

**SACLARDA DEĞİŞKEN FAKTÖRLERİN DOĞAL  
FREKANS ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK  
SONLU ELEMANLAR METODUYLA İNCELENMESİ**

**Muhammed DOĞDU**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SACLARDA DEĞİŞKEN FAKTÖRLERİN DOĞAL FREKANS ETKİSİNİN  
KARŞILAŞTIRMALI OLARAK SONLU ELEMANLAR METODUYLA  
İNCELENMESİ**

Muhammed DOĞDU  
0000-0003-2556-8260

Prof. Dr. Yahya IŞIK  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Muhammed DOĞDU tarafından hazırlanan ‘‘Saclarda Değişken Faktörlerin Doğal Frekansa Etkisinin Karşılaştırmalı Olarak Sonlu Elemanlar Metoduyla İncelenmesi’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Yahya IŞIK

Başkan :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. Fakültesi, .....Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. Fakültesi, .....Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. Fakültesi, .....Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. Fakültesi, .....Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Unvanı, Adı ve Soyadı ..Ü. Fakültesi, .....Anabilim Dalı	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
**.././....(Tarih)**

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
  - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.

.././.....

**Muhammed DOĞDU**

**TEZ YAYINLANMA  
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı  
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı  
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SACLARDA DEĞİŞKEN FAKTÖRLERİN DOĞAL FREKANSA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK SONLU ELEMANLAR METODUYLA İNCELENMESİ

**Muhammed DOĞDU**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman** : Prof. Dr. Yahya IŞIK

Günümüzde sanayide yaygın olarak kullanılan malzemeler çelikler ve alüminyumlardır. Bu çalışmada öncelikle Erdemir 6112 DKP çelik sac malzeme ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzeme kullanılarak, abkant üretim prosesi görmüş saclarda oluşan değişken parametrelerin doğal frekans üzerindeki etkisi sonlu elemanlar metodu kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Büküm işlemi görmüş sac için değişken parametreler; malzeme, sac kalınlığı, büküm uzunluğu, büküm genişliği, büküm açısı ve büküm yarıçapı olup değişen parametrelere sahip modeller 3 boyutlu olarak SOLIDWORKS paket programında modellenmiştir. Bu modeller sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanabilmesi için ANSYS paket programı kullanılarak değişken parametreler için doğal frekans üzerinde nasıl etki ettiği tespit edilmiş ve grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Erdemir 6112 DKP sac, Referans Metal 1050 H14 sac, modal analiz, doğal frekans, büküm parametreleri, ANSYS, SOLIDWORKS, CYCBELEC

2021, xiii + 80 sayfa

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIABLE FACTORS ON NATURAL FREQUENCY IN SHEET METALS BY FINITE ELEMENT METHOD

**Muhammed DOĞDU**

Uludag University

Institute of Science and Technology

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:**Prof. Dr. Yahya IŞIK

Today, the materials commonly used in industry are steels and aluminium. In this study, first of all, the effect of variable parameters on natural frequency in sheets that have undergone the press brake production process using Erdemir 6112 DKP steel sheet material and Referans Metal 1050 H14 aluminium sheet material was examined comparatively by using the finite element method. Variable parameters for the bended sheet; changes in material, sheet thickness, bend length, bend width, bend angle and bend radius are modeled in 3D in the SOLIDWORKS package program. In order to calculate these models with the finite element method, the effect of the variable parameters on the natural frequency was determined by using the ANSYS package program and comparatively examined with the help of graphics.

**Key words:** Erdemir 6112 DKP sheet, Referans Metal 1050 H14 sheet, modal analysis, natural frequency, bending parameters, ANSYS, SOLIDWORKS, CYCBELEC

2021, xiii + 80 sayfa

## TEŞEKKÜR

Ülkemizin içinde bulunduğu pandemi döneminde tüm insanlarımızın gösterdiği özveriye, öğrencilerimizin eğitimlerinden yaptığı fedakarlık ile almış olup uzaktan eğitim döneminde tamamlanmış tüm araştırma ve çalışmalarda öncelikle kendi danışman hocam sayın Prof. Dr. Yahya IŞIK olmak üzere desteğini hiç esirgemeyen akademisyen hocalarımıza kendim ve tüm öğrenci arkadaşlarım adına teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşime ve aileme çok teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİL DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGE DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Malzeme Nedir?.....	5
3.2. Çelik Saclar Ve Özellikleri.....	8
3.2.1. Çelik Sacların Üretimi.....	9
3.2.2. Haddeleme.....	11
3.2.3. Sıcak Haddeleme.....	14
3.2.4. Soğuk Haddeleme.....	15
3.2.5. Erdemir 6112 Kalite DKP Sac.....	18
3.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	20
3.3.1. Alüminyum Üretimi.....	25
3.3.2. Alüminyum Döküm Tekniği.....	29
3.3.3. 1050 H14 Alüminyum Alaşımı.....	31
3.4. CNC Abkant Büküm.....	32
3.4.1. CNC Abkant Tezgahının Çalışma Prensibi.....	37
3.4.2. Geri Yaylanma.....	44
3.4.3. K Faktörü.....	45
3.5. Titreşim.....	46
3.5.1. Doğal Frekansın Bulunması.....	48
3.5.2. Temel Titreşim Denklemleri ve Frekans Yanıt Fonksiyonu.....	52
3.5.3. ANSYS 16.2 Programında Modal Analiz Uygulaması.....	54
4. BULGULAR.....	60
4.1. Sac Kalınlığının Doğal Frekansa Etkisi.....	62
4.2. Büküm Uzunluğunun Doğal Frekansa Etkisi.....	65
4.3. Büküm Genişliğinin Doğal Frekansa Etkisi.....	68
4.4. Büküm Açısının Doğal Frekansa Etkisi.....	71
4.5. Büküm Yarıçapının Doğal Frekansa Etkisi.....	74
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	80

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\alpha$	Büküm açısı
C	Sönüm oranı
K	Yay katsayısı
L1	1. büküm uzunluğu
L2	2. büküm uzunluğu
M	Kütle
$R_i$	İç yarıçap
$R_d$	Dış yarıçap
T	Kalınlık
t	Zaman
X	Yer değiştirme
$\omega$	Açısal hız
$w_n$	Doğal Frekans
W	Büküm genişliği

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AA	Amerikan Alüminyum Birliği
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
FRF	Frekans Yanıt Fonksiyonu

## ŞEKİL DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Malzemelerin sınıflandırılması.....	5
Şekil 3.2. Metal malzemeler ve kompozit malzemelerin kıyaslaması.....	7
Şekil 3.3. Entegre çelik üretim tesisi .....	9
Şekil 3.4. Sürekli döküm prosesi.....	11
Şekil 3.5. Haddelme şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.6. Slabın ve haddelenen ürünlerin kesit boyutlarına göre sınıflandırılması.....	13
Şekil 3.7. Haddelme ile elde edilen ürünler.....	13
Şekil 3.8. Soğuk haddelme prosesi.....	16
Şekil 3.9. Alüminyum kullanım alanları.....	20
Şekil 3.10. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi.....	26
Şekil 3.11. Boksitten alüminyum oksit eldesi.....	27
Şekil 3.12. Alüminyum eldesi.....	28
Şekil 3.13. Alüminyum döküm tekniği.....	29
Şekil 3.14. Bükümlü sac üzerinde oluşan gerilmeler.....	33
Şekil 3.15. Alt ve üst kalıp geometrisine göre bükme çeşitleri.....	34
Şekil 3.16. Abkant tezgahının boyutsal gösterimi.....	35
Şekil 3.17. Abkant parçalarının gösterimi.....	37
Şekil 3.18. CYCBELEC arayüzü.....	38
Şekil 3.19. Abkant alt ve üst kalıpların gösterimi.....	40
Şekil 3.20. CYCBELEC üst kalıp tanımlama arayüzü ve kütüphanesi.....	41
Şekil 3.21. CYCBELEC alt kalıp tanımlama arayüzü ve kütüphanesi.....	42
Şekil 3.22. CYCBELEC büküm önizlemesi.....	43
Şekil 3.23. Abkant büküm işlemi.....	44
Şekil 2.24. İş parçasının mod şekillerine göre davranışı.....	49
Şekil 3.25. Örnek FRF grafiği.....	50
Şekil 3.26. FRF ve Coherence grafiğinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.27. Basit kütle ve yay sistemi.....	52
Şekil 3.28. Basit kütle ve yay sistemi serbest cisim diyagramı.....	53
Şekil 3.29. ANSYS 16.2 arayüzü.....	54
Şekil 3.30. ANSYS 16.2 modal analiz sekmesi.....	55
Şekil 3.31. ANSYS 16.2 Engineering Data sekmesi.....	55
Şekil 3.32. ANSYS 16.2 geometri yükleme.....	56
Şekil 3.33. ANSYS 16.2 mesh atma.....	57
Şekil 3.34. ANSYS 16.2 analiz ayarları.....	58
Şekil 3.35. ANSYS 16.2 sınır şartlarının belirlenmesi.....	59
Şekil 3.36. ANSYS 16.2 sonuçların gösterimi.....	59
Şekil 4.1. Bükümlü sac üzerinde değişken parametrelerin gösterimi.....	60
Şekil 4.2. ANSYS malzeme kütüphanesine tanımlanmış sac malzemeler.....	61
Şekil 4.3. Sac kalınlığına göre tasarlanan modeller.....	62
Şekil 4.4. Erdemir 6112 DKP sac, sac kalınlığına göre mod değerleri.....	64
Şekil 4.5. 1050 H14 alüminyum sac, sac kalınlığına göre mod değerleri.....	64
Şekil 4.6. Büküm uzunluğuna göre tasarlanan modeller.....	65
Şekil 4.7. 6112 DKP sac, büküm uzunluğuna göre mod değerleri.....	67
Şekil 4.8. 1050 H14 alüminyum sac, büküm uzunluğuna göre mod değerleri.....	67
Şekil 4.9. Büküm genişliğine göre tasarlanan modelleri.....	68
Şekil 4.10. 6112 DKP sac, büküm genişliğine göre mod değerleri.....	70

Şekil 4.11. 1050 H14 alüminyum sac, büküm genişliğine göre mod değerleri.....	70
Şekil 4.12. Büküm açısına göre tasarlanan modeller.....	71
Şekil 4.13. 6112 DKP sac, büküm açısına göre mod değerleri.....	73
Şekil 4.14. 1050 H14 alüminyum sac, büküm açısına göre mod değerleri.....	73
Şekil 4.15. Büküm yarıçapına göre tasarlanan modeller.....	74
Şekil 4.16. 6112 DKP sac, büküm yarıçapına göre mod değerleri.....	76
Şekil 4.17. 1050 H14 alüminyum sac, büküm yarıçapına göre mod değerleri.....	76

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Malzemelerin uygulama alanları ve özellikleri.....	7
Çizelge 3.2. Erdemir 6112 DKP sac (%) kimyasal bileşimi.....	19
Çizelge 3.3. Erdemir 6112 DKP sac mekanik özellikler.....	19
Çizelge 3.4. AA tarafından alüminyum ve alaşımlarının isimlendirilmesi.....	22
Çizelge 3.5. Alüminyum ve alaşımlarının ilk rakama göre özellikleri.....	23
Çizelge 3.6. Alüminyumun uygulanan işleme göre isimlendirilmesi.....	24
Çizelge 3.7. Alüminyuma göre sertlik değerlerinin puanlanması.....	25
Çizelge 3.8. Referans Metal 1050 H14 alüminyum (%) kimyasal bileşimi.....	31
Çizelge 3.9. Referans Metal 1050 14 alüminyum mekanik özellikleri.....	32
Çizelge 4.1. Sac kalınlığına göre ANSYS analiz sonuçları.....	63
Çizelge 4.2. Büküm uzunluğuna göre ANSYS analiz sonuçları.....	66
Çizelge 4.3. Büküm genişliğine göre ANSYS analiz sonuçları.....	69
Çizelge 4.4. Büküm açısına göre ANSYS analiz sonuçları.....	72
Çizelge 4.5. Büküm yarıçapına göre ANSYS analiz sonuçları.....	75

## 1.GİRİŞ

Alüminyum ve çelik sac malzemeler günümüzde otomotiv, havacılık, savunma sanayi, inşaat, ulaştırma, elektrik ve elektronik, makine ve ekipman sektöründe, metal sektöründe, kimya ve gıda sektöründe, muhtelif ev eşyaları ve mutfak eşyalarında, mobilya ve dekorasyon ürünlerinde, takım ve el aletleri sektöründe yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu kadar çok sektörü içerisine alan alüminyum ve çelik malzemelerin en yaygın olarak kullanılanları; alüminyum sac için 1050 H14 ve çelik sac için ise DKP sac malzemelerdir. Bu saclar çeşitli yöntemlerle üretildikten sonra abkant büküm prosesi ile şekillendirilebilmektedirler. Abkant büküm prosesi ile şekillendirilecek saclar formlarını; büküm prosesinde olan değişken faktörlere göre almaktadır. Bu faktörler; malzeme tipi, sac kalınlığı, büküm uzunluğu, büküm genişliği, büküm açısı ve büküm yarıçapı olarak bilinmektedir. Değişken faktör değerlerine göre şekillendirilen sactan beklenen önemli özelliklerin başında, yüksek dayanım ve kullanım ömür uzunluğu gelmektedir. Tasarlanan ve büküm prosesi görmüş sactan beklenen özelliklerin karşılanması için dikkate alınması gereken en önemli durumların başında rezonans durumu gelmektedir. Birçok sektörde büküm prosesi ile üretilip kullanılan sacların rezonans durumundan kaçınması beklenmektedir. Bükümlü saclar için rezonansı en çok etkileyen durumlar ise değişken parametrelerdir. Bu parametrelerin değişimi rezonans durumuna yani doğal frekansa etki ettiğinden tasarım aşamasında istenilen malzeme rijitliğinin sağlanması gerekmektedir. Üretime geçmeden doğal frekanslarının tespit edilmesi hem zaman hem de maliyet açısından kazanç sağlamaktadır. Doğal frekansların tespiti için sonlu elemanlar metodu günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarlanan modeller sonlu elemanlar metoduyla bilgisayar ortamında analiz edilebildiğinden ve gerçek değerlere oldukça yakın veriler alındığından dolayı henüz prototip aşamasına geçilmeden malzemenin rezonans durumuyla ilgili verilere ulaşılmış olur. Bu sayede bilgisayar ortamında tasarlanan modellerin hasara uğrayacağı frekanslar kolaylıkla tespit edilebilir hale gelmiş ve iyileştirmeler için erken adım atılmış olur. Böylece günümüzde yaygın olarak kullanılan bu yöntem ile modeller istenilen şartları sağlayıp sağlamadığı daha erken tespit edildiğinden, mühendislik çalışmaları daha hızlı yapılabilir hale gelmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yılmaz ve diğeri (2020) yaptığı çalışmada, L tipi St37 çelik malzemeden imal edilmiş bir kirişin sayısal analiz programlarında sonlu elemanlar metodu ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Aynı şekilde kirişi deneysel olarak da analiz edip verileri karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar metodu için Solidworks Simulation ve Ansys programlarını kullanmışlardır. Sonlu elemanlar metodu ile elde ettikleri doğal frekans değerleri ile deneysel elde ettikleri doğal frekans değerleri arasında %1,39 ile %4,35 sapma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu şekilde sayısal analiz sonuçlarının deneysel sonuçlara ne kadar yakın olduğunu gözlemlemiş olup, nihai tasarımdan önce sayısal analiz programları ile yapılacak ön tasarımın, üretimde zaman ve maliyet etkenlerini azaltarak ciddi bir bütçe tasarrufu sağlayabileceği açıkça gözlemlemişlerdir.

Şentürk (2004) yaptığı bu çalışmada, araç gövdesinin (BIW) modellenerek deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile doğal frekanslarının bulunması için yapmıştır. Fakat araç modellenmesi sırasında araç gövdesi üzerinde bulunan punta kaynaklar veya detay parçalar tam olarak modellenemediğinden verilerin doğruluğu tam olarak doğru tespit edememiştir. Deneysel çalışma ve sonlu elemanlar ile tespit ettiği doğal frekanslar arasında %5 - 10 arasında bir fark ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi de araç modelinin tam olarak deneyseldeki gerçeğini yansıtmadığından kaynaklandığını tespit etmiş ve yapılacak sonlu elemanlar metodu üzerine çalışmalarında tasarımının önemli olduğu kanısına dikkat çekmiştir.

Şekerci (2013), çalışmasını helikopter palleri üzerine yapmıştır. Yaptığı çalışmada deneysel modal analizin havacılık alanında uygulanabilirliğini ve gerekliliğini gözlemlemek istemiştir. Bu amaçla helikopter palleri üzerinde deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Helikopter pallerinin, helikopter pervanelerini tutan kollar olduğunu açıklamıştır. Palleri 3 boyutlu olarak modellemiştir. Teorik olarak sonlu elemanlar metodunu kullanarak Ansys programında pallerin mod şekillerini ve davranışlarını gözlemleyerek doğal frekanslarını elde etmiştir. Aynı çalışmayı deneysel

olarak palleri kök kısmında ankastre mesnet şartı ile incelemiştir. Bu incelemeyi palleri çekiç ile uyararak ve pallerin verdiği tepkiyi ivmeölçerler ve sensörler yardımıyla ölçerek verilerini kayıt altına almıştır. Deneysel ve teorik olarak topladığı verileri karşılaştırarak bu yöntemlerin gerekliliğini açıklamaya çalışmış ve sonuçlar arasında farkların çok küçük olduğunu gözlemleyerek sonlu elemanlar metodunun havacılık sektörü için büyük bir adım olduğunu ortaya koymuştur.

Dirilmiş (2021), çalışmasında kompleks bir kirişi deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Kiriş üzerinde taşıma yüküne göre 3 farklı model oluşturmuştur. Model-1 kirişin yüksüz olduğu durum, Model-2 kirişin uç kısmında 1066 gram kütlenin olduğu durum, Model-3 ise uç kısmında 1066 gramlık kütlenin 210 mm kirişin iç kısmına doğru kaydırıldığı durumdur. Bu çalışmada kompleks kesitli kirişin deneysel olarak doğal frekansları ivmeölçer ve lazer deplasman sinyalleri ile tespit edilmiştir. Model-1 için doğal frekans 22 Hz, Model-2 için doğal frekans 5.55 Hz ve Model-3 için doğal frekans 7.77 değerlerini aldığı çalışmada tespit edilmiştir. Aynı şekilde çalışmasını nümerik olarak yaptığında da bu değerlere yakın değerler elde etmiştir. Deney sonuçlarına göre yükün kiriş üzerinde uç kısmında olduğu Model-2 için rijitliğin en düşük olduğu model olarak tespit edilmiştir. Model-1 yani kirişin yüksüz olduğu zaman kirişin en rijit davranışı sergilediği tespit edilmiştir. Aynı zamanda ankastre kiriş üzerinde bulunan yükün kök kısmına doğru kaydırsa doğal frekansı artmıştır.

Dirilmiş (2008), bu tez çalışmasında binaların maruz kaldıkları titreşimlerin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında oluşturulan bir bina modeli üzerinde uygulanmıştır. Sac malzemedен oluşturulan bina modeli üzerinde serbest titreşim deneyleri yapılmıştır. Piezoelektrik ivmeölçerler ve veri toplama kartları kullanılarak bu titreşimlerin zaman cevaplarını kaydetmiştir. Bu veriler işlenilerek zaman ve frekans bölgelerinde davranışlarını incelemiştir. Bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Malzeme üzerinde yay ve sönüm katsayıları bulmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bulunan değerler ile simülasyonlar yapıldığında sonuçların farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bunun üzerine dinamik olarak yapılan serbest titreşim deneylerinden hareket edilerek hesaplanan parametreler



kullanmıştır. Bilgisayar ortamında simulasyonu yapılan model ile yapılan deneylerin sonuçlarının uyumlu olduğu ve böylece matematiksel modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Daha sonra titreşimlerin rahatsız edici etkilerini azaltmak amacıyla dinamik bir sönümleyici tasarlanması yoluna gitmiştir. Tasarlanan dinamik sönümleyici imal edilerek deneylerde kullanmıştır. Bir serbestlik dereceli bina modelinde parametreleri ayarlanmış dinamik sönümleyicinin ivme genliklerini ilk saniyelerde %30, ardından %50 oranında düşürdüğü görülmüştür. Deneysel olarak dinamik sönümleyici kullanılan ve kullanılmamış durumların güç spektrumlarının karşılaştırıldığında en yüksek ivme genliğinin %60 oranında iyileştiği gözlemlenmiştir. Zaman cevaplarının deney ve simulasyon sonuçlarının uyum gösterdiğini gözlemlenmiştir. Kütleler değiştirilip deneyler tekrarlandığında frekans eşitleme metoduyla ayarlanan parametrelerle yapılan deneylerin sonuçlarının titreşimlerin genliklerini daha fazla düşürdüğü gözlemlenmiştir. İki serbestlik dereceli bina modeli üzerinde yapılan deneyler ile ikinci kat ivmesi iyileştirilmeye çalışılmıştır. Dinamik sönümleyici kullanılarak, kullanılmayan duruma göre ivme genliği %40 oranında azaltılarak iyileşme sağlanmıştır. En uygun kütle değeri bilgisayar programı ile tasarlanmış, elde edilen optimum değer ile yapılan deney sonucu ivmenin genliği bu kez %53 oranında azaltılmıştır. Bu çalışma sonucunda dinamik sönümleyici uygulanmasının binalarda dış kaynaklı titreşimlerin rahatsız edici özelliklerinden korunmada yararlı olacağı hususu tespit edilmiştir. Daha ileriki çalışmalarda kurulan bina modelinin betonarme yapılması, uygulanan başlangıç şartı ile titreşim oluşturulmasının ilave edilecek bir titreşim kaynağı ile ilave edilerek zenginleştirilmesi önerilmiştir.

