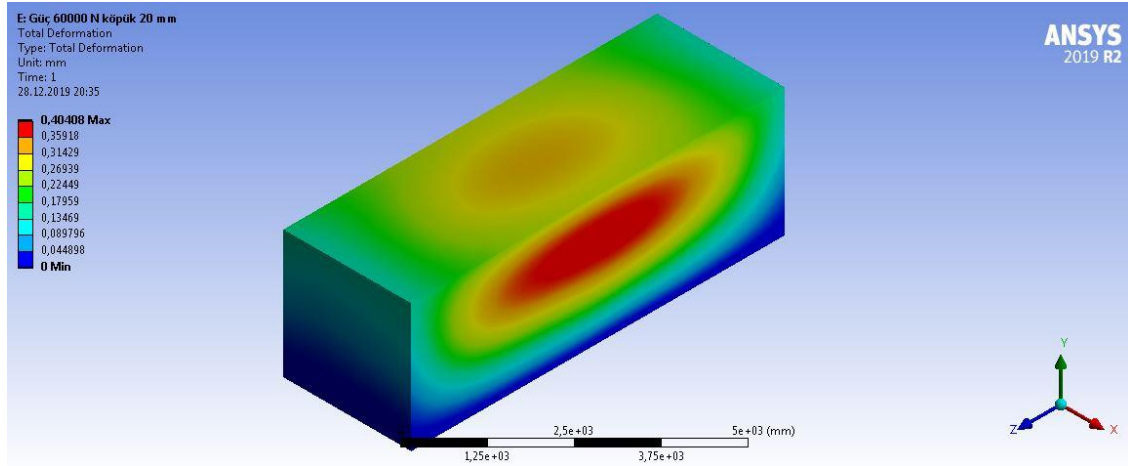


Şekil 6.70. Alüminyum köpük 1,0 ile 0,6 MPa yük altında 48,981 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 48,98 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin analiz sonuçlarında 70,6 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.70). İki arasında kıyas yapıldığında alüminyum köpük (1,0) daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir. Kapalı hücreli olduğu için tercih edilmiştir. XPS köpük alüminyum köpüğe göre çok hafif bir malzeme olduğu için mukavemet değerleri en yüksek olan kapalı hücreli alüminyum 1,0 ticari adı Alporas olan kapalı hücreli köpük seçildikten sonra kalınlığı azaltılarak ağırlığın düşürülmesi hedeflenmiştir. Bunun için 3 farklı analiz hazırlandı:

Analiz - 1

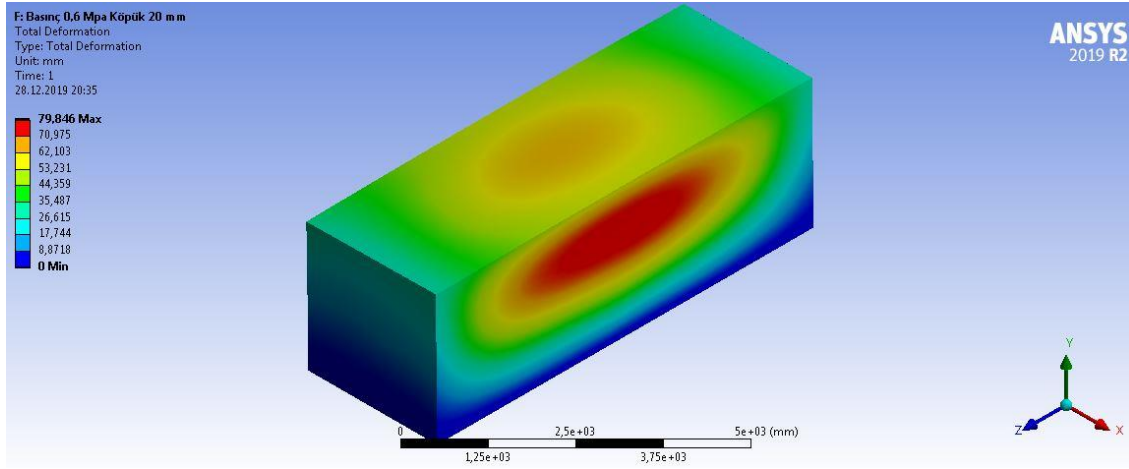
Alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 18 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 60 kN bası kuvveti altında analiz yapılacaktır.



Şekil 6.71. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,4 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 0,4 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 60kN analiz sonuçlarında 0,396 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.71). İki arasında kıyas yapıldığında 20 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir.

Alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 18 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 0,6 MPa bası gerilmesi altında analiz yapılacaktır.

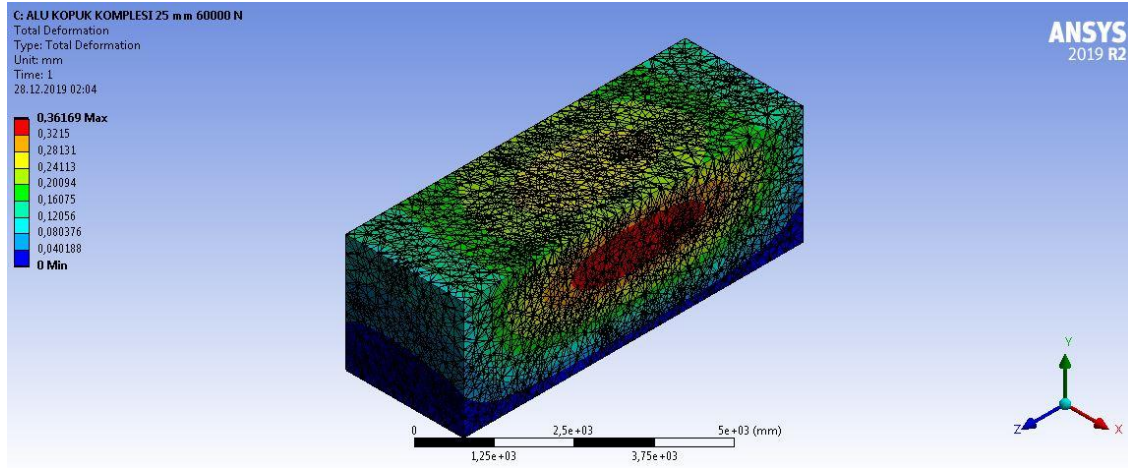


Şekil 6.72. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 79,85 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 79,85 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 0,6 MPa analiz sonuçlarında 70,588 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.72). İki arasında kıyas yapıldığında 20 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha fazla deformasyona uğradığı için daha dayanıksızdır denilebilir.