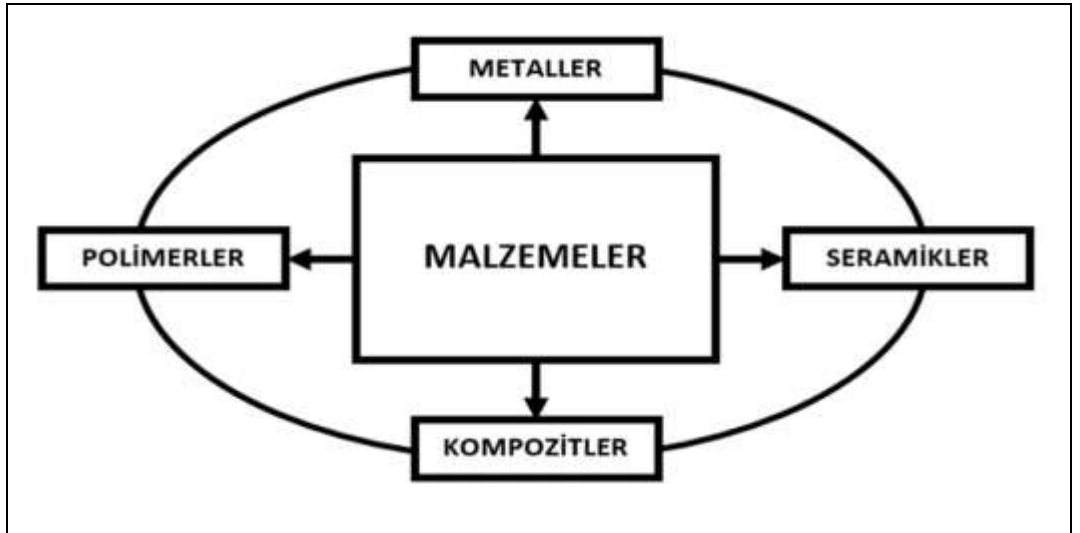
Yalnızca ve arkadaşları (2014) yaptığı çalışmada, otomobillerde bulunan krank miline doğrudan bağlı volan üzerine çalışmışlardır. Otomobillerdeki titreşimin en büyük sebebinin içten yanmalı motorlar olduğunu bilerek çalışmalarını yapmışlardır. Volanda otomobil için aktarma elemanı olduğundan ve büyük atalet momentine sahip volanın doğal frekansı oldukça önemli olduğundan bu çalışmayı yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada tasarım aşamasında bir volanın, doğal frekanslarını bilgisayar destekli analiz programları ile tespit edip rezonanstan kaçınılması için tasarımda iyileştirilmelere gitmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzemelerin Teknik Özellikleri

Malzeme, doğal ve hammaddelerden elde edilmiş olan ve imalat proseslerinin ana üyesi olup bütün ön işlem basamaklarından geçmiş maddedir. Doğal madde ve hammadde süreçlerinden geçtikten sonra kullanılabilme yeteneği kazanırlar. Doğal madde, henüz insan tarafından işlenmeyerek ve emek harcamayarak elde edilmiş maddelerdir. Hammadde, cevher ve petrol gibi elde edilmeleri için emek harcanmış maddelerdir. Malzemeler tarih çağlarının vazgeçilmez bir parçası olup; Cilalı Taş Devri, Tunç Devri vs. gibi devir isimlerinden malzemenin insan yaşamında ne kadar önemli yere sahip olduğunu anlamaktayız.

Malzemeler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler fakat malzeme türleri temel olarak dört ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar; metaller, seramikler, polimerler ve kompozit malzemelerdir. Malzemelerin sınıflandırılması Şekil 3.1 üzerinde şematize edilmiştir.



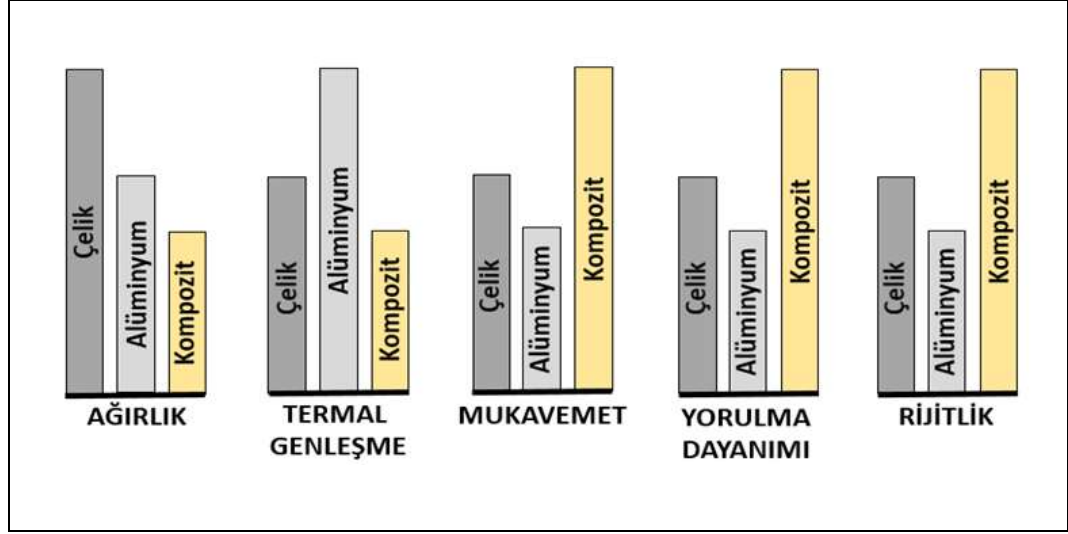
Şekil 3.1. Malzemelerin sınıflandırılması

Mühendislik malzemelerinin büyük bir kısmı metallere veya metal alaşımlarından oluşmaktadır. Yüksek dayanım, kristal yapı, kolay şekillendirilebilme, iletken yapıları ve kırılma olmayışları metal malzemelerin en temel özellikleridir. Aynı zamanda en fazla bulunan mühendislik malzeme türüdür. Mühendislik malzemelerinin temelini oluşturan metaller; demir esaslı metal ve alaşımları (dökme demir ve çelikler) ile demir dışı metal ve alaşımları (alüminyum, magnezyum, bakır, çinko, titanyum, nikel vb.) olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır.

Seramikler; metal ve metal olmayan elementlerin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Seramikler gevrek olduklarından kolaylıkla kırılabilirler. Çekme dayanımları düşük olmasına karşın basma dayanımları oldukça yüksektir. Erime sıcaklıkları yüksek olduğundan ısıya dayanıklı refrakter malzeme olarak kullanılmaktadırlar.

Polimerler; monomer adı verilen küçük moleküllerin bir araya gelerek uzun zincirler oluşturmasıyla oluşan malzemelerdir. Monomer zincirlerinin özellikleri polimer zincirlerin özellikleri için belirleyici olmaktadır. Petrol türevi olan polimerler günlük yaşamımızda kullanmış olduğumuz birçok plastik malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple kullanım alanı oldukça yaygındır. Başlıca temel özellikleri; hafiftirler, işlenebilirliği kolaydır ve korozyon dirençleri oldukça yüksektir.

En az iki farklı malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeler genellikle ana malzeme (matris) ve takviye malzemesinin (fiber) bir araya fiziksel olarak gelmesiyle oluşmaktadır. Kompozit malzemeler tek bir malzemedeki elde edilemeyen mekanik ve fiziksel özellikleri bünyesinde barındırırlar. Şekil 3.2 üzerinde çelik, alüminyum ve kompozit malzemeler çeşitli özelliklerine göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda Çizelge 3.1 üzerinde de malzemelerin uygulama alanları ve özellikleri açıklanmıştır.



Şekil 3.2. Metal malzemeler ve kompozit malzemelerin kıyaslaması

Çizelge 3.1. Malzemelerin uygulama alanları ve özellikleri

MALZEMELER	UYGULAMA ALANLARI	ÖZELLİKLERİ
Metaller	Kesici Takımlar Motorlar Elektrik Kabloları	Yüksek sertlik Kalıplandırılabilirlik Şekillendirilebilirlik
Seramikler	Camlar Refrakterler	Isı yalıtımı Yüksek ergime sıcaklığı
Polimerler	Gıda Ürünleri Tekstil Priz	Korozyon dayanımı Elektrik yalıtkanlığı Kolay şekillenme
Kompozitler	Uçak Parçaları İnşaat Yapıları Ahşap İşleme	Yüksek mukavemet Hafiflik Kolay şekillendirilme

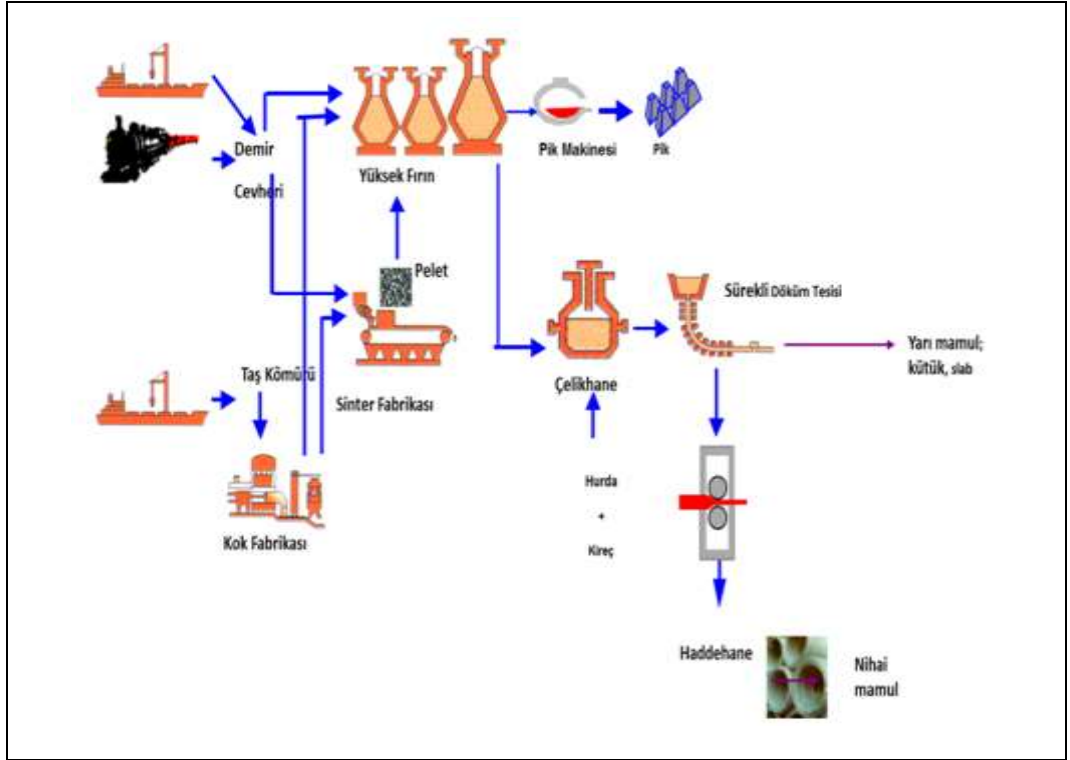
### 3.2. Çelik Saclar Ve Özellikleri

Çelikler; temel olarak belli oranda karbon (C) ve demirin (Fe) bir araya gelmesiyle oluşan mühendislik malzemelerinin temelini oluşturan malzemelerdir. Çelik malzemelerin özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için çeşitli elementler de eklenebilmektedir. Çeliklerin özellik değişimleri; elementlerin kimyasal bileşimi ve içyapılarından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda tavlama, sertleştirme vb. gibi işlemler de çeliklerin içyapısında değişikliklere neden olduğundan özellik değişimine etki etmektedir. Çelik malzemelerin sac hali günümüzde sık sık karşımıza çıkmaktadır. Çelik saclar günümüzde otomotiv sanayi, savunma sanayi, beyaz eşya, havacılık, sağlık, inşaat vb. birçok alanda farklı kullanım amaçlarına göre değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır. Çelik sacların günümüzde bu kadar yaygın kullanılmasının nedenleri düşük maliyetli olması, işlenebilirliği ve birleştirilebilirliği kolay olması, istenilen özellikleri karşılayabilmek adına geniş yelpazede çeşitlerinin olması ve dayanımının yüksek olması çelik sacların kullanımını yaygınlaştıran temel nedenlerdendir.

Çelik saclar, sıcak haddelenmiş ve soğuk haddelenmiş olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Sürekli döküm yöntemiyle üretilen slab adı verilen dikdörtgen kesitli ürünün sıcak haddeden geçerek rulo veya sac halini almasına sıcak haddelenmiş olarak adlandırılır. Slab, döküm işleminden sonra yeteri sıcaklığa kadar getirilerek haddeme işlemine girer ve nihai kalınlık elde edilene kadar haddeme işlemi devam eder. Haddeden çıkan ürün sıcaklığı 850-950 °C aralığındadır ve su verilerek ürün sıcaklığı 580-750 °C olana kadar soğutulur. Bu sıcaklık aralığına gelen ürünler rulo halinde sarılır ve oda sıcaklığında soğuması için bekletilir. Oda sıcaklığına kadar soğuyan rulo sac, dilimlenerek veya rulo halinde piyasaya sunulur. Soğuk haddelenmiş rulo veya saclar, sıcak haddeden çıkan sıcak haddelenmiş ürünün soğuk haddeden giderek soğuk haddelenmesi ile oluşurlar. Soğuk haddelenmiş çelikler de piyasaya dilimlenerek veya rulo halinde sunulurlar. Soğuk haddelenmiş çelikler son haddeme işleminden sonra yüzeyleri kaplanarak korozyon direnci artırılabilir. Bu kaplama işlemi çinko kaplama veya krom kaplama şeklinde olabilir.

### 3.2.1. Çelik Sacların Üretimi

Çelik saclar, demir cevherinin ingot döküm veya sürekli döküm işlemleriyle imal edilirler. Sürekli döküm işlemi bünyesinde üstün özellikler sağlayan teknolojiye sahip döküm tesislerinde gerçekleştirilmektedir. Sürekli döküm işlemi sırasında ara ürün olarak da adlandırılan slab mamülü imal edilir ve devamında haddeleme işlemine giren dikdörtgen kesitli slablar haddelendikten sonra çelik sac halini alırlar. Bu üretim işlemi demir cevherinden çelik saca kadar uzun bir süre gerektirdiği gibi büyük bir üretim alanı da gerektirmektedir. Entegre bir çelik üretim tesise Şekil 3.3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Entegre çelik üretim tesisi

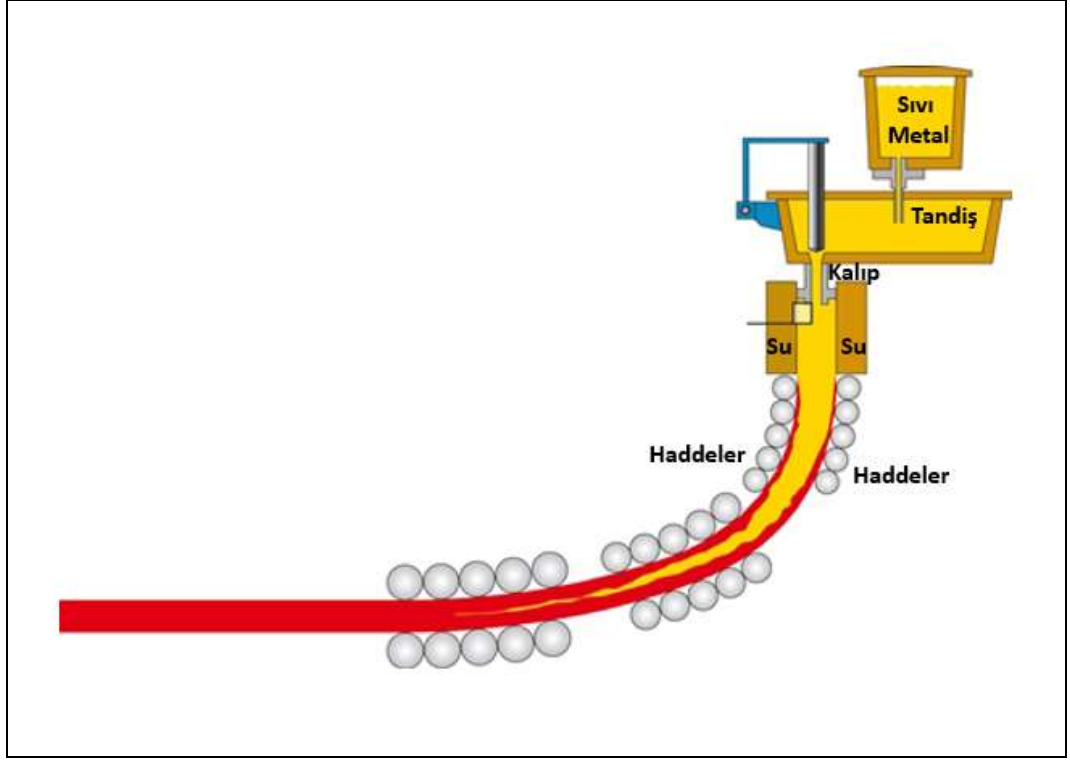
Yüksek fırın ürünü olan pik, 4 ila 6 saatte bir uygun yükseklikte açılan delikten kuru kum yatağına kaba ingot olarak dökülür veya sıvı metal taşıyan özel arabalar (torpido)

ile çelik tazeleme fırınlarına gönderilir. Pik, saf demir değildir, zira redükleme sırasında cevherden, katkılardan ve koktan; doymaya yakın oranda karbon, yüksek oranlarda kükürt, fosfor, mangan ve silisyum gibi elementler içerir.

Konverterde veya ocakta üretilen çelik, potalara alınır ve bu potalarda ikincil metalürji işlemlerinden geçer. İkincil çelik yapımı da denilebilen bu yöntem; gaz giderme, dekarbürizasyon, deoksidasyon, alaşımlama, kükürt giderme, sıcaklık ayarlama ve çeliği homojen hale getirme işlevlerini barındırır. Bu işlemlerde, çeliğe istenen kimyasal alaşım elementleri katılır ve böylece çeliğin kimyasal içeriği ayarlanarak satın alınacak nihai yassı çelik mamulün kalite standardı özelliklerinden birinin ortaya çıkarılmasında ilk adım atılmış olunur.

Sıvı metalin ingot kalıplarına diğer adıyla dökme demir kokillere doldurularak kendiliğinden katılaşmaya bırakılmasına ingot döküm denmektedir. Basit geometriye sahip yüksek yüzey kalitesi istenmeyen ürünlerin imalatında kullanılmaktadır. Sürekli döküm yöntemiyle beraber insan gücü oldukça azalmış ve çalışma şartları iyileşmiştir. Bu iyileşme ve gelişme günümüzde de devam etmektedir. Bu yöntemin ingot döküm yöntemine göre tercih edilmesinin en önemli sebebi daha yüksek kalitede mamüller elde edilmesi ve verimin sürekli dökümde daha yüksek olmasıdır.

Slabların elde edilmesinde kullanılan sürekli döküm yönteminin temeli; alt bölümü su ile soğutulan ve bakır malzeme olan kalıba ergimiş çeliği dökerek kalıp cidarlarında katı elde edilmesiyle, beraberinde ergimiş çeliğin katı cidar etrafında zamanla katılaşması prensibine dayanmaktadır. Sürekli döküm yönteminin isminden anlaşıldığı üzere bu işlem kesintisiz olarak devam etmektedir. Sürekli döküm işlemi prensipte hep aynı olsada farklı uygulamaları karşımıza çıkmaktadır. Sürekli döküm yönteminde kullanılan kalıp sabit konumludur. Sabit konumlu olan sürekli döküm kalıpları duruş şekline göre farklılık göstermektedirler. Bunlar; eğik sürekli döküm, dikey sürekli döküm ve yatay sürekli döküm olarak karşımıza çıkmaktadır. Dikey sürekli döküm prosesi Şekil 3.4 üzerinde şematize edilmiştir.



**Şekil 3.4.** Sürekli döküm prosesi

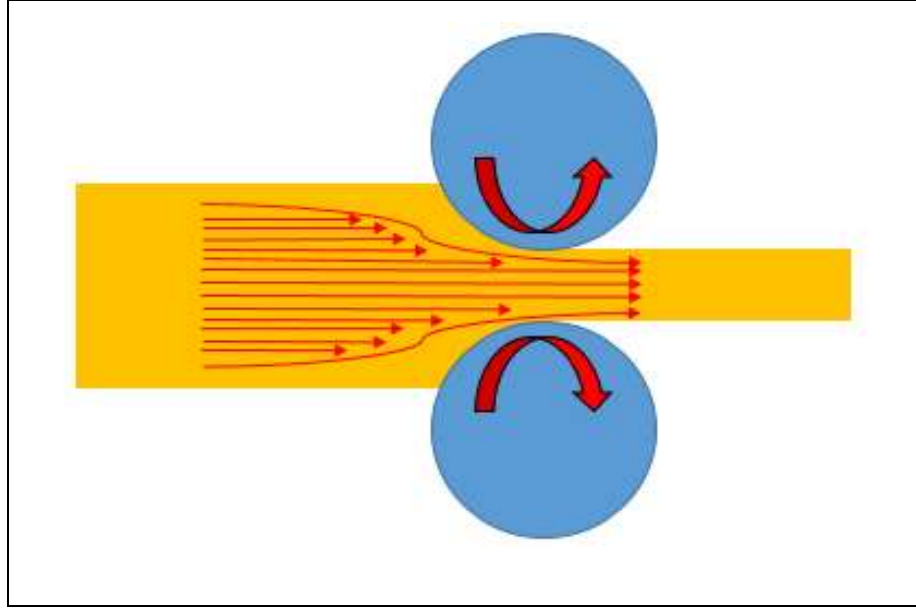
Sürekli döküm işlemi son derece otomatik bir işlem olup, ingot döküme göre yüzey kalitesi yüksek mamüller elde edilmesinde kullanılan yöntemdir. Bu kaliteyi sağlamak amacıyla imalat esnasında özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar, metalin akış özellikleri (akış hızı, akış sıcaklığı, akış açısı) ve soğutma şartlarıdır. Soğutma şartlarının döküm sırasında değişmemesi; kalıp yüzeyinin, konum ve açısının hep aynı kalmasına olanak sağlar. Bu hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilen imalatta yüzey kalitesi oldukça iyi mamüller elde edilmektedir.

### **3.2.2. Haddeleme**

Metallerin plastik şekil kabiliyeti kazandırılması amacıyla geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Teknolojinin günümüzdeki kadar gelişmiş olmadığı zamanlarda metal şekillendirme işlemleri döküm veya kas gücü ile yapılmaktaydı. Teknolojinin

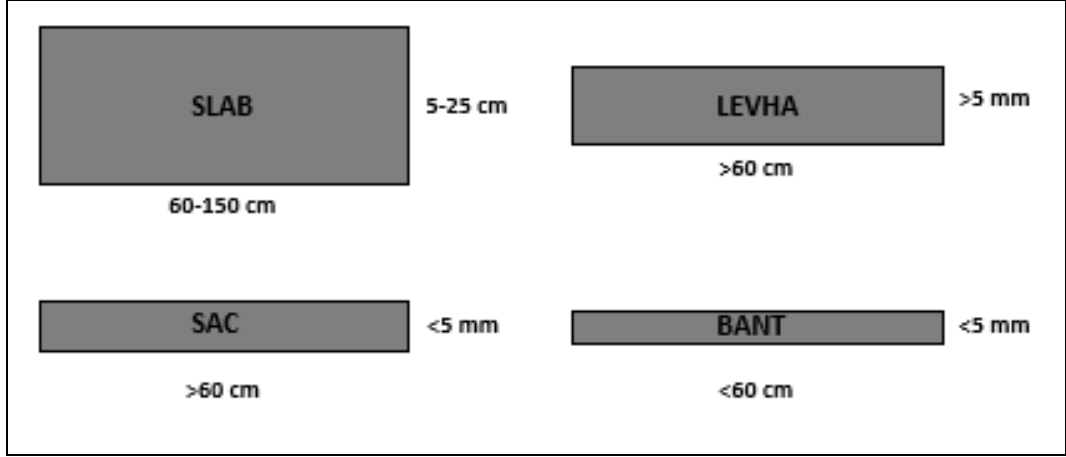


gelişmesi ve onlarca tonda çalışma kapasitesine sahip makinelerin gelişmesiyle beraber metal şekillendirme için yeni yöntemler keşfedildi. Bu yöntemlerin başında da haddeleme işlemi gelmektedir. Haddeleme, kaba geometrik şekillerle üretilmiş malzemenin birbirine zıt olarak aynı hızda dönen merdanelerin arasından geçirilerek şekil verme işlemi olarak adlandırılabilir. Şekil 3.5 üzerinde birbirine zıt dönen merdaneler ile malzemenin plastik şekil değişimine uğradığı gösterilmiştir.



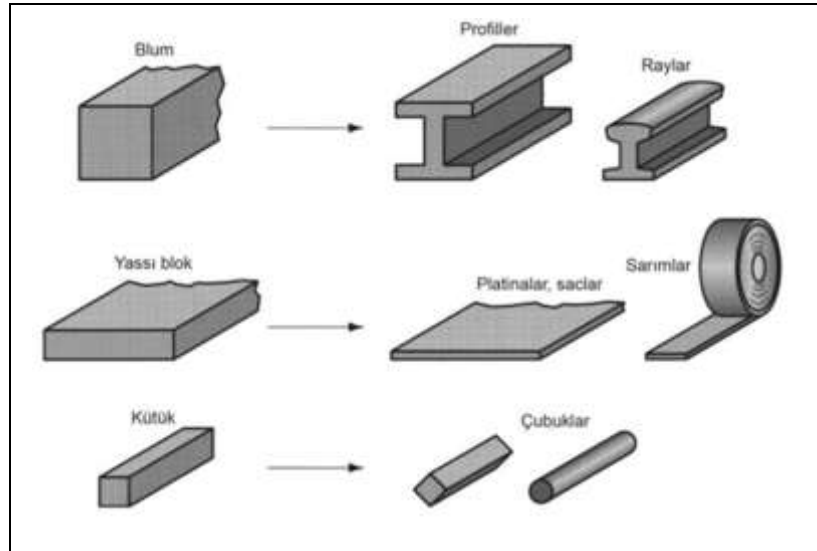
**Şekil 3.5.** Haddeleme şematik gösterimi

Döküm işlemi ile elde edilen slab, blum ve kütük gibi metaller dönen iki merdane arasından geçirilerek ezilirler. Bu ezilme, basma kuvvetinin etkisiyle meydana gelir. Aynı zamanda merdaneler arasındaki boşluk kadar nihai ürün eldesi istenir. Haddelemedeki asıl amaç kalınlık azaltmak, malzemeyi sıkıştırarak daha yoğun hale getirmek ve malzeme içerisinde bulunan boşlukları azaltmaktır. Döküm işlemi ile elde edilen slab, blum, ve kütük gibi ara mamül ürünler haddelenerek; sac, levha ve folyo olan nihai ürüne dönüşürler. Şekil 3.6 üzerinde malzemelerin kalınlıklarına göre nasıl isimlendirildiği aynı zamanda en ve boy boyutlarının hangi değerlere sahip olduğu şematize edilerek gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Slabın ve haddelenen ürünlerin kesit boyutlarına göre sınıflandırılması

Haddeleme işleminin ekstrüzyonun aksine diğer bir yönü, anlık olarak sınırlı alana basınç etkisinin olmasıdır. Haddelemenin bu özellikleri yüksek mekanik dayanıma sahip olan slab, blum ve kütük gibi ara mamüllerin kolaylıkla plastik şekil değişimine uğramasına olanak sağlamaktadır. Yüksek oranda plastik şekil değişimine olanak sağlayan haddeleme işlemi sanayide oldukça çok tercih edilmektedir. Şekil 3.7 üzerinde ara mamüllerden hangi ürünlerin elde edildiği gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Haddeleme ile elde edilen ürünler

Plastik şekillendirme işlemleri, sıcak ve soğuk şekil verme olarak iki şekilde yapılmaktadır. Soğuk şekil verme işlemlerinde plastik deformasyon oldukça düşüktür. Yüksek plastik deformasyon istenen malzemelerde sıcak şekillendirme işlemleri yapılmaktadır. Soğuk şekillendirme işlemleri daha çok; malzeme yüzeyinde bulunan hataları gidermek, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve malzemede istenen boyut kalitesini yakalamak için tercih edilmektedir. Sıcak ve soğuk şekillendirme işlemlerinin en önemli ortak özelliği, plastik şekillendirme işlemi sonucunda herhangi bir atık malzemenin oluşmamasıdır. Plastik şekil verme işlemlerinden biri olan haddeleme, sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme olarak ikiye ayrılmaktadır.

### **3.2.3. Sıcak Haddeleme**

Haddeleme işleminde yüksek deformasyon istenir. Yüksek deformasyonu sağlamak için sıcak haddeleme yöntemi tercih edilir. Sıcak haddeleme metal ve alaşımlarının yeniden kristalleşmeye uğradığı sıcaklıktan daha yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak gerçekleştirilir. Sıcak haddeleme yüksek sıcaklıklarda yapıldığından dolayı nihai üründe artık gerilmeler oluşmaz. Fakat sıcaklıktan dolayı malzemede istenilen yüksek toleranslar elde edilemez.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı, metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılıp içyapısında pekleşmenin olmadığı sıcaklıktır. Metallerin içyapısında bulunan tanelerde büyümeler meydana gelir ve metaller plastik malzeme davranışı sergilemeye başlar. Yeniden kristalleşme sıcaklığı metal malzemelerde, ergime sıcaklığının yaklaşık yarısı kadardır. Çelik malzemelerde yeniden kristalleşme sıcaklığı 400-700 °C arasında değişmektedir.

Çelik malzemelerin haddelenmesi öncelikle sıcak haddeleme ile başlar. Sıcak haddelemede plastik deformasyon oranı oldukça yüksek olduğundan dolayı 20 cm et kalınlığına sahip slab ara mamülü, 2 mm kalınlığa kadar düşürülebilir. Çelik ve alaşımlarında haddeleme işlemi 1200-1400 °C arasında gerçekleşmektedir. Bu yüksek

sıcaklık değeri sıcak haddeleme için yüksek enerji gereksinimini göstermektedir. Sıcak haddelemenin birçok avantaj ve dezavantajı mevcuttur. Sıcak haddelemenin avantajlarını ve dezavantajları;

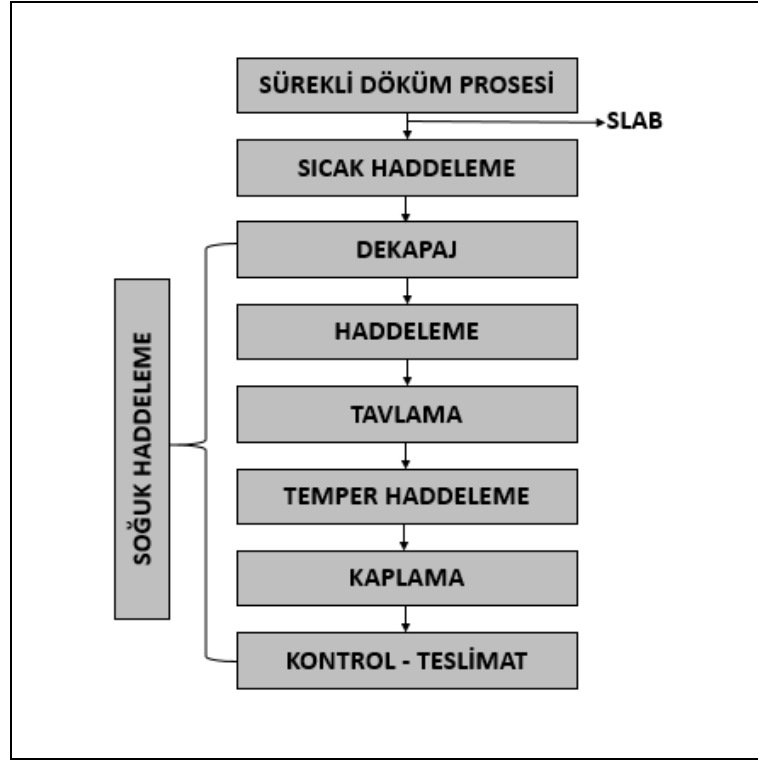
- Plastik deformasyon için daha az kuvvet gerekir.
- Şekillendirilebilirlik daha kolay sağlanır.
- Büyük ölçüde plastik deformasyon olduğundan dolayı işlem süresi kısadır.
- Malzemede sertleşme meydana gelmez.
- Ara mamülü ısıtmak için yüksek ısı enerjisine ihtiyaç duyulur.
- Artık gerilmeler oluşmaz.
- Isı enerjisine bağlı olarak kullanılan ekipmanlarda aşınmalar fazla olur.
- Üretim tesisi için yüksek maliyet gerekmektedir.

#### **3.2.4. Soğuk Haddeleme**

Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan haddeleme çeşididir. Özellikle 1 mm kalınlığının altında sac malzeme elde etmek için soğuk haddeleme işlemi kullanılır. İşlem sıcaklığı düşük olduğundan malzemede mukavemet artışı ve sertleşme meydana gelir. Bunun sebebi işlem sıcaklığının düşük olmasından kaynaklı malzemenin pekleşerek iç yoğunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Soğuk haddeleme işlemi, sıcak haddeleme işlemi görmüş malzemelere yapılmaktadır. İstenilen plastik deformasyon sıcak haddeleme işlemi ile elde edildikten sonra malzemenin iç ve dış yapısında kaliteyi arttırmak için soğuk haddeleme işlemi uygulanır. Soğuk haddeleme, malzemelerin mukavemetini arttırdığı gibi istenilen boyutsal toleransların yakalanmasına olanak sağlar. Bu boyutsal toleranslar malzemenin tüm yüzeyleri için geçerlidir.

Düşük kalınlık, yüzey düzgünlüğü ve yüksek şekillendirilebilirlik kabiliyeti istenilen soğuk haddelenmiş çelik sacların imalatı aşağıda belirtilen adım sırasıyla gerçekleşir. Bu adımlar aynı zamanda Şekil 3.8 üzerinde şematize edilmişlerdir.

- 1) Dekapaj
- 2) Haddeleme
- 3) Tavlama
- 4) Temper Haddeleme
- 5) Kaplama
- 6) Kontrol Ve Paketleme



Şekil 3.8. Soğuk haddeleme prosesi

Sıcak haddelemeden çıkmış sacın üst yüzeyinde üç ayrı katman oluşmaktadır. En üstte bulunan katman hematit ( $Fe_2O_3$ ), ortada bulunan katman manyetit ( $Fe_3O_4$ ) ve en altta bulunan katman ise demir oksittir ( $FeO$ ). Bu tabakalar soğuk hadde görececek olan çelik saclar için uygun değildir. Bunun sebebi tabakaların haddeleme rulolarına ve malzemenin iç yapısına zarar verme ihtimalinin olmasıdır. Malzemenin dış yüzeyinde oluşan bu katmanları kaldırmak için dekapaj işlemi uygulanmaktadır.

Çelik sacların sürekli olarak asit ile yıkanması işlemine dekapaj adı verilir. Bu işlem aside karşı dayanıklı konstrüksiyona sahip tanklar içerisinde gerçekleşmektedir. Aynı zamanda tankın iç yüzeyi aside karşı dayanımı olan tuğlalar ile örülmüştür. Bu tankların boyu 20 m, genişliği 2 m ve derinliği yaklaşık 1 m olan boyutsal değerlere sahiptir. Dekapaj işlemi uygulanan tankta sülfirik asit ve su karışımı olan sıvı vardır. Su ve sülfirik asit karışımının sıcaklığı yaklaşık 90 °C olmakla beraber, ısının her bölgeye eşit dağılmasını sağlamak için tank çalkalanır. Belli oranda birleşim oranına sahip su ve sülfirik asit ısıdan dolayı zamanla buharlaşmaktadır. Su ve sülfirik asit oranını sabit tutmak için tank dışarıdan kayıp olan su ve sülfirik asit kadar beslenmektedir.

Dekapaj işlemi ile hematit, manyetit ve demir oksit katmanlarından arındırılan çelik saclar soğuk haddeleme için uygun hale gelmiş olur. Soğuk haddeleme işlemi gördükten sonra istenilen boyutsal toleranslarda çelik saclar elde edilir. Fakat çelik sacların soğuk haddelemeden sonra iç yapısında artık gerilmeler oluşabilir. Bu artık gerilmeleri ortadan kaldırmak ve malzemenin sertliğini azaltarak daha sünek hale getirmek amacıyla tavlama işlemi yapılır. Tavlama işlemi ile malzeme daha sünek hale gelir. İçyapısında oluşan artık gerilmeler yok edilir ve çelik saclar daha kolay şekillendirilebilme kabiliyeti kazandırılır. Aynı zamanda çelik saclar fiziksel olarak parlak bir görünüm kazandırılmasını da tavlama işlemi sağlar.

Temper haddeleme işlemi, ikincil soğuk haddeleme işlemi olarak da bilinmektedir. Tavlama işlemi görmüş çelik sacların yüzey düzgünlüğünü arttırmak için temper haddeleme işlemi yapılmaktadır. Çelik saclar ısı vererek gevrekliğini giderme ve tokluk değerini arttırmak için yapılan haddeleme işlemine, temper haddeleme işlemi denilmektedir. Temper haddeleme işlemi DR prosesi olarakta bilinmektedir. Temper haddeleme prosesi yapılmış ürünlerin mukavemet değerleri yüksek, yüzey düzgünlüğü iyi ve sertlik değerleri istenilen kadardır. Bu temper haddeleme işlemi, 2mm ve altındaki kalınlık değerlerine sahip çelik saclar uygulanmaktadır. Temper haddeleme görmüş saclar teneke kutular, gazlı içecek kutuları ve kaplama folyoları olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Dekapaj, haddeleme, tavlama ve temper haddeleme işlemi görmüş saclar mukavemet ve içyapı olarak istenilen hale gelmiş olur. Çelik sacların bu işlemlerden sonra kullanım ömrünü ve iç yapısını korumak için kaplama işlemi yapılır. Kaplama işlemi ile korozyon direnci çelik saclarda artar ve malzemenin yüzeyinde oluşabilecek korozyonun engellenmesi sağlanır. Aynı zamanda kaplama işlemi ile çelik saclar dekoratif görünüm sağlanır. Kaplama işlemleri genellikle kalay, krom ve çinko kaplama şeklinde olmaktadır. Kalay, krom ve çinko kaplama işlemleri çeliklerin korozyon dayanımını artırır ve bu işlemler genellikle elektroliz veya sıcak daldırma işlemleri uygulanarak yapılmaktadır.