Analiz - 2

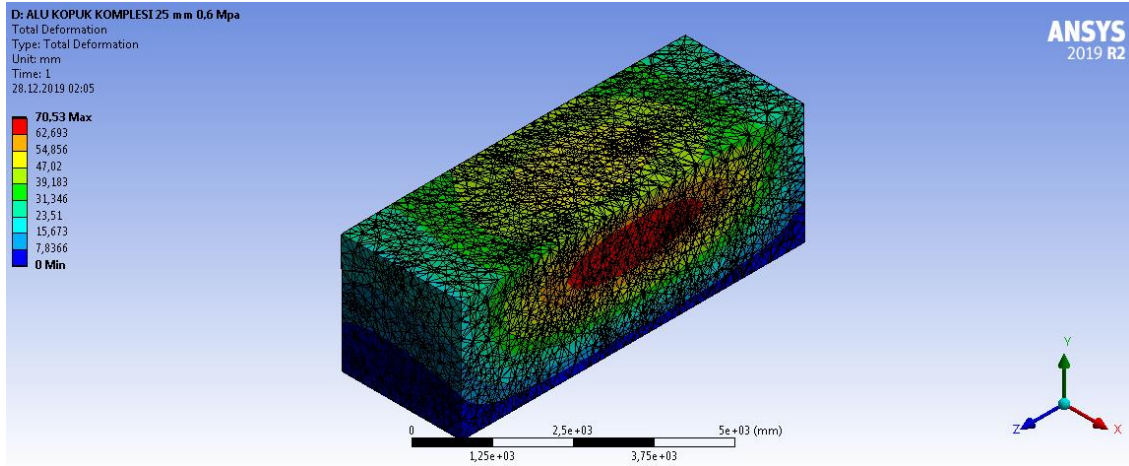
Alüminyum köpük malzemeden üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 23 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 60 kN bası kuvveti altında analiz yapılacaktır.



Şekil 6.73. Alüminyum köpük sandviç 25 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,36 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 0,36 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 60kN analiz sonuçlarında 0,396 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.73). İki arasında kıyas yapıldığında 25 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir.

Alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 23 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 0,6 MPa bası gerilmesi altında analiz yapılacaktır.

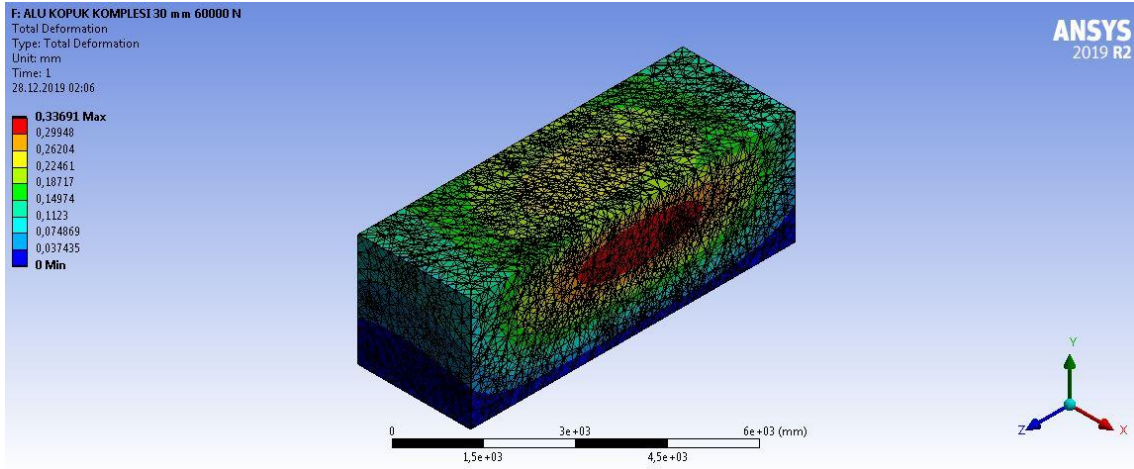


Şekil 6.74. Alüminyum köpük sandviç 20 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 70,53 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 70,53 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 0,6 MPa analiz sonuçlarında 70,588 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.74). İki arasında kıyas yapıldığında 25 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir. Fakat değerler birbirine çok yakın olduğundan 30 mm kalınlıkta analizler tekrarlanacaktır.

Analiz - 3

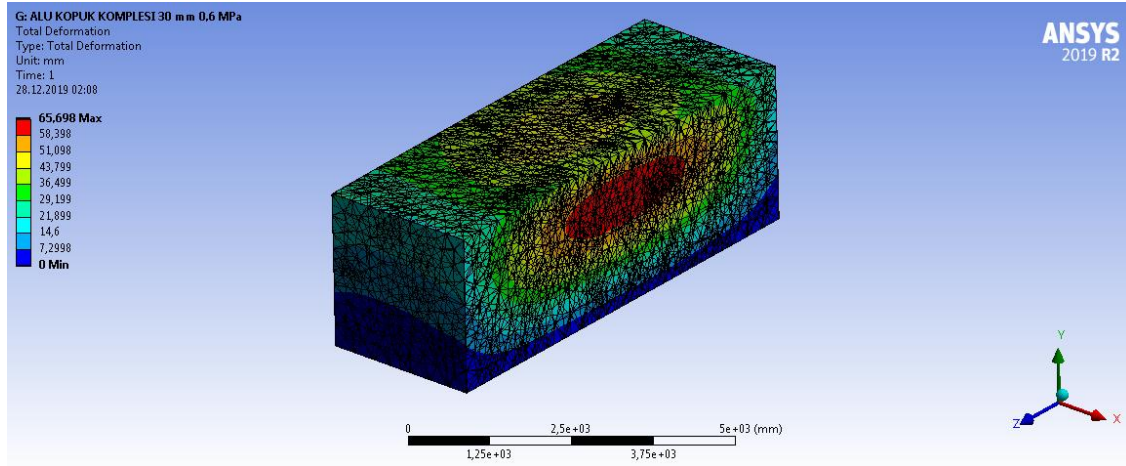
Alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 18 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 60 kN bası kuvveti altında analiz yapılacaktır.



Şekil 6.75. Alüminyum köpük sandviç 30 mm kalınlıkta 60kN yük altında 0,33 mm deformasyon.

Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 0,33 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 60kN analiz sonuçlarında 0,396 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.75). İkisi arasında kıyas yapıldığında 30 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir.

Alüminyum köpük malzemedan üretilen karoser için solidworks programı ile 1 mm et kalınlığında 2600*7500 ebatlarına alüminyum iç ve dış sac, iç kısmına 28 mm et kalınlığında alüminyum köpük paneller I profiller ile birleştirilmiştir. İç ve dış alüminyum levhalar alüminyum köpükten oluşan panellere montajlandıktan sonra tüm paneller montajlanarak alüminyum köpük karoser çizimleri tamamlanmıştır. Yukarıda özellikleri belirtilen alüminyum köpük malzemesi tanımlandıktan sonra ansys programında şasiden sabitlenerek yan paneline tek bir noktadan 0,6 MPa bası gerilmesi altında analiz yapılacaktır.



Şekil 6.76. Alüminyum köpük sandviç 30 mm kalınlıkta 0,6 MPa yük altında 65,698 mm deformasyon.

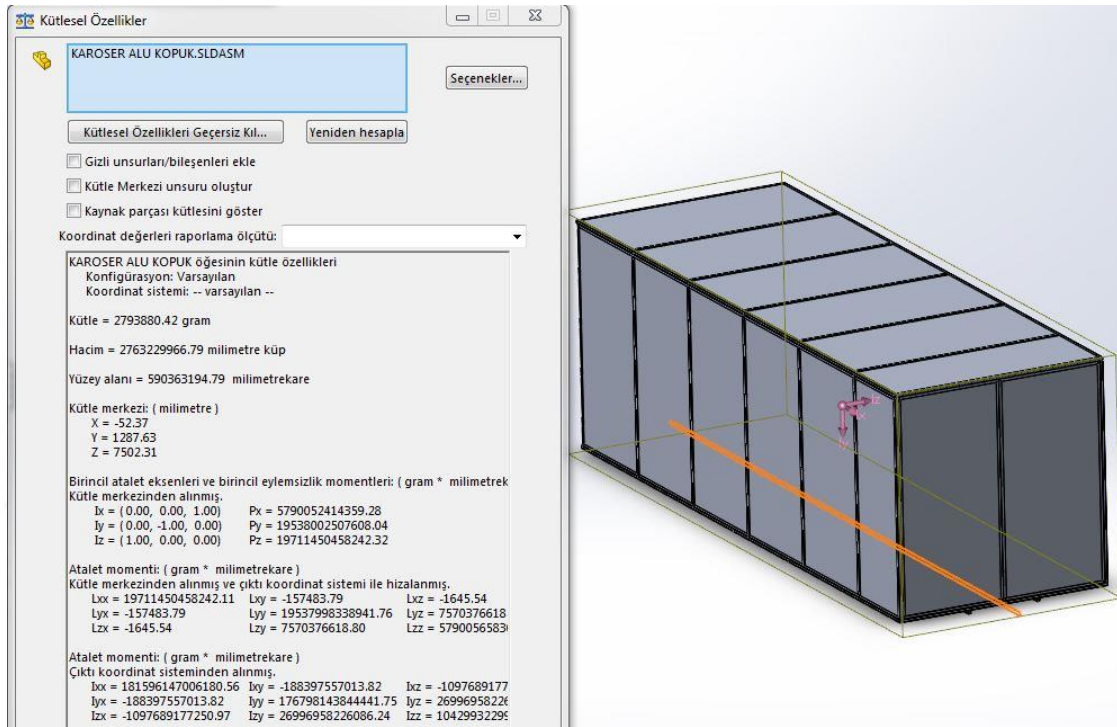
Yapılan ansys analizleri sonucunda yan panelde 65,698 mm deformasyon gözlemlenmiştir. Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserin 0,6 MPa analiz sonuçlarında 70,588 mm deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.76). İki arasında kıyas yapıldığında 30 mm kalınlıkta üretilen alüminyum köpük sandviç ile daha az deformasyona uğradığı için daha dayanıklıdır denilebilir.

Bu analizlerde yayılı yük daha gerçekçi sonuçlar verdiği için 0,6 MPa altında yapılan analiz sonuçları incelendiğinde:

20 mm et kalınlığı olan alüminyum köpük sandviçte toplam deformasyon 79,84 mm'dir.
 25 mm et kalınlığı olan alüminyum köpük sandviçte toplam deformasyon 70,53 mm'dir.
 30 mm et kalınlığı olan alüminyum köpük sandviçte toplam deformasyon 65,698 mm'dir.

Bu sonuçlara göre normal üretim yöntemi ile yapılan analizlerde toplam deformasyon 70,588 mm olduğundan 30 mm et kalınlığına sahip alüminyum köpük sandviç ile yapılan analizlerde toplam deformasyon 65,698 mm ölçülmüştür. Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta üretilen karoser daha dayanıklı olduğundan tercih edilmiş ve bundan sonraki işlemlere bu yöntem ve kalınlık ile üretilen alüminyum köpük karoser seçilerek devam edilecektir. 30 mm et kalınlığına sahip alüminyum köpük sandviç daha detaylı incelenecek olursa:

Ağırlık açısından incelediğimizde aksesuarları hariç karoser kompleksinin toplam ağırlığı 2 ton 793 kg gelmektedir (Şekil 6.77.).



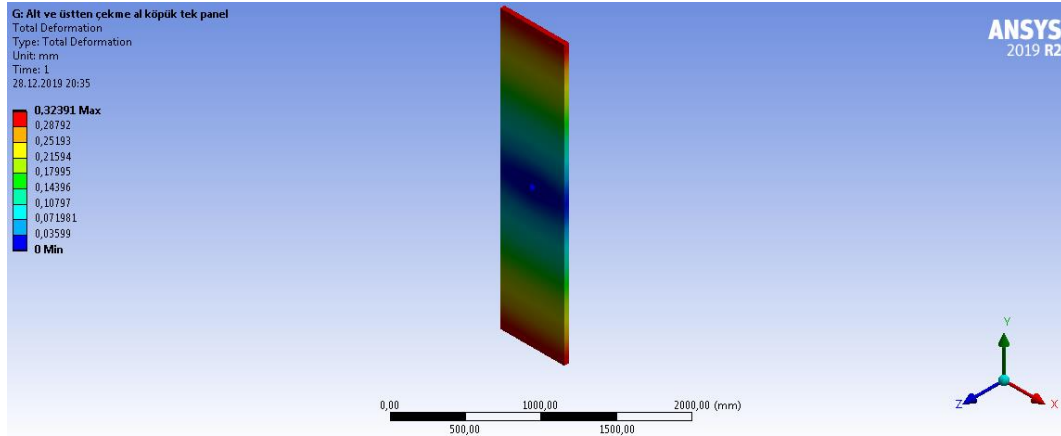
Şekil 6.77. Alüminyum köpük karoser kompleksi ağırlık analizi.

Xps ile 600*2600 ölçülerinde 44 mm et kalınlığındaki tek bir panel ile kıyaslanacağından alüminyum köpük sandviç de 600*2600 ölçülerinde 30 mm et kalınlığında çizilmiştir. Tek panel üzerinde 60 kN yük altında alttan ve üstten çekme uygulanarak, üzerine tek bir noktadan 60 kN yük uygulanarak, üzerinde yayılı yük 0,6 MPa uygulanarak analizler yapılmıştır. Aynı analizler XPS ile şu an ki üretim yöntemi ile üretilen karoser üzerinde tekrarlanmıştır.

Alüminyum köpük sandviç tek panel alt ve üstten çekme analizi

1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan panele alt ve üst kısımlarından 60 kN çekme kuvveti uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

Solidworks programı yardımı ile çizimleri tamamlanan, montajları tamamlanan ve malzeme tanımlaması yapılan montajlı panel ansys analiz için gerekli olan (.x_t) formatı ile kaydedildi. Solidworks programında tanımlanan malzeme tanımları kontrol edildikten sonra panel ortasından sabitlendikten sonra üst bölgesinden yukarı yönde, alt bölgesinden aşağı yönde 60 kN kuvvet ile çekme uygulandı.