### **3.2.5. Erdemir 6112 Kalite DKP Sac**

Erdemir 6112 DKP sac; sürekli döküm yöntemi ile elde edilen slabların, sıcak haddeleme ve sonrasında soğuk haddeleme prosesleri gördükten sonra oluşan çelik saclar verilen isimdir. Erdemir 6112 DKP sacların kalınlıkları 0,3 mm ve 2 mm arasında değişmektedir. Erdemir 6112 DKP saclar; yüzey düzgünlükleri yüksek, kenarları çapaksız, dekoratif parlak görünümlü, mukavemet değerleri yüksek ve kaynak kabiliyeti yüksek çelik saclardır. Erdemir 6112 DKP saclar sanayide yaygın olarak kullanılan saclardandır. Genellikle rulo halinde karşımıza çıksa da, levha halinde de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Levha halinde olan Erdemir 6112 DKP sacların boyutları sanayide 1000x2000 mm, 1200x2400 mm, 1250x2500 mm ve 1500x3000 mm olarak kullanılmaktadır. Erdemir 6112 DKP saclar; otomotiv, havacılık, savunma sanayi, inşaat ve beyaz eşya sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Erdemir 6112 DKP sac; otomobil, uçak ve traktör gövdelerinde, bina çatılarında ve tıbbi malzeme imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olan Erdemir 6112 DKP saclar transformatörlerde de kullanılmaktadır. DKP sacların bu kadar farklı alanda karşımıza çıkmasının sebepleri kolay şekillendirilebilme özelliğinin ve korozyon dayanımının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 3.2.** Erdemir 6112 DKP sac (%) kimyasal bileşimi

ERDEMİR 6112 DKP Sac (%) Kimyasal Bileşimi						
Standart	Kalite	ERDEMİR Kalite No	C	P	S	Mn
EN 10130	DC01	6112	0.12	0.045	0.045	0.60

Yukarıdaki Çizelge 3.2 üzerinde belirtilen EN 10130 standardı ve DC01 kalitesi; et kalınlığı 0,3 mm ve 3 mm arasında değişen, genişlikleri minimum 600 mm olan, düşük karbonlu, soğuk haddelenmiş, soğuk şekillendirilebilen yassı mamülleri kapsamaktadır. Erdemir tarafından üretilen 6112 DKP saclar belirtilen standart ve kalitede üretilen saclardır. Bu sacların mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.3 üzerinde belirtilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Erdemir 6112 DKP sac mekanik özellikler

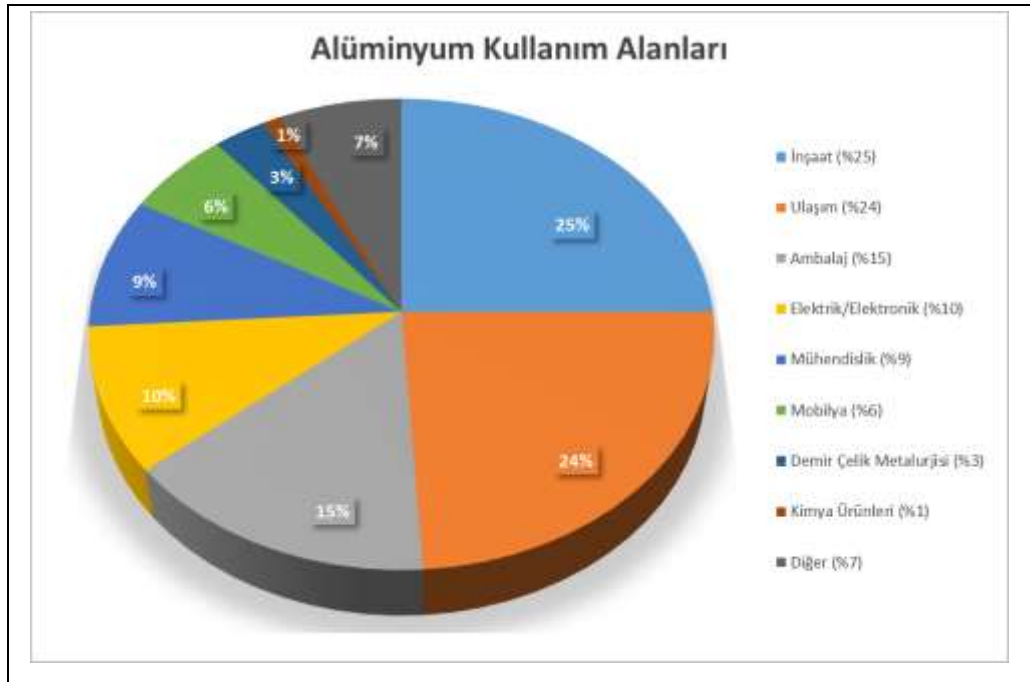
ERDEMİR 6112 DKP Sac Mekanik Özellikler	
Çekme Dayanımı	350 MPa
Akma Dayanımı	252,9 MPa
Uzama	% 18,81
Elastisite Modülü	141,7 GPa
Poisson Oranı	0,28
Özgül Ağırlık	7,83 g/cm <sup>3</sup>



### 3.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum; periyodik cetvelde 3A grubunda bulunan, atom numarası 13 olan ve Al olarak simgelenen gümüşümsü renkte sünek bir metal malzemedir. Doğada karşımıza genellikle boksit cevheri olarak çıkan alüminyum, dünya üzerinde en çok kullanılan elementlerin başında gelmektedir. Alüminyum ve alaşımlarının çelikler gibi günümüzde kullanım alanı oldukça yaygınlaşmıştır. Yüksek mukavemete sahip olması, iyi ısı iletkenliği, çeliğe göre hafifliği, yüksek korozyon dayanımı, kolay işlenebilirliği alüminyumun tercih edilmesinin temel sebeplerini oluşturmaktadır.

Alüminyum; inşaat, ulaştırma, elektrik ve elektronik, metal sanayi sektöründe, kimya sektöründe, dayanıklı tüketim aletlerinde, muhtelif ev eşyaları ve mutfak eşyalarında, mobilya, dekorasyon ürünleri, levha yapımında kullanılmaktadır. Alüminyumun kullanım alanlarına göre yoğunluğu Şekil 3.9 üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Alüminyum kullanım alanları

Alüminyum ve alaşımları, yüzey kalitesini koruyabilmesi için oksit tabaka ile kaplanırlar. Bu tabaka alüminyum oksitten ( $Al_2O_3$ ) oluşan geçirimsiz bir tabaka olup korozyon direncini arttırmaktadır. Korozyon direncinin yanında alüminyum ve alaşımlarının mukavemetini arttırmak için soğuk işlemlere maruz bırakılır. Saf halde oldukça iyi korozyon direnci, elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliğine sahip olan alüminyumlar, alaşımlandırılarak endüstride oldukça yaygın çeşitlere ulaşımlardır. Alaşımlandırma işlemleri alüminyum üzerinde istenilen mekanik özellikleri (tokluk, sertlik, mukavemeti, elastisite modülü vb.) geliştirmek için yapılmaktadır. Çok az miktarda mangan, magnezyum, çinko, titanyum vb. gibi elementlerin, saf alüminyuma ilavesi ile alüminyumun mukavemeti arttırılabilir.

Alüminyumun en önemli mekanik özelliklerinden biri de elastisite modülüdür. Elastisite modülü, malzemenin gerilmeler altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Tanımı dikkate alındığında birim boyutu bir kat arttırmak için gerekli gerilimi ifade etmektedir. Elastisite modülü young modülü olarak da ifade edilirken E ile simgelenmektedir.  $N/mm^2$  veya MPa olarak birimlendirilmektedir. Elastisite modülünün yüksek olması, uygulanan gerilmeler altında elastik şekil değişiminin az olduğu anlamına gelmektedir. Bu da elastisite modülü yüksek olan malzemelerin daha rijit olduğu anlamına gelir. Alüminyumun elastisite modül değeri, çeliğin elastisite modülüne göre 3 kat daha düşüktür. Alüminyumdaki elastik şekil değişimi, çeliğe göre daha fazla olurken çelikler daha rijit davranış sergilemektedirler. Alüminyum ve çelik arasında bir seçim yapılması gerektiğinde, elastik şekil değişiminin alüminyumda 3 kat daha fazla olacağı dikkate alınmalıdır.

Saf alüminyumun yoğunluğu  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  olarak bilinmektedir. Yoğunluk, özkütle olarakta bilinmektedir ve belirli sıcak, basınç altında birim hacme denk gelen kütle anlamına gelmektedir. Bu ifade dikkate alındığında alüminyumun birim hacimde; demirden ( $7,8 \text{ gr/cm}^3$ ) yaklaşık 3 kat, bakırdan ( $8,96 \text{ g/cm}^3$ ) yaklaşık 4 kat daha hafif olduğu anlamına gelmektedir. Alüminyumun hafifliği otomotiv sanayi ve havacılıkta yaygın olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Uçak kanatları ve araç gövdelerinde aranan hafifliği sağlamak için alüminyum seçimi yapılmaktadır. Aynı şekilde düşük

yoğunluğa sahip olan alüminyum, ekonomik yönden de avantaj sağlamaktadır. Birim ünite de bulunan alüminyum ve diğer metaller dikkate alındığında alüminyumun kütlesi daha az geleceğinden düşük maliyetli olacaktır.

Alüminyumun yaygın kullanılmasının nedenlerinden biride korozif özelliklerinin iyi olmasıdır. Atmosferik oksijene maruz kalan alüminyumlar, yüzeylerinde ince bir oksit tabaka oluşturur ve bu oksit tabaka korozyon direncini arttırmaktadır. Oksit tabaka asitlere maruz bırakıldığında da iyi bir korozyon direnci gösterir. Eğer oksit tabaka yeterli gelmeyip korozyon direncinin düşük kaldığı noktalarda boyama işlemi ile korozyon direnci arttırılabilir. Oksit tabaka ve alüminyumun insan sağlığı açısından zehirleyici etkisi olmadığından mutfak malzemelerinde ve sağlık sektöründe kullanılır.

Alüminyum esaslı malzemeler temel olarak iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar; döküm parçaların imalatı için kullanılan döküm alaşımları ve hadde, ekstrüzyon, dövme ürünlerin imalatında kullanılan işlem alaşımlarıdır. Alüminyum esaslı malzemelerin günümüzde kullanımı da oldukça artmıştır. Alüminyum ve alaşımlarının kullanımının artması ile birlikte Amerikan Alüminyum Birliği (AA) tarafından nümerik olarak alüminyum ve alaşımları sınıflandırılmıştır. Bu alaşımlandırma işlemi dört rakamın yan yana gelmesiyle oluşur. Her rakam kendi içinde bir anlam barındırmaktadır. Çizelge 3.4 üzerinde detaylı olarak rakamların ne anlama geldiği açıklanmış, aynı şekilde Çizelge 3.5 üzerinde de ilk rakamlarına göre özellikleri incelenmiştir.

**Çizelge 3.4.** AA tarafından alüminyum ve alaşımlarının isimlendirilmesi

X	X	X	X
Alüminyum ve Alaşım Grubu	Kompozisyon Değişimi	Alüminyum Safiyetini gösterir.En az %99 olarak belirtilir. Son 2 rakam %99,XX anlamına gelmektedir.	

**Çizelge 3.5.** Alüminyum ve alaşımlarının ilk rakama göre özellikleri

İsim	Alaşım Elementi	Açıklama
1XXX	%99 Alüminyum	En az %99 alüminyum barındırırlar. Bu alüminyumlar haddelenerek ve rulo haline getirilerek kullanılırlar.
2XXX	Al-Cu Alaşımı	Bu alaşımlar dayanımın yüksek olmasının istendiği uçak kanatları gibi yerlerde kullanılırlar. Çekme dayanımları yaklaşık 440 Mpa 'dır.
3XXX	Al-Mn Alaşımı	İyi yüzey işlem kalitesinin istendiği yerlerde kullanılır. 3003 alüminyum alaşımı en yaygın kullanılanıdır ve %1,25 mangan barındırır.
4XXX	Al-Si Alaşımı	Bu alaşımlar erime sıcaklığının yüksek olmasının istendiği noktalarda kullanılmaktadır.
5XXX	Al-Mg Alaşımı	Magnezyum elementi ilavesi ile malzemenin mukavemetlenmesi sağlanır. 5052 alaşımı en yaygın kullanılan alaşımdır.
6XXX	Al-Mg-Si Alaşımı	Yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlardır. 6061 en yaygın kullanılan alaşımdır.
7XXX	Al-Zn-Mg Alaşımı	7075 en önemli alaşım elementidir.
8XXX	Çaşıtlı Alaşımlar	Yüksek üretim maliyetine sahiptirler. Esas alaşım elementi lityum olup tokluk ve yorulma dirençleri yüksektir.

Temperleme, malzemenin ısıtılarak aniden soğutulması işlemidir. Bu alüminyum alaşımlarında farklı sıcaklıklarda gerçekleşir. Herhangi bir alüminyum alaşımın fiziksel özelliklerini tam olarak tanımlamak için çeşitli temperleri ve temper kodlarını iyi bilmek oldukça önemlidir. Tam bir tanımlama için, uygulanan üretim işlemleri ve uygulamalarını ifade eden temper tanımları kullanılmaktadır. Bu temper tanımlama

sistemi hem işlem aşamaları hem de döküm aşamalarında kullanılmaktadır. Temel temperler harf rotasyonu ile belirtilir. Tam bir tanım için harflerle birlikte bir veya daha fazla rakam rotasyonu da kullanılır. Bu rakamlar, ürün kalitesini etkileyen karmaşık temel operasyon akışını belirtmekte kullanılır.

Alüminyum alaşımının kimyasal içeriği aynı olmadığı gibi sertleştirmek için kullanılan yöntemler de farklıdır. 2xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımları ısı ile sertleştirilebilirken, 1xxx, 3xxx, 4xxx ve 5xxx alaşımları deformasyon ile sertleştirilebilir. Bu nedenle alaşım tercihi yaparken kimyasal özelliklerinden çok metale uygulanan işlemler de göz önünde bulundurulmalıdır. Alüminyumun uygulanan işlemlere göre isimlendirilmesi Çizelge 3.6 üzerinde detaylı olarak incelenmiştir.

**Çizelge 3.6.** Alüminyumun uygulanan işleme göre isimlendirilmesi

KODLAR	AÇIKLAMA
H0	Sadece tavlama yapılmış
H1X	Tavlama yapılmış, gerinim sertleşmesi yapılmış
H2X	Gerinim sertleşmesi yapılmış, kısmi tavlama yapılmış
H3X	Gerinim sertleşmesi yapılmış, stabilize edilmiş
H4X	Gerinim sertleşmesi yapılmış, vernikleme veya boyama

HX (X: 1,2,3,4 sayıları konduğunda) sayısından sonra gelen rakamlar, alüminyum alaşımlarının sertlik değerleri belirtmek için kullanılmaktadır. Bu sertlik değerleri 0 ile 10 üzerinden puanlanabilir. Bu puanlamaya göre Çizelge 3.7 üzerinde gösterilen puanlarda 10 puan en sert alüminyuma karşılık gelmektedir. 0 puan ise sertliği en düşük yumuşak alüminyuma karşılık gelmektedir. Bu değerler alüminyumun kullanım alanına göre ve istenilen sertlik özelliklerine göre dikkate alınması gereken değerlerdir. Aynı zamanda alüminyum isimlendirilirken bu sertlik değerleri alüminyumun isminde yer almakta ve alüminyum seçimi için dikkat edilmesi gereken bir kriter olmaktadır.

**Çizelge 3.7.** Alüminyuma göre sertlik değerlerinin puanlanması

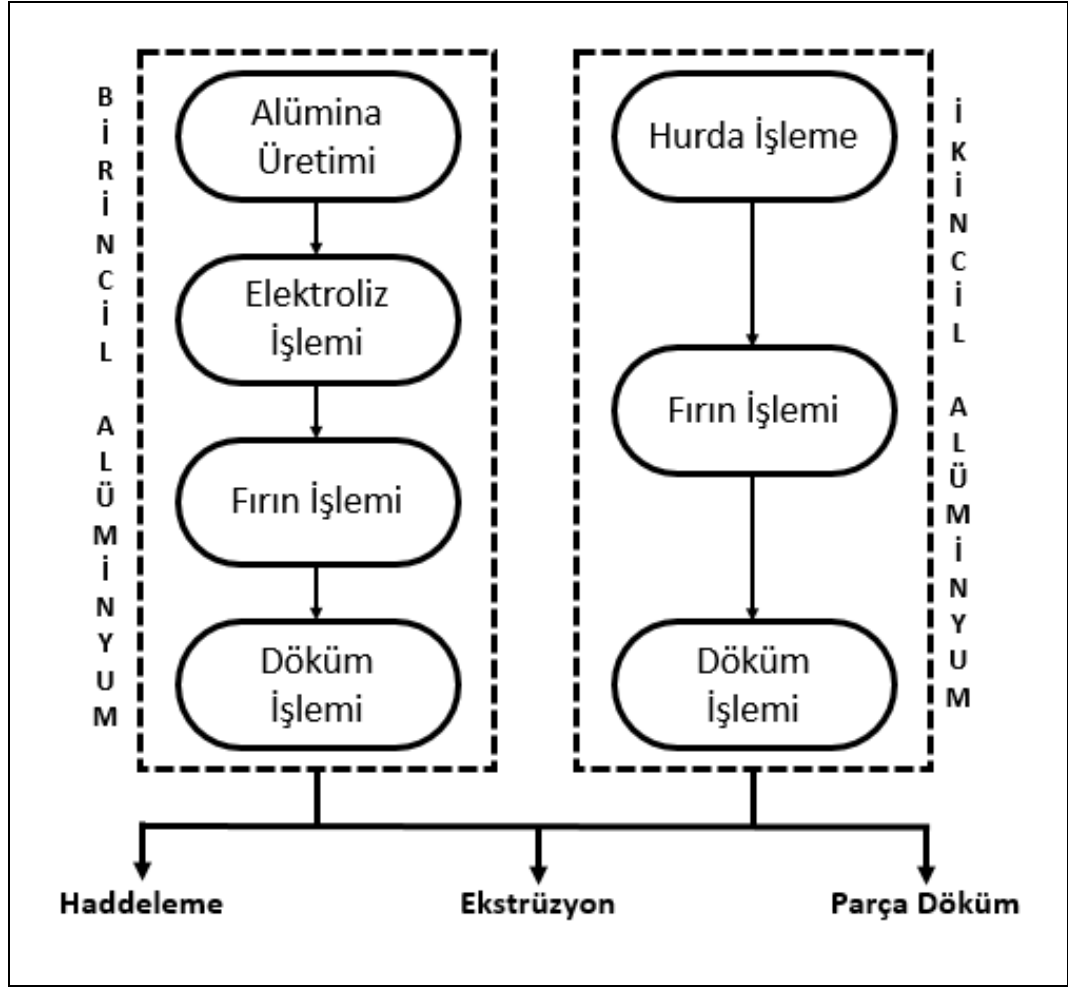
KODLAR	SERTLİK PUANI
H0	0
HX1	1
HX2	2
HX3	3
HX4	4
HX5	5
HX6	6
HX7	7
HX8	8
HX9	10

### 3.3.1. Alüminyum Üretimi

Diğer metallere kolayca bağlanabilen ve doğada yaygın olarak karşılaşılan alüminyum; doğada saf olarak bulunmamaktadır. Alüminyumun üretimi çeliğe kıyasla daha karmaşıktır ve üretimi için çok fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Saf alüminyum elektrik indirgeme yöntemi ile elde edilmektedir. Son işlemde elektrik enerjisi ile alüminyum küçük parçalara ayrılır ve yaklaşık 4 ton boksitten 1 ton alüminyum eldesi sağlanır.

Metalik alüminyum iki yöntem ile elde edilmektedir. Madencilik ile elde edilen boksit cevherinden alüminyum eldesi “Birincil Alüminyum Üretimi” olarak adlandırılmaktadır. Hurdalardan elde edilen alüminyum ise “İkincil Alüminyum Üretimi” olarak adlandırılmaktadır. Birincil alüminyum üretimi hammaddeden alüminyum eldesi olduğundan, daha çok işçilik ve proses gerektirdiğinden ikincil alüminyum üretimine göre maliyeti daha yüksektir. Fakat birincil veya ikincil

alüminyum ile elde edilen alüminyum ve alaşımları nihai proses olarak; haddeleme, ekstrüzyon ve parça döküm ile şekillendirilmektedir. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi Şekil 3.10 üzerinde hangi aşamalardan geçtiği, nihai olarak hangi proseslerden geçebileceği şematize edilmiştir.

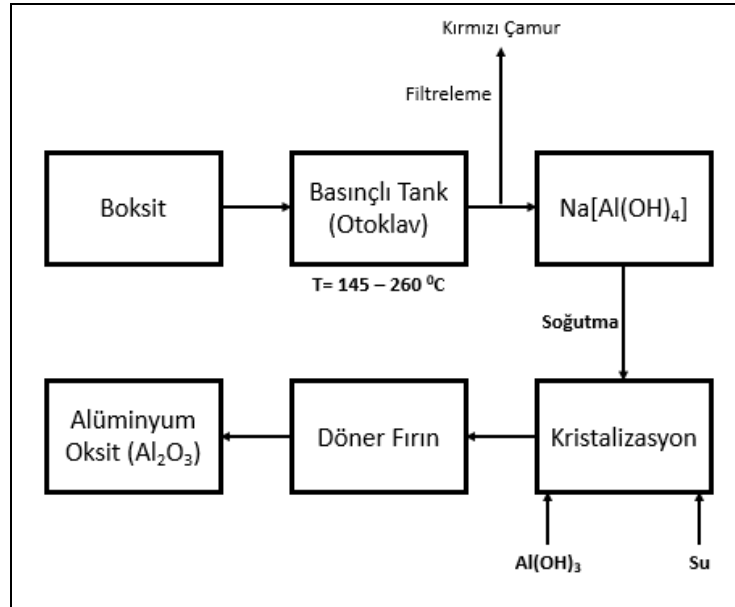


**Şekil 3.10.** Birincil ve ikincil alüminyum üretimi

Birincil alüminyum üretimi, üç süreçten oluşmaktadır. Bu süreçlerin ilki olan boksit eldesidir. Bir sonraki süreç ise elde edilen boksitin Bayer Prosesi uygulayarak alümina eldesidir. Alüminyum üretimi için kullanılan sürecin son aşamasını alüminadan ergimiş tuz elektrolizi (Hall-Herault Prosesi) oluşturmaktadır.

Birincil alüminyum üretiminin hammaddesini oluşturan boksit, yeryüzünde alüminyum eldesi için kullanılan en yaygın hammadde olarak bilinmektedir. Boksit, alüminyum oksitten oluşan ve içerisinde %50'den fazla alüminyum oksit barındırıyorsa yüksek kaliteli olarak adlandırılan bir mineraldir. Boksitler yapısal olarak kırıntılı veya sıkı halde bulunabilirler. Genel olarak kırmızı renkte bulunan boksit, içerisinde demir oranı düşükse beyaz renkte de karşımıza çıkabilir. Boksit eldesi için yeraltı madencilik işlemleri veya açık madencilik işlemleri kullanılmaktadır. Alüminyum üretiminin %90'ı günümüzde açık madencilik işlemleri ile gerçekleşmektedir.