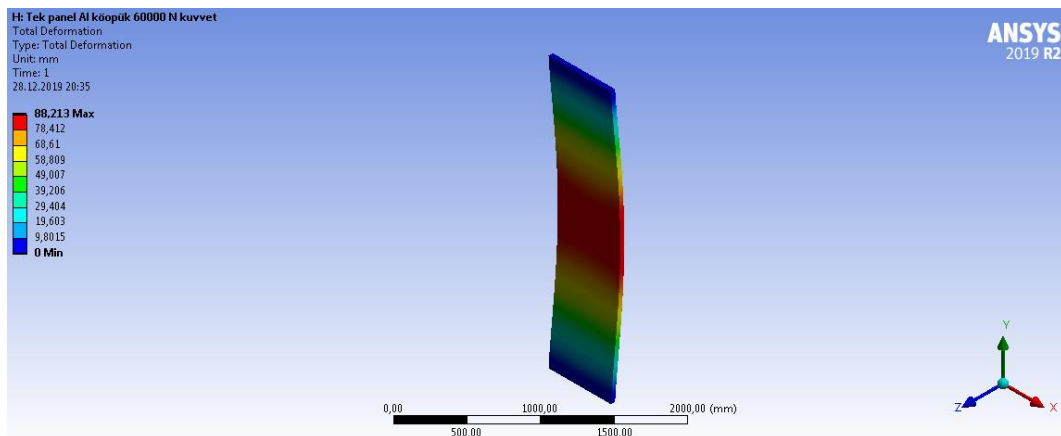


Şekil 6.78. Alüminyum köpük metal 60 kN çekme kuvveti altında 0,324 mm toplam deformasyon.

Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta 600*2600 ölçülerinde üretilen tek panel montajlandıktan sonra 60 kN alt ve üstten çekme kuvveti altında yapılan analizlerin sonucunda panelde 0,324 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.78).

Alüminyum köpük sandviç tek panel 60 kN analizi

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan panele ön panelden 60 kN bası kuvveti uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

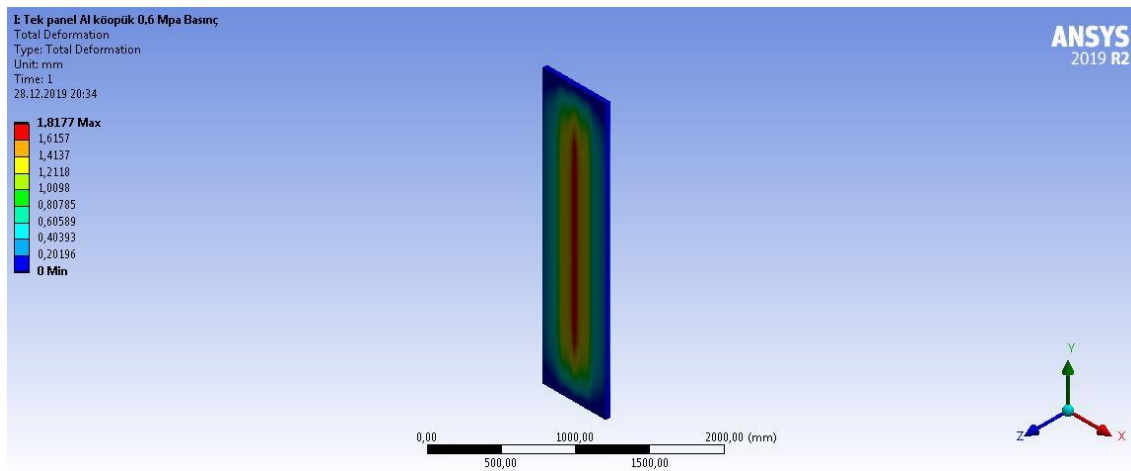


Şekil 6.79. Alüminyum köpük metal 60 kN çekme kuvveti altında 0,88,213 mm toplam deformasyon.

Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta 600*2600 ölçülerinde üretilen tek panel montajlandıktan sonra ön panelden 60 kN bası kuvveti altında yapılan analizlerin sonucunda panelde 88,213 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.79).

Alüminyum köpük sandviç tek panel 0,6 MPa analizi

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan panele ön panelden 0,6 MPa bası gerilmesi uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

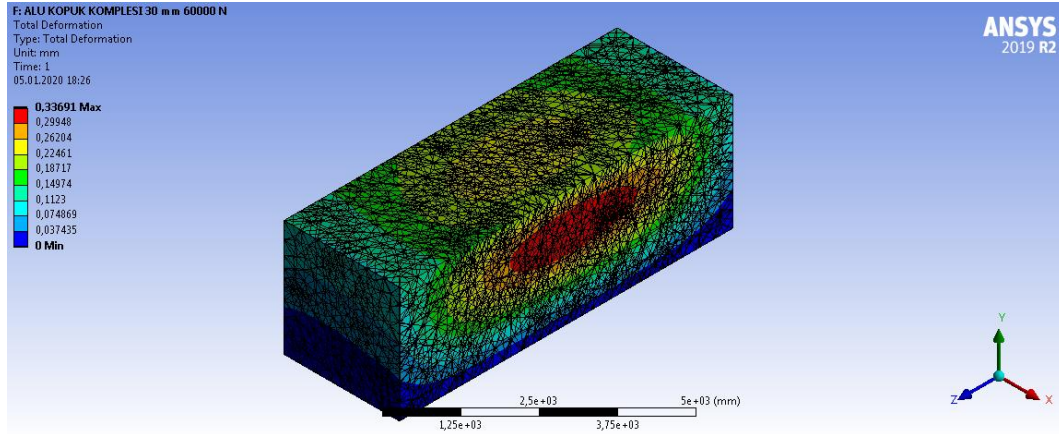


Şekil 6.80. Alüminyum köpük sandviç 0,6 MPa 1,82 mm toplam deformasyon.

Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta 600*2600 ölçülerinde üretilen tek panel montajlandıktan sonra ön panelden 0,6 MPa bası gerilmesi altında yapılan analizlerin sonucunda panelde 1,82 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.80).

Alüminyum köpük karoser 60 kN analizi

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan paneller birleştirilerek oluşturulan karosere yan panelden tek bir noktadan 60 kN kuvve uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

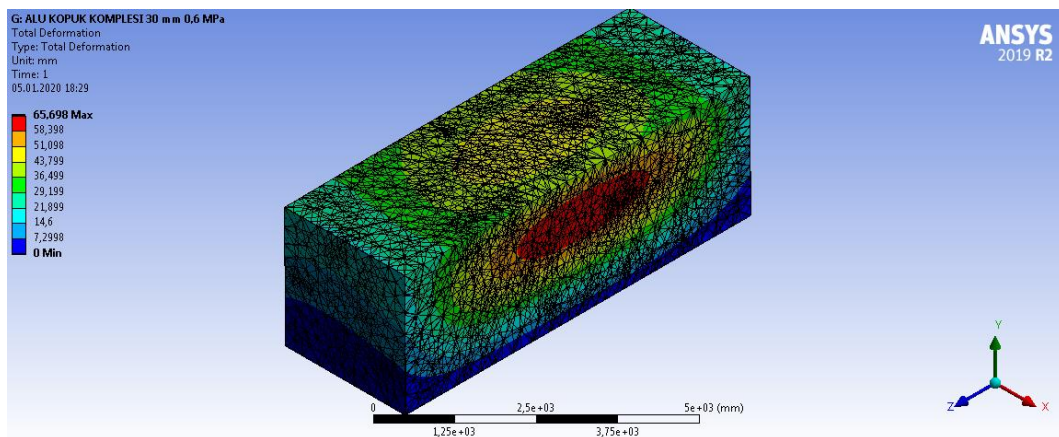


Şekil 6.81. Alüminyum köpük karoser 60 kN 0,337 mm toplam deformasyon.

Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta 2600*2600*7500 ölçülerinde çizilen karoser montajlandıktan sonra yan panele tek bir noktadan 60 kN kuvvet ile yapılan analizlerin sonucunda panelde 0,337 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.81).

Alüminyum köpük karoser 0,6 MPa analizi

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan paneller birleştirilerek oluşturulan karosere yan panelden 0,6 MPa bası gerilmesi uygulanarak ansys programı yardımı ile analiz yapılmıştır.

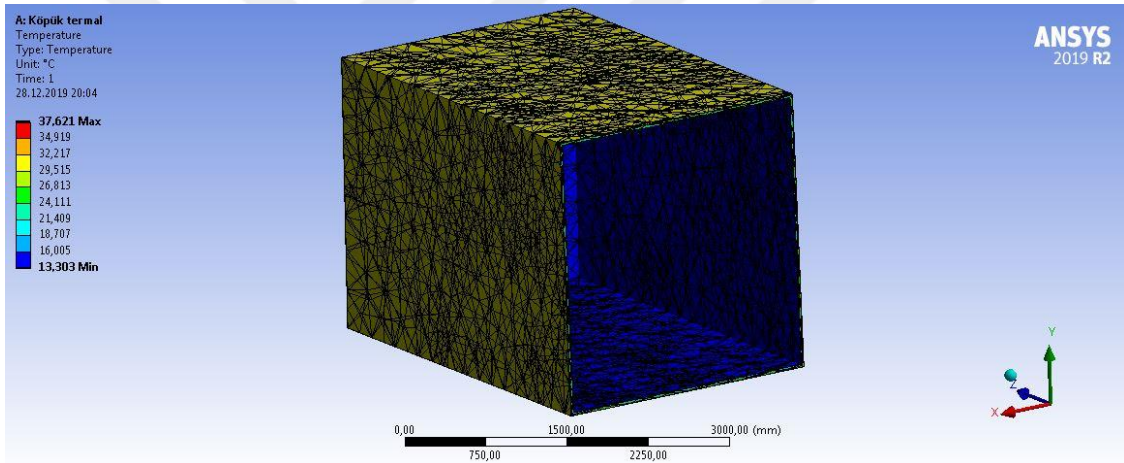


Şekil 6.82. Alüminyum köpük karoser 60 MPa 65,698 mm toplam deformasyon.

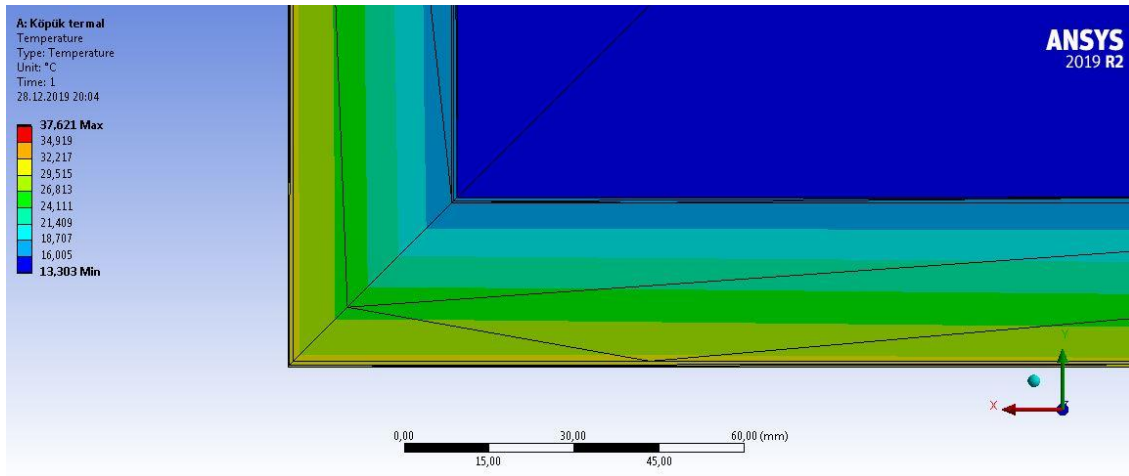
Alüminyum köpük ile 30 mm kalınlıkta 2600*2600*7500 ölçülerinde çizilen karoser montajlandıktan sonra yan panele 0,6 MPa bası gerilmesi altında yapılan analizlerin sonucunda panelde 65,698 mm toplam deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 6.82).

Alüminyum köpük karoser termal analiz

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan paneller birleştirilerek oluşturulan karoser ansys programına aktarılmıştır (Şekil 6.83). Dış ortam sıcaklığına 60°C verilmiştir. Karoserin iç bölgesindeki sıcaklığa 15°C değer verilmiştir. Isı iletim katsayıları: alüminyum saç levha 0,035899 W/mm·°C, alüminyum köpük 0,22895 W/mm·°C ortalama ısı iletim katsayısı 0,016645 W/mm·°C'dir.



Şekil 6.83. Alüminyum köpük karoser termal kesit görünümü.