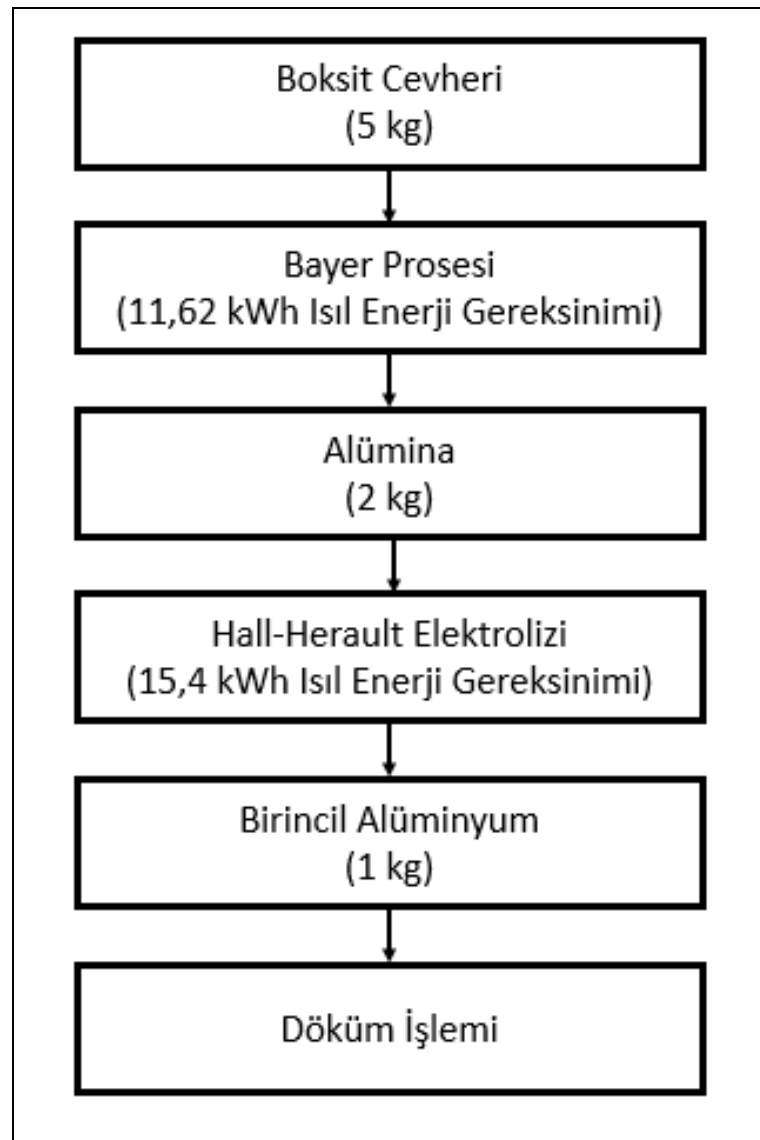
Üretim zincirinin bir sonraki zinciri, boksitten alümina veya alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) eldesidir. Boksitten alümina elde etmek için, yıllardır kullanılan ve alümina eldesi için %90 kullanım oranına sahip Bayer Prosesi ile alümina elde edilir. Çok verimli bir proses olan Bayer Prosesi, yüksek oranda boksit içeren prosestir. Bayer Prosesi, %30-%40 demir içeren kırmızı renkli boksitin rafinasyonu ile alüminyum oksitin ( $Al_2O_3$ ) eldesini sağlayan proses olarak bilinmektedir. Şekil 3.11 üzerinde boksitten alüminyum oksit süreci şematize edilmiştir.



Şekil 3.11. Boksitten alüminyum oksit eldesi



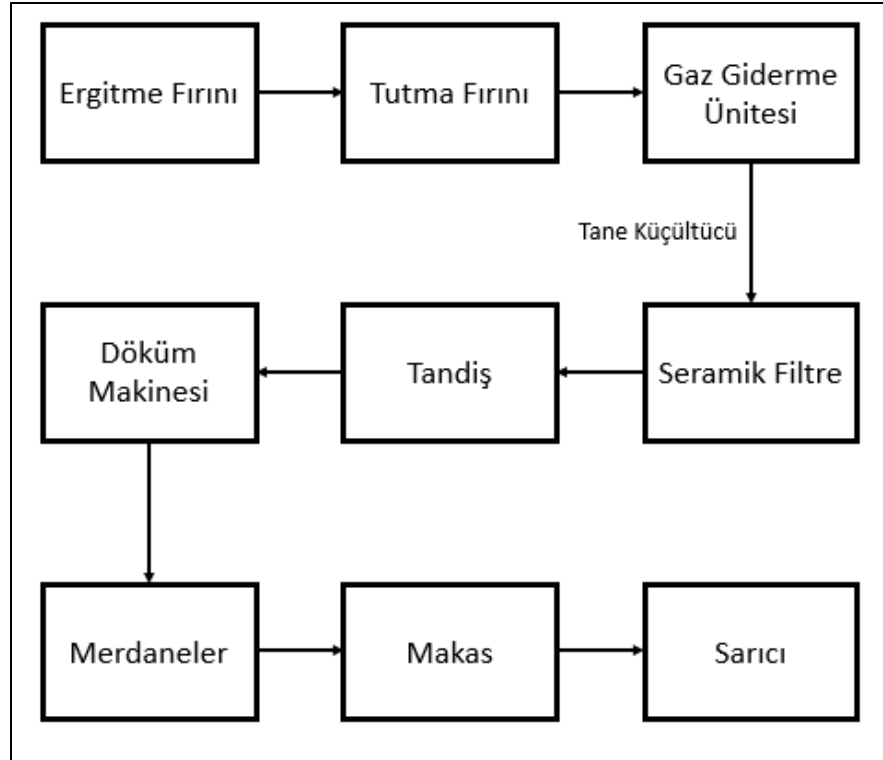
Charles Martin Hall (Amerika’da) ve Paul Louis Toussaint Hérault (Fransa’da), ergimiş kriyolit (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) içinde alüminanın (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) çözündürülerek elektrolitik yöntemle metalik alüminyum üretiminin, 1886 yılında birbirlerinin yaptıkları çalışmadan habersiz iki ay arayla patentlerini alan bilim adamlarıdır. Bu sebeple günümüzde birincil alüminyumun endüstriyel ölçekte üretildiği hücelere ikisinin de adı kullanılarak “Hall-Hérault hücreleri”, işleme de “Hall-Hérault prosesi” adı verilmektedir. Alüminyum eldesi Şekil 3.12 üzerinde detaylı olarak incelenmiştir.



**Şekil 3.12.** Alüminyum eldesi

İkincil alüminyumun temelini sürdürülebilirlik oluşturmaktadır. Daha önceden farklı amaçlar için kullanılan alüminyum malzemeler, görevlerini yerine getiremez hale gelmesiyle hurdaya gönderilir. Hurda halinde bulunan alüminyumların ergitilerek tekrardan vasıflı hale getirilmesi ile ikincil alüminyum üretimi gerçekleşir. İkincil alüminyum üretiminin yatırım maliyeti, birincil alüminyum üretimine göre oldukça düşüktür. Düşük maliyet ve geri dönüşüm avantajı sağlayan ikincil alüminyum üretimi bu sebeplerle sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 3.3.2. Alüminyum Döküm Tekniği



Şekil 3.13. Alüminyum döküm tekniği

Şekil 3.13 üzerinde gösterilen alüminyum döküm tekniği, çelik sacların imalatında olduğu gibi alüminyum sacların imalatında da ingot, slab gibi hammaddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunları elde etmek için öncelikle ergitme fırınları beslenir. Beslenen

ergitme fırınları yüksek sıcaklıklarda olduğundan metaller sıvı hale geçerler. Sıvı hale geçen metaller tutma fırınlarına aktarılır. Tutma fırınlarında alaşımlandırma işlemi yani, sıvı metal içerisinde olması istenilen elementler eklenir. İstenilen elementler eklendikten sonra sıvı metal içerisinde istenmeyen elementler de yer alabilir. Bu istenmeyen elementleri gidermek için flakslar kullanılmaktadır. Flakslar, inorganik malzemeler olup sıvı metali istenilen kaliteye getirmek amacıyla kullanılırlar.

Sıvı alüminyum fırından döküm makinesine götürmek için refrakter yolluklar kullanılır. Refrakter malzemedeki beklenen en önemli özellikler; düşük termal iletkenlik, iyi termal şok dayanımı, operasyon sıcaklığında boyutsal kararlılık, kalınlık boyunca yüksek mekanik mukavemet, mükemmel ısıtım özelliği, kolay montaj için düşük ağırlık, ergimiş alüminyumdan daha düşük yoğunluk ve kolay temizlenebilirliktir. Tutma fırınlarında flakslar ile temizlenen sıvı metal (sıvı alüminyum alaşımı), içerisinde bulunan gaz boşluklarını gidermek ve daha homojen hale getirmek için gaz giderme ünitelerine aktarılırlar. Gaz giderme ünitesinde daha da saflaştırılan sıvı metal seramik filtrelerden geçirilerek döküm makinalarına aktarılırlar. Seramik filtrelerin gözenekleri çok küçük olduğundan istenilen boyuttan büyük olan taneler seramik filtreler yardımıyla sıvı metal içerisinden uzaklaştırılırlar.

Sıvı halde bulunan alüminyum alaşımı gerekli işlemlerden geçtikten sonra son olarak döküm makinasında kalıplara göre şekillendirilir. Bu işlemde sürekli döküm tekniği kullanılır. Kalıplar yardımı ile istenilen şekil elde edilir ve merdanelerden geçerek rulo sac halini almış olur.

Sürekli döküm tekniği, hem maliyet açısından hem de metalurjik açıdan diğer üretim proseslerine göre avantajları vardır. Sürekli döküm tekniği ve haddeleme tekniği operasyonda yapıldığından dolayı ilave bir sıcak haddeleme işlemi gerektirmez. Bu da ilave yatırım maliyetini diğer geleneksel yöntemlere göre azaltmış olur. Aynı zamanda alüminyumun sürekli döküm imalatında katılaşması hızlı olduğundan metalurjik açıdan daha saf olmasına olanak sağlar.

### 3.3.3. 1050 H14 Alüminyum Alaşımı

1050 H14 alüminyum alaşımı çok yüksek mukavemetin istenmediği yerlerde tercih edilmektedir. Aynı zamanda yüksek korozyon direnci, yüksek süneklik ve parlak yüzeyi 1050 H14 alüminyumun tercih edilmesi sebeplerindedir. Ayrıca otomotiv, havacılık, mimari, beyaz eşya, ambalaj, kimya, gıda gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tercih edilmesine olanak sağlayan 1050 H14 alüminyumun, diğer malzemelere göre özelliklerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek korozyon direnci
- Diğer alüminyum alaşımlarına göre sertlik değeri daha yüksek
- Elektrik ve ısı iletkenliği yüksek
- Parlak yüzey görünümü
- Kaynak kabiliyeti yüksek
- Şekillenme kabiliyeti yüksek
- Mekanik özellikleri düşük

Çizelge 3.8 üzerinde Referans Metal 1050 H14 alüminyum (%) kimyasal bileşimi ve Çizelge 3.9 üzerinde ise Referans Metal 1050 H14 alüminyum mekanik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir.

**Çizelge 3.8.** Referans Metal 1050 H14 alüminyum (%) kimyasal bileşimi

Referans Metal 1050 H14 Alüminyumun (%) Kimyasal Bileşimi							
Fe	Si	Zn	Ti	Mg	Mn	Cu	Al
0,4	0,25	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	99,5

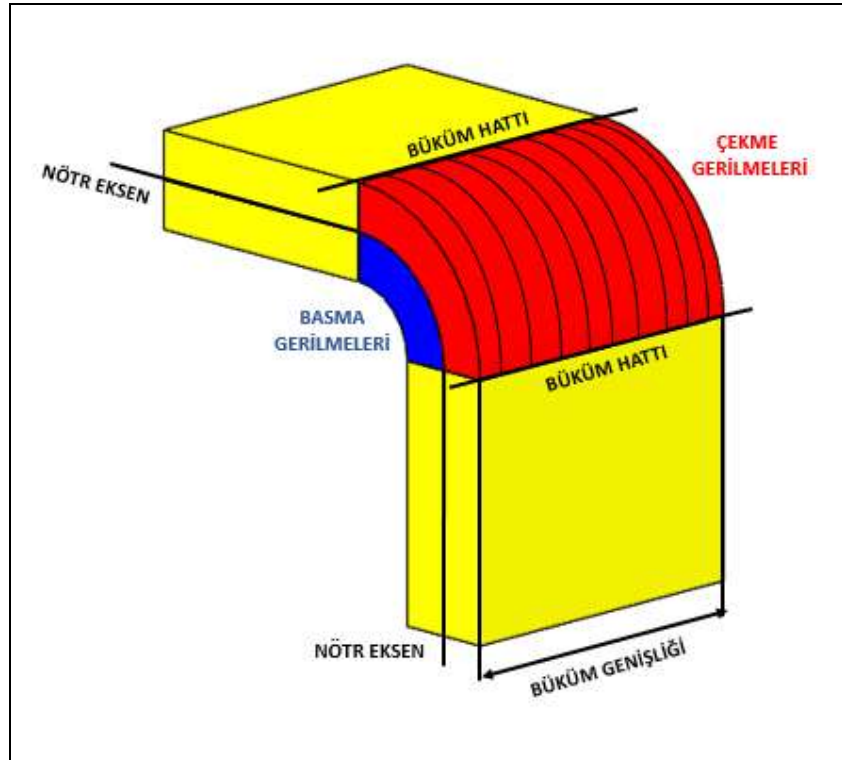
**Çizelge 3.9.** Referans Metal 1050 H14 alüminyum mekanik özellikleri

Referans Metal 1050 H14 Alüminyum Mekanik Özellikleri	
Çekme Dayanımı	110 MPa
Akma Dayanımı	103 MPa
Uzama	% 10
Elastisite Modülü	69 GPa
Kesme Modülü	70 Mpa
Özgül Ağırlık	2,705 g/cm <sup>3</sup>

### **3.4. CNC Abkant Büküm**

Günümüzde gelişen sanayi ile birlikte kalıpcılık çalışmaları oldukça ilerlemiş ve gelişmiştir. Çevremize baktığımızda otomobil parçaları, ev araç gereçleri, uçak parçaları, otomobil parçaları, beyaz eşya parçaları, özel makine imalatı için gerekli parçalar, mimari dekorasyonda kullanılan parçalar ve bunlar gibi karşımıza çıkan bir çok ürün kalıpcılık çalışmaları ile üretilmiştir. Üretilmesi istenen parçayı en kısa zamanda istenilen toleranslar içerisinde insan gücünü en asgari düzeyde tutarak, takım ve tezgahlar yardımıyla üretilmesine olanak sağlayan ekipmanlara kalıp denilmektedir. Bu ekipmanların tasarımını hazırlayıp, uygun şekilde kullanılmasını sağlayan kişilere ise kalıpcı denilmektedir. Günümüzde kullanılan kalıp ile üretim yöntemlerinin başında ise abkant büküm ile üretim gelmektedir. Abkant büküm ile üretim çeşitli kalıplar kullanılarak gerçekleştirilen bir üretim şekli olduğundan kalıpcılık çalışmaları içerisinde yer almaktadır.

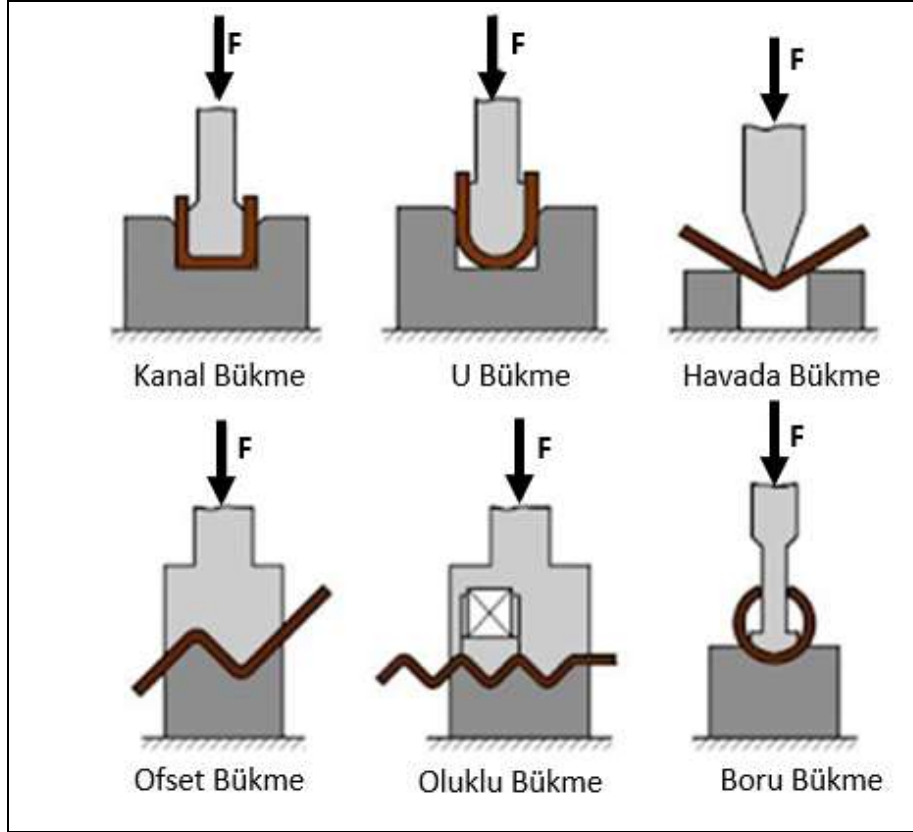
Bükme işlemi, sac malzemeyi nötr eksen etrafında eğme gerilmeleri kullanarak plastik şekil verme işlemidir. Nötr eksen, plastik şekil verme esnasında oluşan gerilmelerin sıfır olduğu iç yüzeyinde basma gerilmelerinin, dış yüzeyinde ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği eksen olarak bilinmektedir. Nötr eksen iç yüzeylerinde basma gerilmeleri olduğundan malzemenin iç yüzeylerinde kısaltmalar meydana gelmektedir. Nötr eksenin dış yüzeyi de çekme gerilmelerine maruz kaldığından malzemenin dış yüzeyinde uzamalar meydana gelmektedir. Nötr eksen, malzemenin tarafsız eksen olarak bilinmektedir. Şekil 3.14 üzerinde bükümlü bir sac üzerinde oluşan gerilmeler şematize edilmiştir.



**Şekil 3.14.** Bükümlü sac üzerinde oluşan gerilmeler

Bükme; sac malzemelere uygulanan, malzemeye plastik şekil değişimi kazandıran bir imalat yöntemidir. Bükme yöntemi sac malzemelere şekil vermek veya sac malzemenin dayanımını arttırmak için uygulanmaktadır. Bükme işlemi, alt kalıp (dişi) ve üst kalıp (zımba veya erkek) denilen ekipmanlar ile gerçekleştirilmektedir. Bükme işlemi, alt ve üst

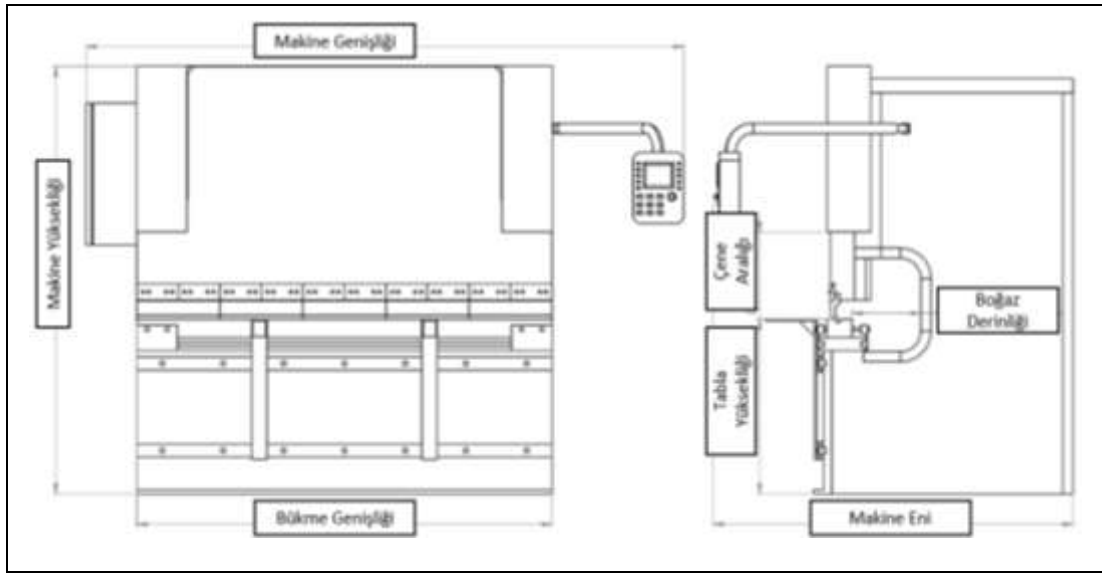
kalıbın geometrisine göre değişik şekillerde gerçekleştirilebilir. V bükme, U bükme, havada bükme, ofset bükme, oluklu bükme ve boru bükme sanayide sıklıkla kullanılan bükme çeşitleridir. Bu bükme çeşitleri Şekil 3.15 üzerinde alt ve üst kalıpların şekillerine göre gösterilmiştir. Ayrıca kalıpcılar tarafından, büküm kalıpları değişik geometrilere tasarlanıp özel bükümlü imalatlarda gerçekleştirilebilir.