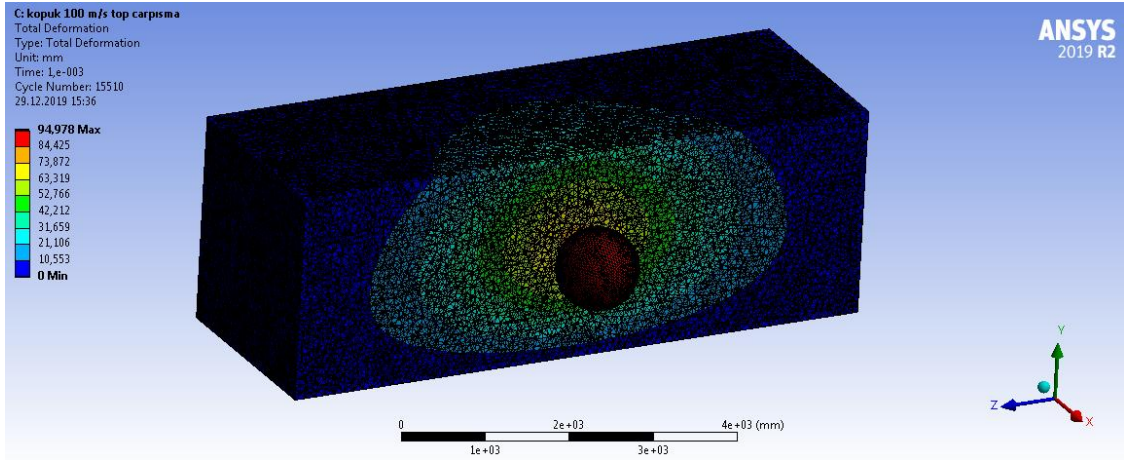


Şekil 6.84. Alüminyum köpük sandviç sıcaklık dağılımı.

Termal analizlerde ısı geçişi gözlemlenir. Alüminyum köpük sandviç termal analizlerimizin sonucunda $37,6^{\circ}\text{C}$ dereceden $13,3^{\circ}$ dereceye düşmüştür. Burada $24,3^{\circ}$ derece sıcaklık düşüşü olmuştur (Şekil 6.84). Daha yakından incelendiğinde sandviç panellerin montajında ısı geçişi sıcaklık diyagramını oluşturan renkler sayesinde gözlemlenir.

Alüminyum köpük karoser çarpışma analizleri

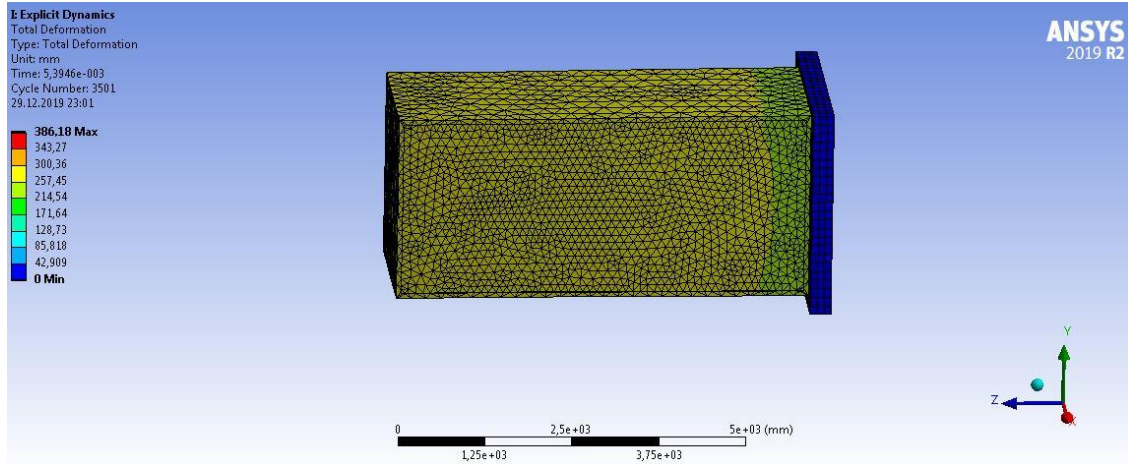
Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan paneller birleştirilerek oluşturulan karoser ansys programına aktarılmıştır. Karoserin yan panelinin orta noktasına 30 mm uzaklığında 1 metre çapında duvar malzeme tanımı yapılan top aynı şekilde ansys programına aktarılmıştır. Top karoserin yan yüzeyine dik bir şekilde 100 m/s hız ile karoserin yan paneline doğru hareket ettirilmiştir.



Şekil 6.85. Alüminyum köpük 100 m/s top çarpışma 94,978 mm deformasyon.

Çarpışma analizi sonuçlarında yan panelin içe doğru eğildiği görülmektedir. Ansys programında yan panelde 94,978 mm toplam deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.85).

Solidworks programı ile 1 mm kalınlığında iç alüminyum levha, 28 mm kalınlığında alüminyum köpük ve 1 mm kalınlığında dış alüminyumdan oluşan paneller birleştirilerek oluşturulan karoser ansys programına aktarılmıştır. Karoserin yan panelinin ön paneline 30 mm uzaklığında eni 2700 mm, yüksekliği 2700 mm ve kalınlığı 300 mm ölçülerinde duvar malzeme tanımı yapılan duvar aynı şekilde ansys programına aktarılmıştır. Duvar malzemesi alt kısmından yere sabitlenmiştir. Karoserin ön paneli duvara dik gelecek şekilde 90 m/s hız duvara doğru hareket ettirilmiştir.

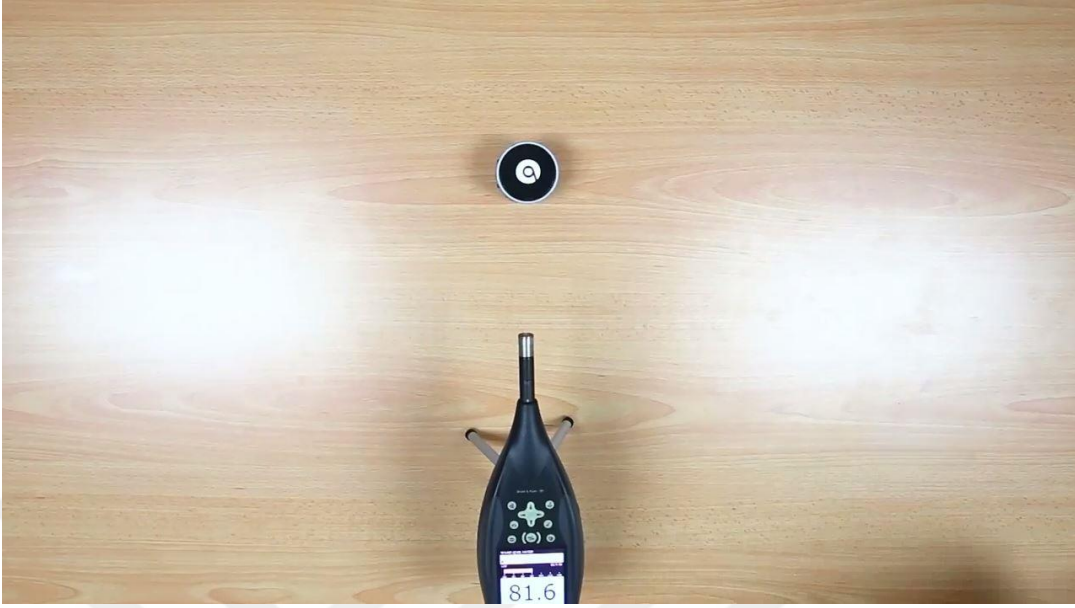


Şekil 6.86. Alüminyum köpük 90 m/s duvar çarpışma 0,437 mm deformasyon.