**Şekil 3.15.** Alt ve üst kalıp geometrisine göre bükme çeşitleri

Abkant büküm, abkant adı verilen presler ile sac malzemeyi şekillendirme işlemidir. Bu presler, çeşitli tonaj ve boyutlarda olabilmektedir. Abkant büküm işlemi, gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarlı ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Bilgisayara aktarılan veriler ile abkant büküm işlemi, CNC abkant büküm tezgahlarında gerçekleştirilmektedir. CNC abkant tezgahlarında üretim daha kaliteli, daha hızlı ve daha düşük toleranslarda olmaktadır. Aynı zamanda CNC abkant bükme tezgahları ile rekabet gücü artmış ve teknolojinin daha hızlı gelişmesine olanak sağlamıştır. Teknolojinin daha hızlı

gelişmesiyle beraber, CNC abkant tezgahları da çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Tezgahlar, büküm için uyguladıkları tonajlara göre, büküm genişliğine göre ve boğaz derinliğine göre çeşitlilik göstermektedir. Sanayide kullanılan tezgahlar genellikle en az 60 ton, en fazla 2000 ton büküm kuvveti uygulayan makinelerdir. Büküm genişliği ise en az 1000 mm, en fazla 8000 mm olan makinelerdir. Bu kriterler aşağıdaki Şekil 3.16 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.16.** Abkant tezgahının boyutsal gösterimi

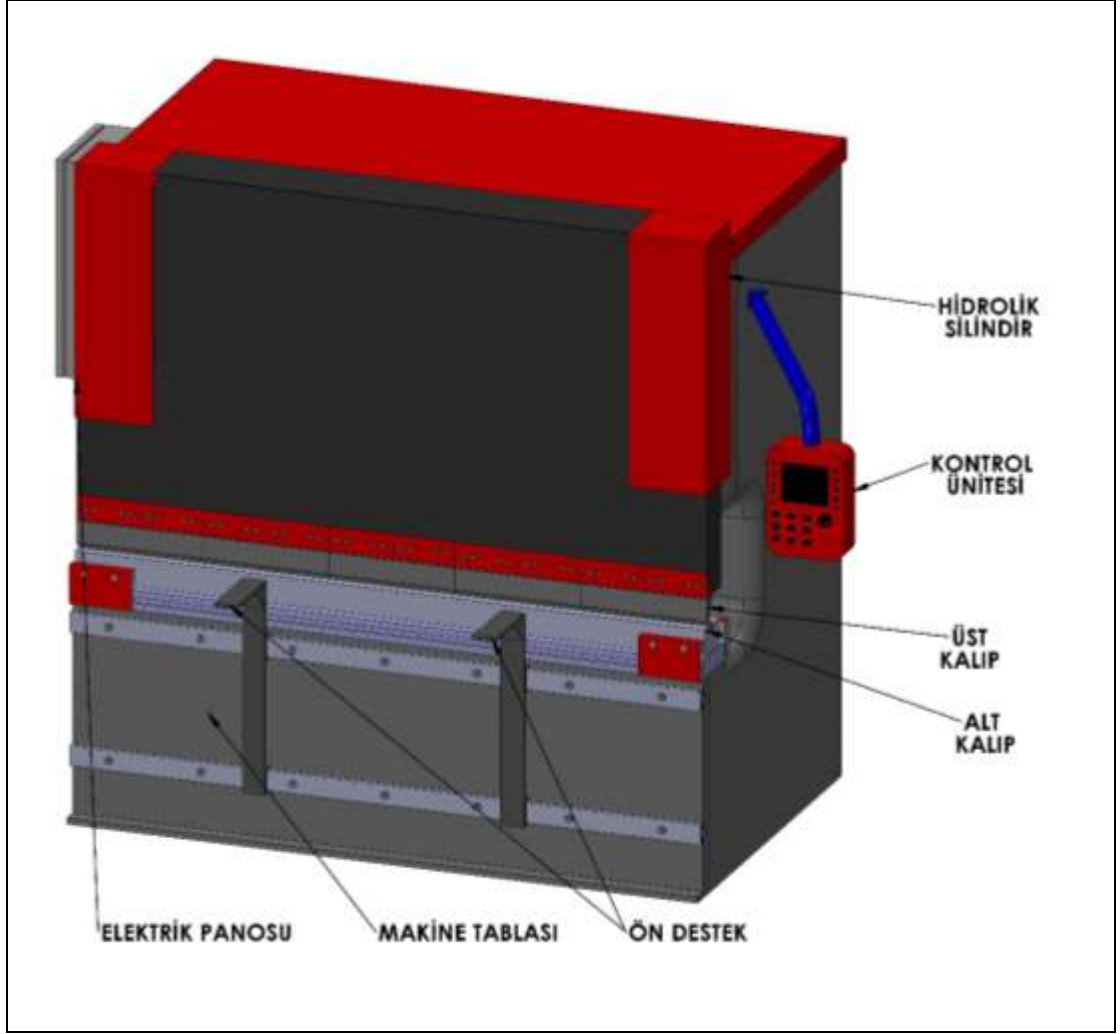
Abkant büküm işlemi, bilgisayarın bu kadar hayatımızda olmadığı zamanlarda manuel olarak yapılmaktaydı. Fakat gelişen teknoloji ile beraber bilgisayarlar makinelere entegre edilmeye başladı. Böylece makineler akıllı hale getirildi. Abkant büküm tezgahlarına entegre edilen bilgisayarlarda, abkant büküm için çok fazla avantaj sağladılar. Bu avantajları aşağıdaki gibi maddeler halinde belirtebiliriz.

- CNC abkant tezgahlarda hafıza özelliği olduğundan bükümlerin peşpeşe yapılabilmesi.
- Gerekli büküm ölçülerinin makineye girilebilir olması.
- Sac parçayı bükme hızı ve büküm tonajının ayarlanabilir olması.



- İş güvenliği açısından abkantta lazerlerin olması ve gerekli durumlarda otomatik durabilmesi.
- Gerçekleşen bükümü hafızasına kaydederek saklayabilmesi.

CNC abkant büküm tezgahı başlıca kontrol ünitesi, üst kalıp, alt kalıp, makine tablası, hidrolik silindirler, elektrik panosu, ön destekler ve arka dayamalardan oluşmaktadır. CNC abkant büküm tezgahı kontrol ünitesi, bilgisayarın olduğu ve programlama işlemlerinin yapıldığı bölümdür. Kontrol üniteleri tuşlu veya dokunmatik ekran şeklinde kontrol edilmektedir. Büküm için gerekli parametrelerin girildiği, yapılacak bükümün sayısal hesaplamalarının yapıldığı, kalıpların tanıtıldığı, yapılacak bükümün ön izlemesinin gerçekleştiği ve yapılmış bükümün kaydının tutulduğu bölümdür. Üst ve alt kalıplar; tezgahın alt ve üst çenelerine bağlanan, tasarıma göre geometrik çeşitlilikleri bulunan, bükülecek saca şekil veren, tezgaha monte ve demonte edilebilen ekipmanlardır. Makine tablası ise alt kalıba gelen basıncı taşıyan en alt taşıyıcı iskelettir. Bu tabla için en önemli kriter yüksek mukavemet isteğidir. Bu yüzden genellikle çelik döküm ile imal edilmektedirler. Hidrolik silindirler; hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren, büküm için gerekli tonajı sağlayan makine elemanlarıdır. CNC abkant tezgahında yukarıda bahsedildiği gibi küçük bir elektrik panosu bulunmaktadır. Bu panodan makinenin bütün elektrik aksamı kontrol edilmektedir. Arka dayamalar iki adet olup, kontrol ünitesine girilen, sacın büküm uzunluğu, alt ve üst kalıp parametrelerine göre otomatik konumlanan, tezgahın iç bölümünde yer alan makine elemanlarıdır. Doğru ve hassas büküm gerçekleştirebilmek için, sac tabakası doğru pozisyonda bu dayamalara temas ettirilerek büküm yapılır. Arka dayamalara temas ettirilen sacı daha kolay tutmak ve doğru şekilde temas ettirmek içinde makinenin dış bölümünde iki adet ön destek elemanları bulunmaktadır. Ön destek elemanları, büküm genişliği boyunca lineer olarak hareket edebilmektedir. Bu hareket, makinenin müsade edebildiği büküm genişliği sınırları içinde gerçekleşmektedir. Bu büküm genişliği bir abkant büküm işlemi görecektir sacın tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri olmaktadır. Bir CNC abkant büküm tezgahının şekli ve oluştuğu parçalar Şekil 3.17 üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Abkant parçalarının gösterimi

### 3.4.1. CNC Abkant Tezgahının Çalışma Prensibi

CNC abkant tezgahları; lazer, plazma veya kesme kalıpları ile kesilmiş sacın şekillendirilmesine olanak sağlayan tezgahlardır. Bu şekillendirme işlemi sacın düz halde CNC abkant tezgahına gelmesiyle başlar. Tezgaha gelen düz sacın malzemesine, kalınlığına ve boyutlarına göre abkant seçimi yapılır. Belirtilen bu değerlere göre abkant preslerin boyutları ve tonajları değişmektedir. Doğru bir CNC abkant tercihiyle beraber bükme işlemi abkant tezgahına entegre bilgisayar yazılımlarına değerlerin girilmesiyle başlar. Bilgisayara entegre yazılımların başında sanayide sıklıkla kullanılan

CYCBELEC makrosu gelmektedir. Bu makro haricinde geliştirilen birçok makro olmakla birlikte çalışma sistemleri aynıdır. CYCBELEC makrosu; yapılacak bükümün değişken faktörlerinin girildiği, alt ve üst kalıplara göre kütüphanesi olan, yapılacak veya yapılmış bükümleri hafızasında kaydeden, yapılacak bükümlerin ön izlemesini sunan, bükümün değişken faktörlerine göre gerekli matematiksel verileri hesaplayabilen abkanta entegre bir makrodur. Bu makro ile bükümlerin tekrar sayısı belirlenerek aynı bükümü defalarca yapılmasına olanak sağlanır. Bu da aynı kalitede birçok bükümlü parçanın imalatına olanak sağlar. Büküm için değişken faktörler; büküm uzunluğu, büküm genişliği, büküm açısı, sac kalınlığı, malzeme, büküm iç yarıçapı ve büküm sayısı olarak bilinmektedir.

Sacın açınım yani düz haline göre abkant seçimi yapıldıktan sonra, büküm işlemi için CYCBELEC ile bükümün bilgisayar ortamında programlanması gerekmektedir. CYCBELEC makrosu Şekil 3.18 üzerinde gösterildiği gibi bir arayüze sahiptir. Bu arayüze büküm parametrelerini girilmesi beklenir.

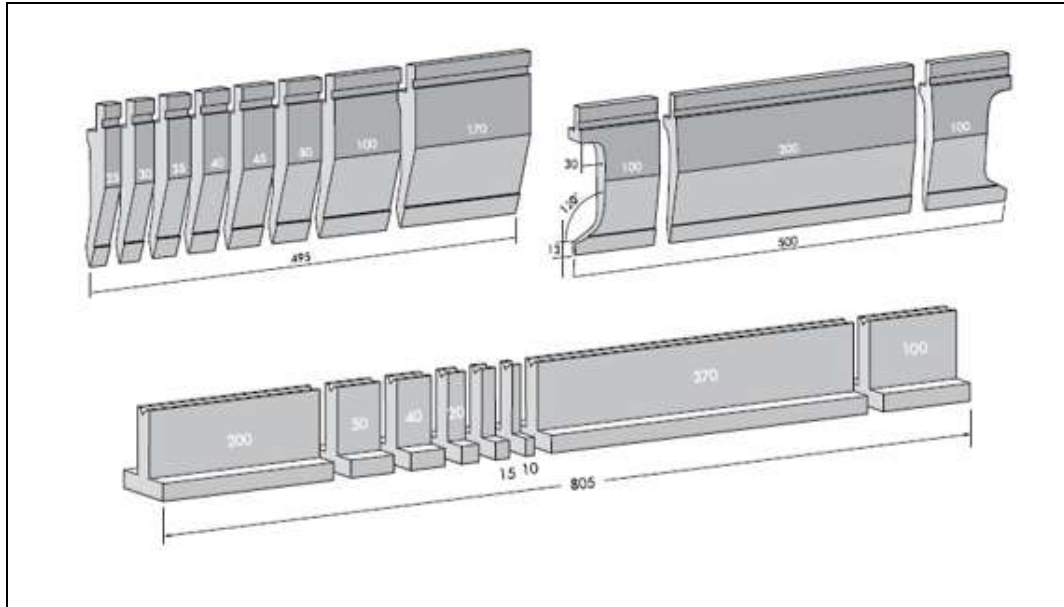
FARÇA	1	SIGMA	25.00 Kg/mm <sup>2</sup>	ÇELİK	IST.MIK	YAP.
KALINLIK	1.00	BÜKÜM	1 / 1	Tek Dis	Ri	3.06
BİÇAK	C86157-1	KALIP	20-86-55			NORMAL BÜKME
AÇI	90.0°					
Y1	204.351					+ 0.000
Y2	204.351					+ 0.000
X1	ABS + 20.00					+ 0.00
X2	+ 20.00					+ 0.00
R1	+ 50.50					+ 0.00
R2	+ 50.50					+ 0.00
Z1	+ 1350.0					+ 0.0
Z2	+ 2150.0					+ 0.0
DAYAMA	support					support
ÜÖN	50.00					+ 0.00
DAYAMA ÇEKİLMESİ	+ .					BOMBELEME + 3
BÜKME GENİSLİĞİ	1000.0					BÜKME KUVVETİ 2.0 Ton
HDN						BEKLEME SÜRESİ sn
EKSEN BASLA/YS	OTOM.					BÜKME HIZI ↓ ↑
						DÜŞÜK HIZ MESAFESİ ↑ ↓

Şekil 3.18. CYCBELEC arayüzü

Büküm operasyonunun programlanması, büküm parçasına bir numara verilerek başlar. Bu numara ile CYCBELEC makrosu bükümü kendi hafızasına kaydetmiş olur. Kaydedilen büküm parça numarasına büküm parametreleri girilmelidir. Öncelikle malzeme özelliği girilmelidir. Bu malzeme özellikleri, malzeme tipi ve malzeme kalınlığıdır. Yukarıdaki şekilde işaretlendiği gibi malzememiz çelik ise çelik seçilmelidir. Makronun kendi hafızasında paslanmaz sac ve alüminyum sac malzemeleri de tanımlıdır. Malzeme tipi belirlendikten sonra bükülecek olan sacın kalınlığı girilmelidir. Sac malzeme tipi ve sac kalınlığına göre makroya bir sigma değeri girilmelidir. Bu sigma değeri, mm<sup>2</sup> olan alana ne kadar kütle düşeceğini belirten değerdir. Bu değer manuel olarak operatör tarafından girilmesi gereken değerdir. Sigma değerleri için geliştirilmiş tablolar mevcuttur ve sac kalınlığına, malzemeye, iç yarıçapa, alt kalıba göre ilgili tablolardan bakılarak sigma değerleri belirlenir.

CYCBELEC makrosuna malzeme değerleri girildikten sonra büküm değerleri makroya tanımlanarak, yapılacak büküm veya bükümlere göre abkant tezgahında bulunan arka dayamaların konumlanması sağlanır. Büküm işlemi açınım halde gelen sacın, arka dayamaya temas ettirilerek büküm uzunluğunun doğru olmasını sağlar. Arka dayama makroda girilen değerlere göre olması gereken pozisyonlara gider ve sacın temasıyla beraber büküm işleminin gerçekleşmesine olanak sağlar. Arka dayama, X1 olarak isimlendirilen büküm uzunluk verisine göre konumlanır. Büküm açısı ise tasarlanan sacın ne kadar açıyla büküleceğinin girildiği değerdir. Düz halde gelen sacın büküm açısı ve büküm uzunluğu girildikten sonra büküm genişliğinin de girilmesi gerekmektedir. Sanayide kullanılan büküm genişlikleri genel olarak 3000 mm uzunluğunun altındadır. Büküm genişliği, büküm tonajı ve doğru büküm için çok önemlidir. CNC abkant tezgahının sağında ve solunda bulunan hidrolik silindirler sayesinde eğme gerilmelerine maruz kalan sac şekillenir. Aynı zamanda bükümün en sağ ve en solu arasında aynı açı değeri olması beklenir. Bunun için sac makinenin tam ortasına merkezlenerek ve bükme genişliği girilerek doğru şekilde büküm işlemi gerçekleşir. Eğer sac tam ortalanarak bükme işlemi yapılmazsa, hidrolik silindirler basıncı, bükme genişliğine göre ayarladığından bükümün sağ ve solu arasında açı farkı meydana gelir. Bunun için sac malzeme tezgaha ortalanarak büküm işlemi yapılmalıdır.

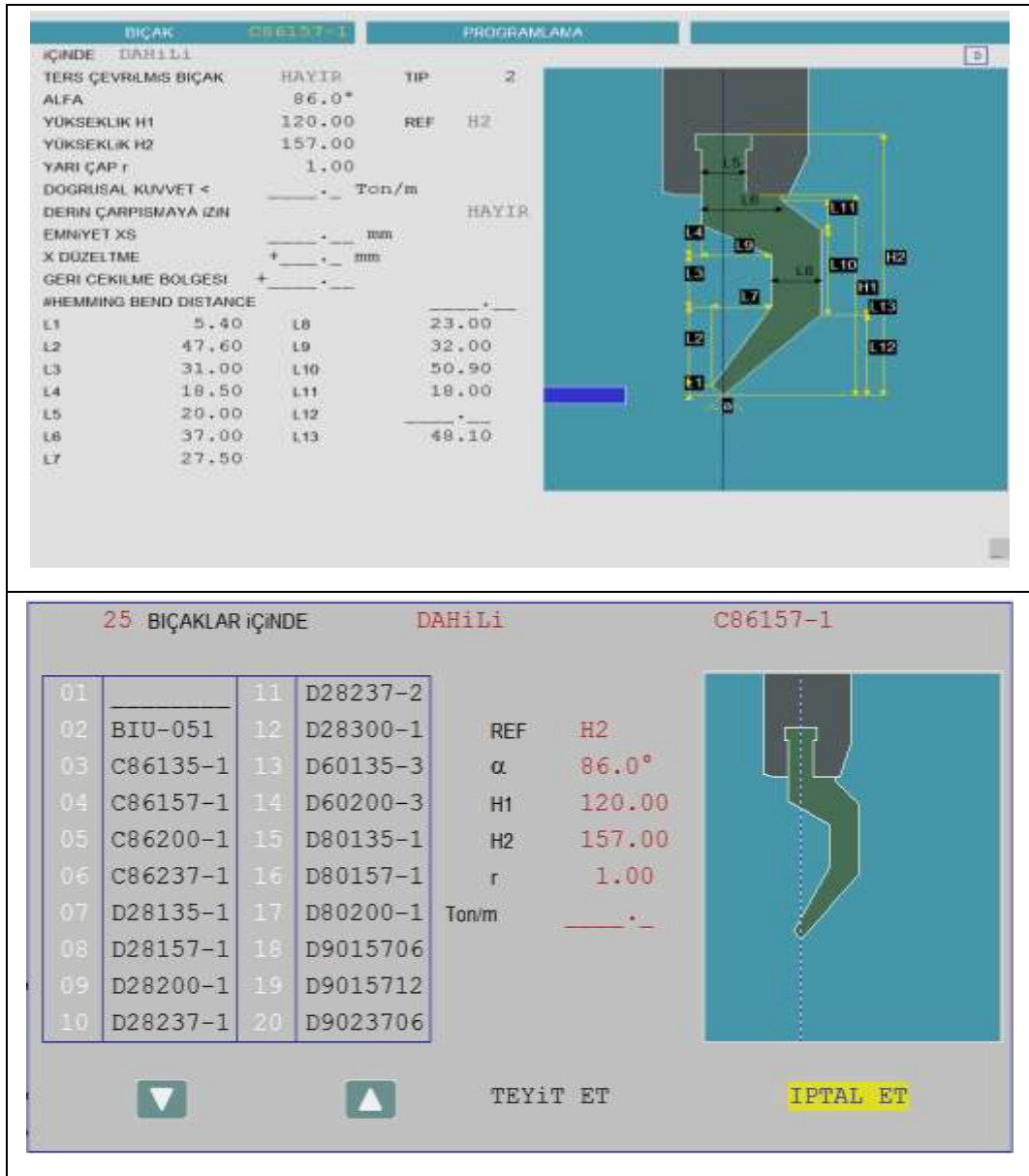
Alt ve üst kalıplar, sacın büküldüğü elemanlardır. Sanayide standart olarak bulunsalar da, isteğe bağlı olarak değişik şekillerde de imal edilebilirler. Aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdırlar. Kalıplar; sacı kaç derece bükebileceği, ne kadar yarıçapa sahip olduğu, emniyetli çalışma tonajına göre farklı geometrilerde tasarlanmışlardır. Sanayide parçaları veya bütün olarak bulunmaktadır. Parçalı bulunmasının sebebi, büküm genişliğinin değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Bir tasarımcı, abkant büküm ile imalatı gerçekleştirilecek bir tasarım yaptığında elinde bulunan kalıpların uzunluklarına ve tonajlarına dikkat ederek tasarımını gerçekleştirmelidir. Alt ve üst kalıpların parçalı uzunlukları aşağıdaki Şekil 3.19 üzerinde gösterilmektedir.



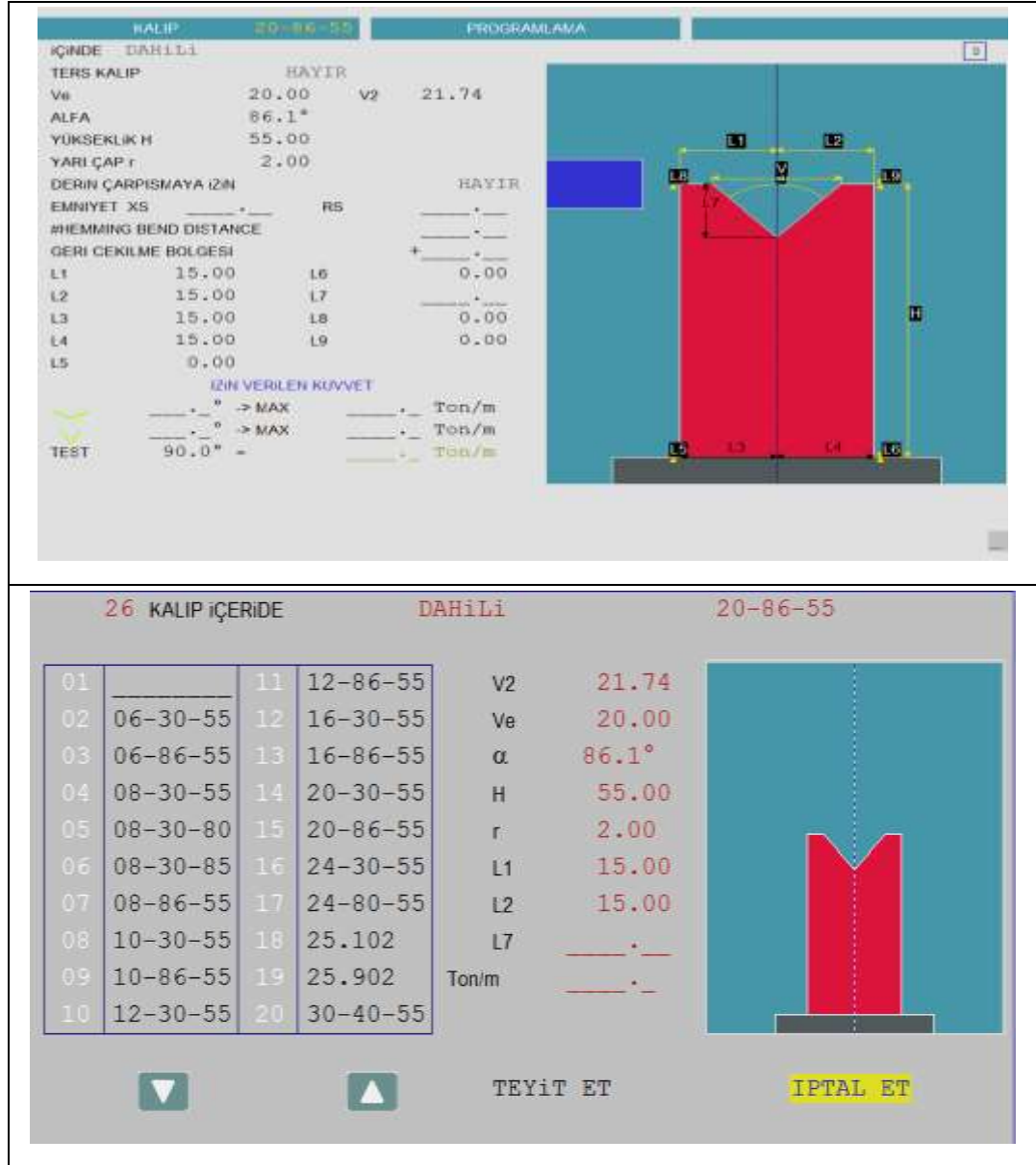
**Şekil 3.19.** Abkant alt ve üst kalıpların gösterimi

Büküm işlemini gerçekleştirebilmek için alt ve üst kalıpların yapılacak büküm programına tanımlanması gerekmektedir. Alt ve üst kalıpların tanımlanması Şekil 3.20 ve Şekil 3.21 üzerinde gösterildiği gibi kütüphaneden belirlenmelidir. Üst kalıp bıçak, alt kalıp ise kalıp olarak isimlendirilmiştir. Aşağıda buluna şekillerde CYCBELEC makrosunun kalıp kütüphanesinde tanımlı alt ve üst kalıplar gösterilmiştir. Bu kalıplar sanayide sıklıkla kullanılan kalıplardır. Fakat özel bir kalıp ile büküm

gerçekleştirilecekse bu kalıplar da, kalıpların bulunduğu kütüphaneye tanımlanabilir. Özel alt ve üst kalıpların tanımlanması için CYCBELEC makrosuna kalıpların geometrisini oluşturacak ölçülerin ve emniyetli çalışma tonajının girilmesi gerekmektedir. Alt ve üst kalıplarda CYCBELEC makrosuna tanımlandıktan sonra seçilen alt ve üst kalıplar CNC abkant büküm tezgahına monte edilir ve büküm işlemine başlanabilir.



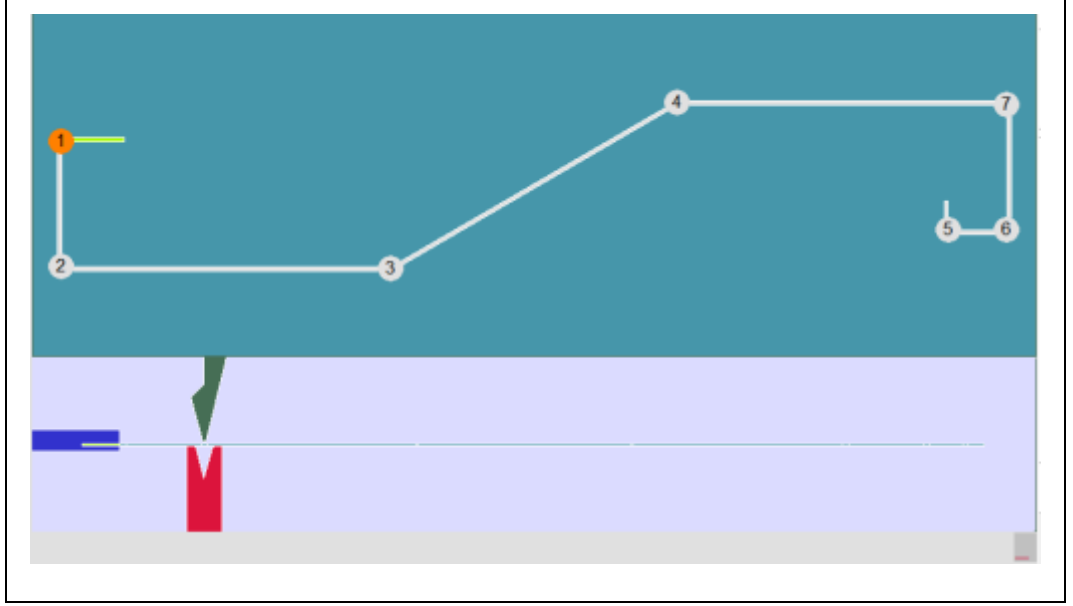
Şekil 3.20. CYCBELEC üst kalıp tanımlama arayüzü ve kütüphanesi



Şekil 3.21. CYCBELEC alt kalıp tanımlama arayüzü ve kütüphanesi

Büküm parametreleri CYCBELEC makrosuna tanımlandıktan sonra arka dayama pozisyonuna göre sac malzeme konumlandırılır. Konumlanan iş parçası büküme hazırdır ve bükümün gerçekleşmesi için büküm işlemine başlanabilir. Büküm işleminde üst kalıplar yukarıdan aşağıya doğru hareket ederken alt kalıplar abkant tezgahına yataklanarak sabitlenir ve hareketsiz kalır. Büküm işleminin ön izlemesi CYCBELEC makrosundan gözlemlenebilir. Bu şekilde nihai bükümün nasıl olacağını operatör

gözlemlemiş olur ve operatör hatası bu makro ile minimize edilir. Aşağıda bulunan Şekil 3.22 üzerinde örnek bir büküm ön izlemesi görülmektedir. Bu ön izleme ile büküm sırasını ve son büküm şekli gözlemlenmektedir.



**Şekil 3.22.** CYCBELEC büküm ön izlemesi

CNC abkant tezgahına entegre CYCBELEC makrosu ile gerçekleştirilen büküm işlemi, düşük toleranslarda ve hızlı şekilde gerçekleştirilir. Aynı şekilde makronun hafıza özelliği sayesinde bükümlerin tekrarlanabilirliğine olanak sağlamaktadır. Bu şekilde yüksek teknolojiye sahip CNC abkant tezgahlar, bakım maliyeti düşük ve iş güvenliği açısından daha güvenilir makinelerdir. Bu makinelere entegre lazerler bulunup, büküm esnasında operatörün büküm kabini içinde olması veya kalıplar arasında operatörün elinin bulunması halinde, bükme operasyonu durarak iş güvenliğini arttırmaktadır. Bu özellik sayesinde üretim esnasında gerçekleşebilecek olan iş kazasının önüne geçilmiş olur. Günümüzde abkant büküm işlemi ile üretimine devam eden firmalar, CNC abkant tezgahlarına entegre lazerleri oldukça tercih etmekte ve iş kazalarını minimize etmektedirler.



CNC abkant tezgâhlarında gerçekleştirilecek büküm işlemi için değişken faktörler, kalıplar ve makine özellikleri başlıca rol oynamaktadır. Bunların yanında büküm işlemi ile imal edilecek şekilde tasarlanan parça için iki önemli kriter daha vardır. Bu kriterler doğru bir büküm işlemi için tasarım esnasında belirlenen k faktörü ve plastik deformasyon sonucu malzemede oluşan gerilmelerden kaynaklı oluşan geri yaylanmadır. Bu kriterler aşağıda başlıklar halinde detaylı olarak incelenecektir.

### 3.4.2. Geri Yaylanma

Büküm işlemi aşağıdaki Şekil 3.23 üzerinde gösterildiği gibi üst kalıbın alt kalıba doğru ilerleyerek aralarında bulunan sac malzemeye belli oranda kuvvet uygulamasıyla gerçekleşir. Büküm işlemi gerçekleştikten sonra kuvvet sac malzeme üzerinden kalkar ve sac malzemede düşük oranda olsa da esneme görülür. Bu esneme tasarlanan sac malzeme ölçülerinde değişmelere neden olur ve bu duruma sac malzemeler için geri yaylanma denir. Bu sac malzemenin şekillendirilmesinde istenmeyen bir durumdur.



Şekil 3.23. Abkant büküm işlemi

Abkant büküm ile üretilecek bir ürün tasarlanırken geri esneme dikkat edilmesi gereken bir konudur. Geri esnemeyi telafi etmek için bazı zamanlar tekrar kalıp hazırlanmaktadır. Bu da fazla zaman ve maliyet anlamına gelmektedir. Çok hassas üretim istemeyen parçaların imalatında gerekli açı yakalanmadığında aynı büküm, büküm açısı azaltılarak veya abkant tezgâhının yapacağı basınç manuel olarak artırılarak telafi edilebilmektedir.

Geri esneme; sac malzemenin mekanik özelliklerine, sac malzemenin içyapısına, sac malzemenin kalınlığına, kalıp açıklığına ve bükme işlemi sırasında sac malzemenin kalıplar arasında ne kadar süre kaldığına göre değişmektedir. Bu süre gerçekleşen büküm hızı olarak da bilinmektedir.

Geri esneme, bükme işlemi sırasında malzemenin içinde oluşan artık gerilmelerden kaynaklanmaktadır. Sac malzemenin kalınlık ve büküm açısı artışı, geri esnemeyi arttırmaktadır. Aynı şekilde malzemenin mekanik özelliklerinden olan akma dayanımı artışı ve malzemenin pekleşmedeki artışı da geri esnemeyi arttırmaktadır. Bükme radüsü yani iç yarıçapın azalmasıyla ve üst kalıbın bekleme süresinin artmasıyla da sac malzemede oluşabilecek olan geri esneme miktarı azalır.

### **3.4.3. K Faktörü**

Sac parça tasarımlarında açınım ölçülerinin imalatta doğru sonuç verebilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. K faktörü, bu yöntemler arasında en doğru sonuçları vermektedir. K Faktörü ile bükümlere sahip bir sacın açınım boyunun, tasarım ve imalat arasındaki ölçülerinin eşleşmesi sağlanabilmektedir. Tanım olarak bakılacak olursa tarafsız eksenin yani nötr eksenin sac kalınlığına bölünmesiyle oluşan orandır. K faktörü malzemenin geri yaylanma katsayısı olarak da bilinmektedir. Tüm mühendislik malzemeleri için k faktörü 0,27-0,5 arasında yer aldığı kabul görmektedir. K faktörünü belirleyen en önemli etken de sac malzemenin büküm iç yarıçap değeridir.

Alüminyum sac malzemelerin k faktörü değerleri, yumuşak ve orta sert alüminyum malzeme olarak değerlendirilir. Yumuşak alüminyum saclarda k faktörü değeri, iç yarıçap sac kalınlığından küçük veya eşitse 0,42 değerine karşılık gelir. İç yarıçap sac kalınlığından üç kata kadar büyükse 0,46 değerine karşılık gelirken, sac kalınlığının üç katından büyük bir iç yarıçapa sahip bir tasarım gerçekleştirildi ise bu değer 0,5 kadardır. Orta sert alüminyum saclarda k faktörü değeri, iç yarıçap sac kalınlığından küçük veya eşitse 0,44 değerine karşılık gelir. İç yarıçap sac kalınlığından üç kata kadar büyükse 0,47 değerine karşılık gelirken, sac kalınlığının üç katından büyük bir iç yarıçapa sahip bir tasarım gerçekleştirildi ise bu değer 0,5 kadardır.

Çelik saclarda k faktörü değeri, iç yarıçap sac kalınlığından küçük veya eşitse 0,40 değerine karşılık gelir. İç yarıçap sac kalınlığından üç katı kadar büyükse 0,45 değerine karşılık gelirken, sac kalınlığının üç katından büyük bir iç yarıçapa sahip bir tasarım gerçekleştirildi ise bu değer 0,5 kadardır.

K faktörünün değeri 0,5'den büyük olamaz. Bunun sebebi, plastik şekil değişimi için sac malzemeye büküm işlemi ile basma gerilmesine maruz bırakmaktır. Bu şekillendirmede asıl olan gerilmeler sacın iç yüzeyinde yani iç yarıçapın bulunduğu bölümde oluşan basma gerilmeleridir. Sacın dış bölümünde yani dış yarıçapın bulunduğu bölümde oluşan çekme gerilmeleri asıl gerilme değildir. Çekme gerilmeleri malzemenin iç yüzeyinde oluşan basma gerilmelerine tepki olarak oluşan gerilmelerdir. Böylece basma gerilmeleri her zaman çekme gerilmelerinden büyük veya eşit olur. Böylece sac malzemedeki belirtilen tarafsız eksen basma gerilmelerine doğru yaklaşmak ister ve k faktörü 0,5 değerinden daha düşük olmasına olanak sağlar.

### **3.5. Titreşim**

Titreşimi anlayabilmek için öncelikle bazı kavramların tanımı gerekmektedir. Bu kavramlar; titreşim, doğal frekans, kritik hız ve rezonans kavramlarıdır.

Titreşim, yapının denge konumunda yapmış olduğu salınım hareketidir. Makinalardaki tanımı, mekanik aksamalarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak yapılabilir. Doğal frekans, cismin esnekliğine ve kütesine bağlı olarak yüksek genlikle ve sürekli titreşeceği frekans değeridir. Yani cisim o frekansta uyarılıp uyarı kesildikten sonra titreşmeye devam eder. Yüksek genliklerde titreşmesini uyarının şiddeti değil, sistemin sönümlenmesi sağlar. Doğal frekansın birimi Hertz olup Hz olarak gösterilmektedir. Kritik hız, giriş gibi davranan dönen mil ve yataklanmasına bağlı olarak değişen doğal frekansıyla çakışan mil devrine kritik hız denir. Kritik hız değerinde uzun süre çalışılmamalı, bu dönme devrini hemen geçmesi gerekir. Rezonans, bir milin kritik hızda döndürülmesi veya doğal frekansıyla çakışan bir frekans değerinde uyarılmasıyla cismin aşırı şekilde titreşmesidir. Bu durumda cismin atalet kuvveti ile esnekliğinden kaynaklanan yay kuvveti birbirini götürür. Cisme sadece sönümlenme kuvveti etki eder. Cismin hangi genlikle titreşeceğini sönümlenme katsayısı belirler. Denklem formülü [(3.1)] şu şekilde düzenlenir;

$$M \frac{d^2}{dt^2} X + C \frac{d}{dt} X + KX = 0 \quad (3.1)$$

Birinci terim atalet kuvvetini, ikinci terim sönümlenme kuvvetini, üçüncü terim yay kuvvetini gösterir. Birinci ve üçüncü terim birbirini götürür. Sadece sönümlenme kuvveti kalır. X genliği  $X = x \cdot \sin(\omega t)$  ile ifade edilir, sönümlenmeyi arttırarak titreşim genliği azaltılabilir.

Cisimler bir hasara maruz kaldığında , hasara yönelik en uygun uyarıyı titreşim şeklinde verirler. Farklı noktalardan alınan titreşim sinyalleri bir dalga oluşturur. 1882'de Baron Jean Baptiste Fourier dalga formlarının sinüs eğrisi şeklinde olduğunu ispatlamıştır. Titreşim analizi yaparken frekans ve genlik bileşenleri dikkate alınır. Hasarın ve hatanın tipi, cismin titreştiği frekans değeri ile belirlenir. Hatanın ya da arızanın şiddeti, titreşim genliği ile belirlenir.

### 3.5.1. Doğal Frekansın Bulunması

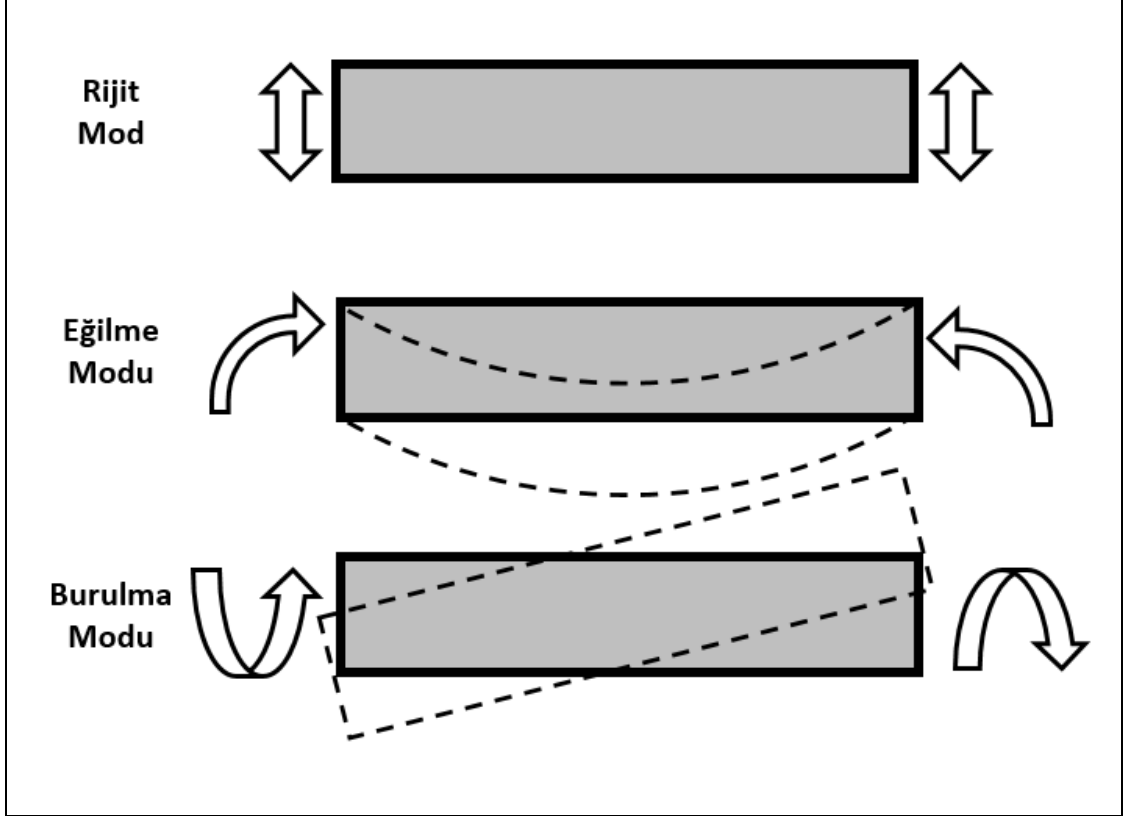
Yapıya uygulanan periyodik bir kuvvetin frekanslarından biri doğal frekans değerinde ise yapı uyarılmış olup titreşir. Uyarıcı frekans ile doğal frekans değeri çakıştığı anda rezonans durumu gerçekleşir. Doğal frekansın bulunması için iki adet yöntem kullanılır. Bu yöntemler, deneysel olarak yapılan “Darbe Testi İle Doğal Frekans Bulma” ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan “Modal Analiz İle Doğal Frekans Bulma” yöntemleridir.