Çarpışma analizi sonuçlarında ön panelde dışa doğru eğilerek şiştiği görülmektedir. Ansys programında yan panelde 386,18 mm toplam deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 6.86).

Alüminyum köpük karoser ses yalıtım analizi

Ayrıca Fortes firmasının ses bombası ile yaptığı deney sonucunda alüminyum köpük malzemesinin ses yalıtımı sağladığı gözlemlenmiştir. Öncelikle ses bombasında bir ses açılmış ve masanın üzerine bırakılmıştır. Yanına desibelmetre yaklaştırıldığında 81,6 db olarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil 6.87. Fortes firmasının ses analizi.

Daha sonra ses bombası bir alüminyum köpük kutunun içerisine bırakılmış ve desibelmetre tekrar kontrol edildiğinde 67,5 db olarak ölçüm yapılmıştır (Şekil 6.87). Böylelikle 14,1 db ses yalıtımı sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.88).



Şekil 6.88. Fortes firmasının alüminyum köpük ile ses analizi.

7. SONUÇLAR

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser şasisinde 140x8 NPU profil kullanılırken üzerinde 10 MPa bası gerilmesi uygulandığında toplam deformasyon 17,35 mm iken, NPU profil yerine içerisine alüminyum köpürtülmüş kutu profil kullanıldığında karoser şasisinde toplam deformasyon 0,02 mm'e düşürülmüştür. Böylece ağırlık 3,83 kat azaltılırken, 838 kat daha dayanıklı hale getirilmiştir.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser yan panelden 0,6 MPa bası gerilmesi uygulandığında 70,588 mm toplam deformasyon oluşmaktayken, kutu profil yerine alüminyum I profil ve C profil, XPS köpük yerine alüminyum köpük kullanılarak aynı bölgeden aynı yönde yük uygulandığında 65,698 mm toplam deformasyon oluşmaktadır.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser toplam ağırlığı 2 ton 515 kg iken, alüminyum köpük ile üretilen karoser 2 ton 793 kg'dır. Aralarında 278,2 kg fark ile alüminyum köpük ile üretim ağır gelmektedir.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser termal açıdan incelendiğinde 14,7° derece sıcaklık düşüşü olmuştur. Alüminyum köpük sandviç termal analizlerimizin sonucunda 24,3° derece sıcaklık düşüşü olmuştur. Normal üretim yöntemi ile karoser için ortalama ısı iletim katsayısı 0,00024 W/mm·°C'dir. Alüminyum köpük karoser için ortalama ısı iletim katsayısı 0,016645 W/mm·°C'dir. Sıcaklık aşırı düştüğünden ve ortalama ısı iletim katsayıları arasında çok büyük fark bulunmaktadır. Alüminyum köpük karoserde ısı iletim katsayısı büyük olduğu ve sıcaklık değerleri arasındaki fark olduğundan alüminyum burada ısı köprüsü görevi görmüş, normal üretim yöntemi ile üretilen karoser ise ısı yalıtımı açısından daha başarılı olmuştur.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserde bulunan xps ses yalıtım özelliği bulunmazken alüminyum köpük ile üretilen karoser 14,1 desibel ses yalıtımı ile özel amaç için üretilen başbakanlık için seyyar toplantı salonu, deprem bölgeleri için üretilen seyyar derslik gibi amaçlar için tasarlanan karoser veya treylerler için tercih sebebi olacaktır.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserde çarpışma analizleri incelendiğinde yan panelden 100 m/s ile top çarpışması sonucunda 98,637 mm deformasyon olurken, alüminyum köpükte yine yan panelden 100 m/s hız ile top çarpışması sonucunda 94,978 mm deformasyon oluşmuştur. Alüminyum köpük çok daha dayanıklıdır.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser 90 m/s ile duvar çarpışması sonucunda 1398,4 mm deformasyon olurken, alüminyum köpükte 90 m/s hız ile duvar çarpışması sonucunda 0,437

mm deformasyon oluşmuştur. Alüminyum köpük büyük bir enerjiyi sönümlediğinden çok daha dayanıklıdır.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoser 46'393,81 ₺'ye imal edilirken, alüminyum köpük ile üretilen karoser 84'826,34 ₺'ye imal edilebilir.

Ekstra özellik olarak köpük metalin elektromanyetik kalkan özellikleri olduğundan mobil klinik gibi özel üretim karoser ve benzer alternatif uygulamalarda kullanılabilir.

Üretim süreci göz önünde bulundurulduğunda CTP kimyasalının imal edilmesini, kurutulmasını, kutu profillerin boylarının hazırlanması ve istenen ebatlarda kesilmesini, kaynak yapılması kaynakların soğumasını beklenmesini, silikon ve mastik ile birleştirmelerde kurumalarının bekletilmesini düşündüğümüzde en az 6 günlük bir süreçtir. Alüminyum köpük ile üretilen karoserde ise alüminyum köpük üretimi beklenecek sonrasına üretim başlayabilecektir bu işlem için tahmini 4 gün yeterli olacaktır.

İmalat esnasında normal üretim yöntemi ile üretilirken metal kaynakları ve sürekli çevresinde bulunan yanıcı kimyasallar ve tutuşturucular nedeniyle yangınlar ortaya çıkmakta bu da can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Alüminyum köpük yanıcı bir malzeme olmadığından ve dayanıklılık için kullanılan tutuşturucu bir malzeme olan kontrplak malzemesi gibi malzemelere artık gerek kalmadığından yangın riski sıfıra indirilmiştir.

Normal üretim yöntemi ile üretilen karoserlerde kaza sonrası malzemelerin %10'u geri dönüştürölüp kullanılabilirken. Alüminyum köpük ile üretilen malzemelerin tamamı geri dönüştürülebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altın, M., Yücesu, H. S. (2019). Farklı Geometrik Yapılardaki Çarpışma Kutularının İçerisine Yerleştirilen Alüminyum Köpük Malzemenin Enerji Sönümlenme Kapasitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*. 1(22), 141-148.
- Ashby, M. F., Evans, A. G., Fleck, N. A., Gibson, L. J., Hutchinson, J. W., Wadley, H. N. G. (2000). İngiltere: Butterworth-Heinemann. *Metal Foams: A Design Guide* (Birinci Baskı) 194-196.
- Banhart, J. (2000a). Properties and Applications for Cast Aluminium Sponges, *Advanced Engineering Materials*. 2(4), 188-191.
- Banhart, J. (2000b). Metals & Materials Society Manufacturing Routes for Metallic Foams, *JOM: the journal of the Minerals*. 52(12), 22-27.
- Banhart, J. (2001). Manufacture, Characterization and Application of Cellular Metals and Metal Foams, *Progress in Materials Science*. 46(6). 559-632.
- Banhart, J. (2005). Aluminium foams for lighter vehicles, *International Journal of Vehicle Design*. 37(2), 114-125.
- Banhart, J., Seelinger, H. W. (2008). Aluminium Foam Sandwich Panels: Metallurgy, Manufacture and Applications, *Advanced Engineering Materials*. 10(9), 793-802.
- Banhart, J., Weaire, D. (2002). On The Road Again: Metal Foams Find Favor, *Physics Today*, 55(7), 37-42.
- Başer, T. A. (2013). Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, *Mühendis ve Makine*. 53(635), 51-57.
- Başpınar, M. S., Yurtcu, Ş. (2011). Metalik Köpük Malzemelerin Mekanik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Matematiksel Modeller, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 8(1), 69-78.
- Baumgärtner, F. Duarte, I., Banhart, J. (2000). Industrialization of Powder Compact Foaming Process, *Advanced Engineering Materials*. 2(4), 168-174.
- Bram, M., Stiller, C., Buchkremer, H. P., Stöver, D., Baur, H. (2000). High-porosity Titanium, Stainless Steel and Superalloy Parts, *Advanced Engineering Materials*. 2(4), 197-199.
- Çağlar, S. İ. (2009). Alüminyum Esaslı Kompozit Köpük Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 84s.
- Çinici, H., Gökmen, U., Uzun, A., Karakoç, H., Göde, C., Türker, M. (2004). Toz Metalürjisi Yöntemiyle Alüminyum Esaslı Metalik Köpük Üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 29(2), 395-400.
- Dahil, L. (2016). Alüminyum Köpük Malzemenin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17(1), 352-356.
- Doğan, A., Atmaca, İ., Özbalcı, O. (2015). İzmir. Metal Köpük Malzemeler ve Yüzey Soğutmada Kullanımı, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. 2641-2652.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Duarte, I., Banhart, J. (2000). A Study of Aluminium Foam Formation -Kinetics and Microstructure, *Acta Materialia*. 48(9), 2349-2362.
- Ertürk, A. T., Ural, K. (2011) Metalik Köpükler ve Alüminyum, *Makine Metal*, (4), 110.
- European Aluminium Association, (2002). *The Aluminum Automotive Manual*.
- Gergely, V., Clyne, T. W. (1999). A Novel Melt-Based Route to Aluminium Foam Production in Banhart, J., Ashby, M. F., Fleck, N. A. (Eds.), *Metal Foams and Porous Metal Structures*. Bremen, MIT Verlag, 83-89.
- Gibson, L., Ashby, M. (1988). *Cellular Solids; Structures and Properties* (Birinci Baskı). İngiltere: Pergamon Press, 311-315
- Güven, Ş. Y., (2011). Toz Metalürjisi ve Metalik Köpükler, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*. 1(2), 22-28.
- <http://ergaerospace.com/materials/duocel-aluminum-foam/Ergaerospace>. *ERG Materials & Aerospace*. Erişim: 08.01.2020.
- http://www.cymat.com/wp-content/uploads/2019/05/Cymat_SAF_Automotive_Applications-2.pdf. *CYMAT. Cymat Technologies*. Erişim: 08.01.2020.
- Idris, M., Vodenitcharova, T., Hoffman, M. (2009). Mechanical Behaviour and Energy Absorption of Closed-Cell Aluminium Foam Panels in Uniaxial Compression, *Materials Science and Engineering*. 517(1-2), 37-45.
- Karakuş, S. (1998). Al-Cu Metalik Köpük Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-7.
- Kavi, H., Toksoy, A. K., Guden, M. (2006) . Predicting Energy Absorption In a Foam-Filled Thin-Walled Aluminum Tube Based On Experimentally Determined Strengthening Coefficient, *Materials and Design*. 27(4), 263-269.
- Kılıçaslan, C. (2016). Farklı Geometrilerdeki Ezilme Tüplerinin Enerji Sönümleme Kapasitelerinin Nümerik Olarak Belirlenmesi, *Derin (Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma ve İnovasyon Dergisi)*. 3(8), 87-95.
- Langseth, M., Hanssen, A. G., (2003). Crashworthiness of Aluminium Structures. In Mazzolani, F. M. (Eds.), *Aluminum Structural Design*, New York, Springer-Verlag Wien. s.313-394.
- Markaki, A., Clyne, T. (2000). Characterisation Of Impact Response Of Metallic Foam/Ceramic Laminate, *Materials Science And Technology*. 16(7-8) 785-791.
- Miyoshi, T., Itoh, M., Akiyama, S., Kitahara, A., (2000). ALPORAS Aluminum Foam: Production Process, Properties, and Applications, *Advanced Engineering Materials*. 2(4), 179-183.
- Ozan, S., Katı, N. (2011, Mayıs). Metal Köpükler, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey. 317-320.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özer, G., Ekerim, A. (2009). Alüminyum Köpük Metal Üretiminde Sıcaklığın Köpük Oluşumuna Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- Sığırtmaç, T., Çakır, M. C., Uğuz, A.(2012). Alüminyum Metal Köpük Malzemelerin İkincil İşlemlerinin İncelenmesi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*. Bursa, 160-174.
- Simanick, F. (2002). Characterization of Cellular Metals in H. P. Degischer and B. Kriszt (Eds.), *Handbook of Cellular Metals Production, Processing and Applications*. Weinheim, Wiley-VCH, s.127-144.
- Simanick, F. (2002). Introduction: The Strange World of Cellular Metals. In H. P. Degischer and B. Kriszt (Eds.), *Handbook of Cellular Metals Production, Processing and Applications*. Weinheim, Wiley-VCH, s.1-4.
- Şenel, M. C., Gürbüz, M., Koç, E. (2018). SiC Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin ve Mikro Yapısının İncelenmesi. *Technological Applied Sciences*. 13(2), 122-133.
- Türker, M., (2009). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Alüminyum Köpük Üretimi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). Karabük.
- Wood, J. T. (1998). Production and Application of Continuously Cast, Foamed Aluminum in J. Banhart and H. Eifert (Eds.), *Metal Foams*, Bremen, MIT-Verlag, s.31–35.
- Yavuz, İ. (2010). Metalik Köpük Malzemeler ve Uygulama Alanları, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2(1), 49-58.
- Zhou, J. (2006). Porous Metallic Materials, ed. e. Winston O. Soboyejo., CRC Press , Taylor & Francis Group. *Advanced Structural Materials*. USA, 22

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Tunç Aytekin
Doğum tarihi ve yeri : 26.01.1990 ADAPAZARI
e-mail : aytekin-tunc@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	2015
Lisans	Sakarya Üniversitesi	2012
Lise	Şehit Üstteğmen Selçuk Esedoğlu Lisesi	2008

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görevi
02.2016-...	Sapanca Baymak	Yetkili Mühendis
08.2015-07.2016	Özel Sem Sürücü Kursu	Kurs Müdürü
08.2015-01.2016	Alkan Karoser	ARGE Mühendisi
11.2011-06.2012	Pianalitik Dersaneleri	Fizik Öğretmeni