Bir sistemin doğal frekansını bulmak için sisteme darbe vurup hangi frekansta titreştiğine bakılır. Bu yöntem darbe testi denir. İncelediğimiz yapının istenilen hareketi verdiği bir frekans değerinde darbe uygulanmalıdır. Uygulanan darbenin hafif ve künt olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde yüksek frekanslarda gerçekleşen titreşimlerde doğru sonuç alınamaz. Ölçüm yapılmadan önce bir tarafa kuvvet ölçen sensör, diğer tarafa belli yay katsayısında uç takılır. Sat uç ile yüksek frekans değerleri, yumuşak uç ile düşük frekans değerleri elde edilir.

Darbe testi yöntemi iki şekilde gerçekleşir. Bu yöntemlerden biri, titreşim sensörü bir noktada sabit tutularak cisim üzerinde belirlenen noktalara çekiçle vurulur. Farklı yerlerde oluşan titreşimlerin sensörün bulunduğu noktaya etkisi ölçülmüş olur. Diğer, bir nokta belirlenir ve çekiçle hep aynı noktaya vurulurken titreşim sensörü gezdirilip ölçüm yapılır. İki durumda da aynı sonuçlar elde edilir. FEA (Sonlu Elemanlar Analiz) yöntemi ile hesaplar doğrulanıp kesin sonuç alınabilir. Sonlu elemanlar metodu için sektörde yaygın olarak paket programlar kullanılmaktadır. ANSYS programı bu programlardan biridir. Bu paket programda doğal frekanslar “Modal Analiz İle Doğal Frekans Bulma” sekmesi altında yapılır.

Bir yapı rijit mod, eğilme modu ve burulma modu olmak üzere 3 şekilde titreşir. Bunlar rijit mod, eğilme modu ve burulma modu olarak isimlendirilirler. Rijit mod, tasarım

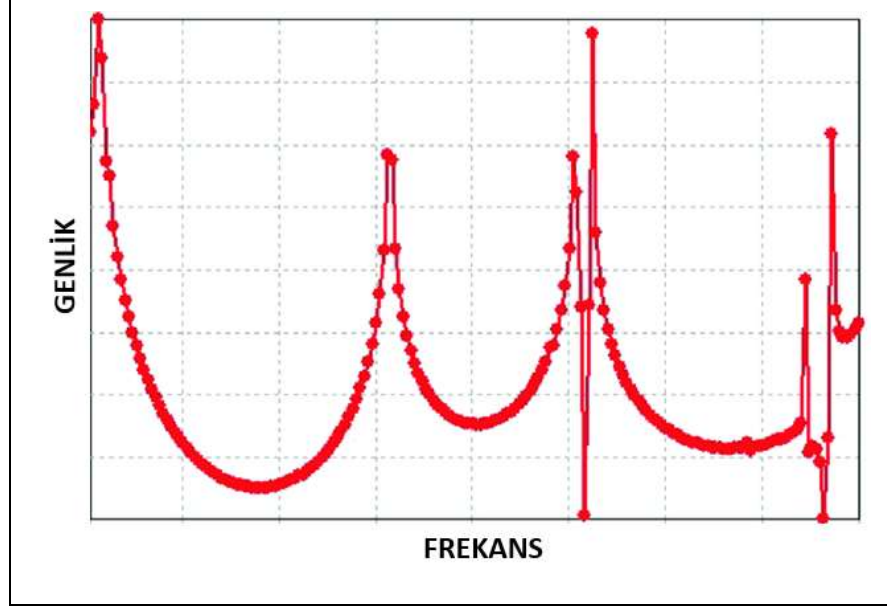
belirli eksen etrafında aşağı yukarı hareket eder. Eğilme ya da esneme modu, tasarım dik bir eksen etrafında esneme hareketi gerçekleştirir. Burulma modu ise tasarım mod şeklinden de anlaşılacağı üzere burulma hareketi yapar. Bu üç mod şekli, tasarım parçasının belirli frekanslarda sergilediği davranışları gösteren mod şekilleridir. Bir iş parçasının mod şekillerine göre davranışı Şekil 3.24 üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.24.** İş parçasının mod şekillerine göre davranışı

Darbe testi veya modal analiz ile yapılan doğal frekansı bulma çalışmalarında sistem çıktılarını yorumlamak için grafiklere bakılır. Doğal frekansın tespiti için yapılan çalışma sonrasında temel olarak karşımıza iki grafik çıkar. Bu grafiklere, frekans cevap fonksiyonu grafiği (FRF) ve Coherance grafiği adı verilir. Bu grafikler birbirleriyle bağımlı grafiklerdir.

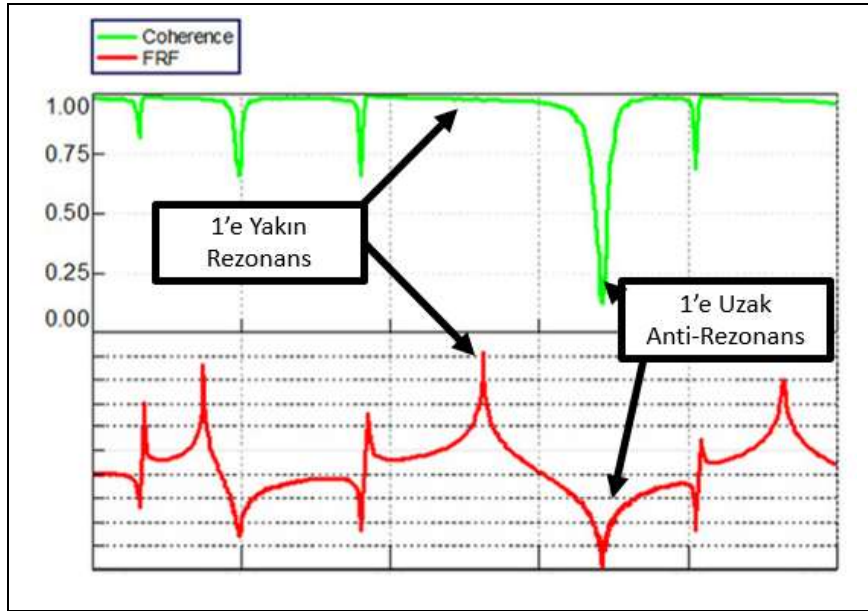
FRF grafiği, frekans tabanlı ölçüm fonksiyonunun grafiğidir. Fiziksel bir yapının rezonans frekansını, sönümünü ve mod şeklini tanımlamak için kullanılır. Bazı durumlarda giriş ve çıkış arasındaki “transfer fonksiyonu” olarak da ifade edilir. Lineer zaman içinde değişmeyen sistemin giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi frekans alanına dönüştürür. Örnek bir FRF grafiği Şekil 3.25 üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Örnek FRF grafiği

Şekil 3.25 üzerinde görüldüğü gibi genliğin sahip olduğu pikler test yapılan parçanın doğal frekanslarına veya rezonans frekanslarına karşılık gelir. Rezonans frekansında faz değişimi olur. FRF ölçümünde incelenen durumlar; rezonanslar, mod şekilleri ve sönümdür. Rezonanslar için oluşan pik şekilleri test yapılan yapının doğal frekanslarının varlığını belirtir. Yapı üzerinden genel bir referensla elde edilen birden çok FRF’in genliği ve fazı mod şeklini belirlemek için kullanılır. Sönüm ise oluşan piklerin genişliği ile orantılı olup daha geniş pike sahip olan, daha ağır sönümlüdür denilmektedir. Bu üç kavram ile malzemenin rezonans durumunu belirlememize yardımcı olan kavramlardır.

Coherence grafiği, FRF'de çıkışın ne kadarının girişden dolayı olduğunu belirten frekans alanında bir fonksiyondur. FRF'in kalitesinin bir göstergesi olabilir. Aynı lm tekrarlanarak, lmnden elde edilen FRF'in tutarlılığı değerlendirilir. Coherence fonksiyonun değer aralığı 0 ile 1 arasındadır. Belirli bir frekanstaki 1 değer, FRF genliği ve fazının lmnden lme oldukça tekrarlanabilir olduğunu belirtir. 0 değer tam tersi durumu belirtir. lmler tekrarlanabilir değildir, muhtemelen test kurulumunda bir hata olduğuna dair uyarı alınır. Şekil 3.26 zerinde FRF grafiği ve Coherence grafiği karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



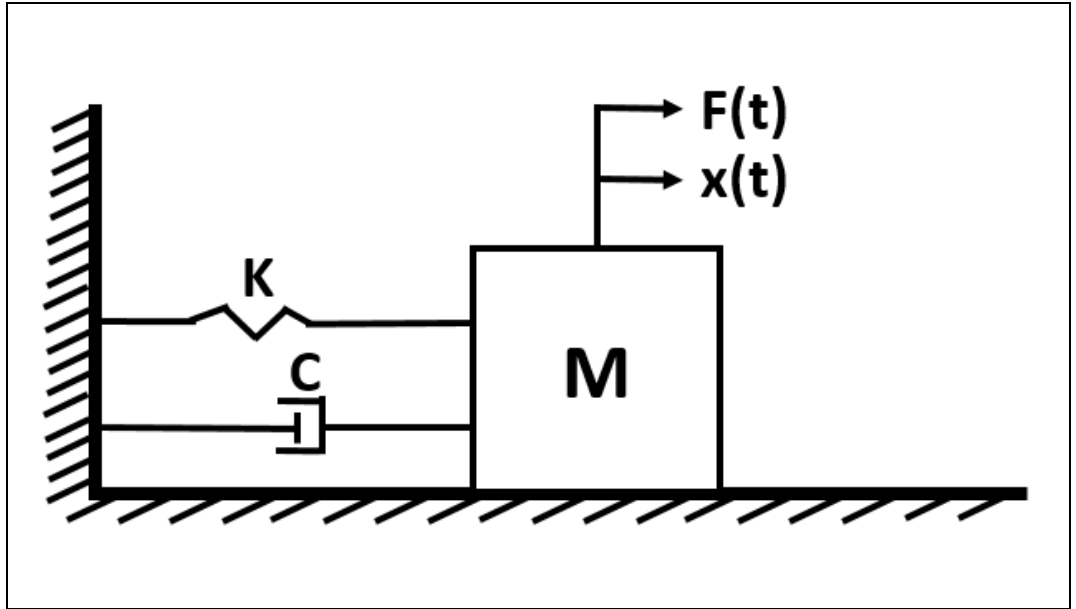
Şekil 3.26. FRF ve Coherence grafiğinin karşılaştırılması

FRF'in genliği çok yüksek olduğunda, örnek olarak rezonans frekansında coherence 1'e yakın bir değere sahip olacaktır. FRF'in genliği çok düşük olduğunda ise örnek olarak anti-rezonans frekansında coherence 0'a yakın bir değere sahip olacaktır. Sinyal seviyesinin çok düşük olmasından dolayı FRF'in tekrarlanabilirliği enstrümantasyonun gürültü seviyesi tarafından tutarsız hale gelir. Bu durum kabul edilebilir ve normaldir. Coherence, rezonans frekansında 0'a 1'den daha yakın olduğunda veya tüm frekans aralığını boydan boya geçtiğinde, bu durum ölümle ilgili bir sorun olduğunu gösterir.



### 3.5.2. Temel Titreşim Denklemleri ve Frekans Yanıt Fonksiyonu

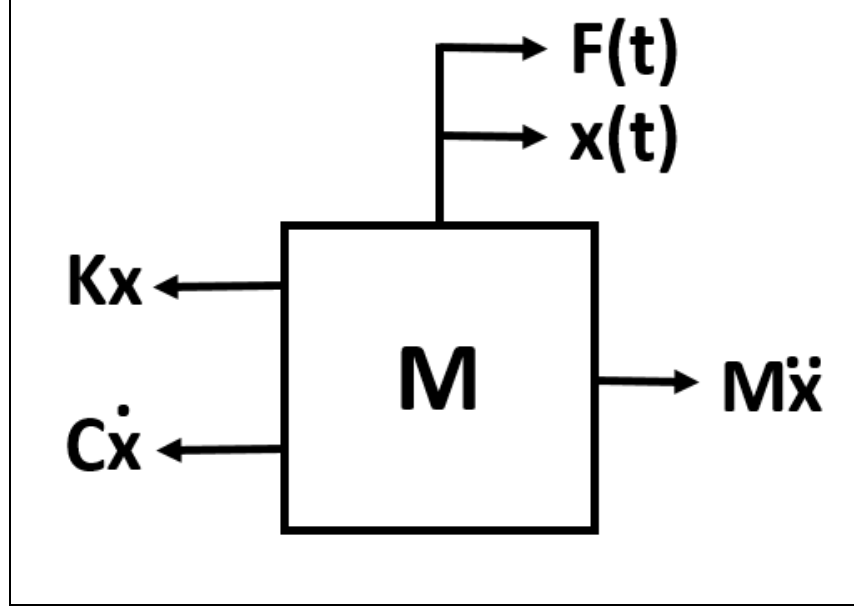
Sistemin dinamik dengesi kurularak sistem sayısal olarak incelenir. Basit kütle yay sistemi şeklinde sistem denklemleri çözülür. Şekil 3.27 üzerinde basit kütle ve yay sistemi gösterimi mevcuttur. Bu denklemi çözmek için öncelikle kütle yay modellemesi yapmak gerekir. Sonrasında oluşturulan modelin serbest cisim diyagramını oluşturarak çözümlenmeler yapılmalıdır.



Şekil 3.27. Basit kütle ve yay sistemi

Serbest cisim diyagramı belli bir durumda bir cismin üzerine etkiyen kuvvet vektörlerini yani kuvvetlerin büyüklüklerini ve yönlerini göstermek için kullanılır. Serbest cisim diyagramı çizerken kullanılan okun uzunluğu kuvvetin büyüklüğünü, yönü de kuvvetin uygulandığı yönü gösterir. Her okun üzerine kuvvetin adı yazılır. Genellikle cisim bir kutu şeklinde gösterilir, her kuvvet kutunun merkezinden dışa doğru kuvvetin etki ettiği yönde çizilir. Cismin üzerindeki tüm kuvvetleri görebilmemiz için bu diyagramlar çok faydalıdır. Kaç tane kuvvet çizileceği ile ilgili bir sınır yoktur. Önemli olan cisme etkiyen tüm kuvvetleri göstermektir. Aynı yönde etkiyen birden fazla kuvvet varsa bu

kuvvetler uç uca eklenerek gösterilir. Şekil 3.27. üzerinde gösterilen basit kütle ve yay sisteminin serbest cisim diyagramı Şekil 3.28 üzerinde oluşturulmuştur.



Şekil 3.28. Basit kütle ve yay sistemi serbest cisim diyagramı

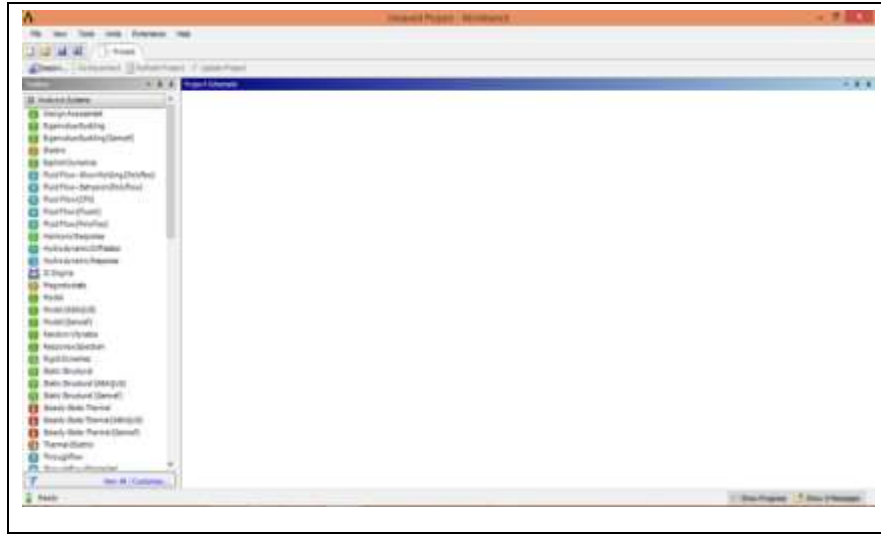
Cisme dışarıdan etkiyen kuvvetler, atalet kuvvetleri, dengede tutmaya çalışan direnç kuvvetleri ve genel kuvvet olmak üzere 4 kuvvet etki eder. Bu kuvvetler aşağıdaki formül [(3.2)] üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir. Aynı şekilde bu denklemden yararlanarak ve herhangi bir zorlamanın olmadığı sistemde doğal frekans bulunmak istendiğinde aşağıdaki [(3.3)] formülü kullanılmaktadır.

$$M \frac{d^2}{dt^2} X(t) + C \frac{d}{dt} X(t) + KX(t) = F(t) \quad (3.2)$$

$$w_n = \sqrt{K/M} \quad (3.3)$$

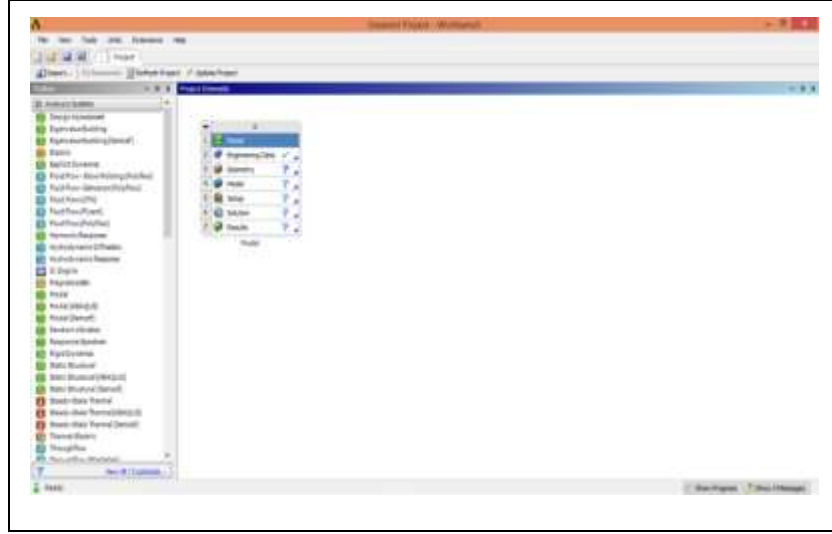
### 3.5.3. ANSYS 16.2 Programında Modal Analiz Uygulaması

ANSYS 16.2 programının başlatılması için Workbench alt programına tıklayınca karşımıza proje ekranı çıkar. Burada yapabileceğimiz analiz türleri bulunmaktadır. Elektriksel analiz, akışkan analizi, modal analiz, statik analiz, termal analiz gibi bir çok analiz çeşidi mevcuttur. Bu analiz çeşitlerini Şekil 3.29 üzerinde gösterilen ANSYS 16.2 programının arayüzü gösteriminden de görebilmekteyiz.



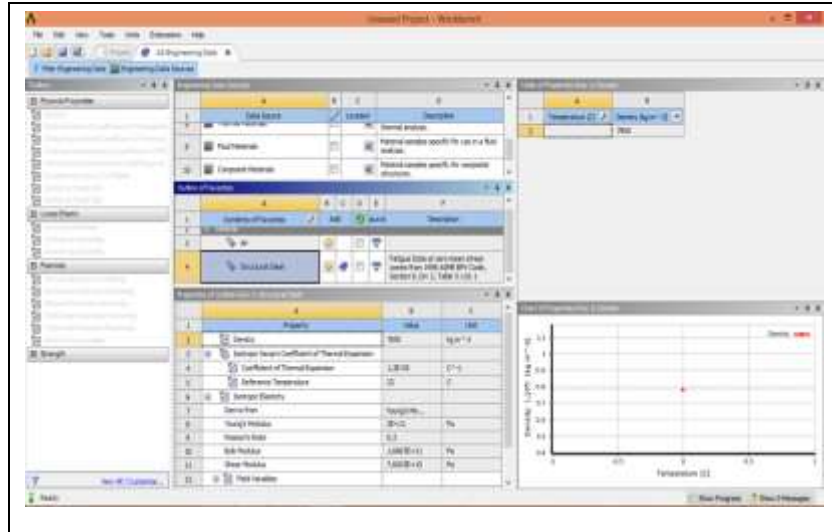
Şekil 3.29. ANSYS 16.2 arayüzü

Doğal frekans bulma analizi modal analiz ile yapıldığından modal analizi seçip proje ekranına sürüklenir. Analize başlamak için karşımıza gerekli adımlar çıkar. İzlenmesi gereken adımlar sırasıyla analiz tipinin belirlenmesi, malzemenin seçilmesi, modelin oluşturulması veya yüklenmesi, analiz şartlarının oluşturulması, analizin çözdürülmesi ve analiz çözümüne göre sonuçlara ulaşılmasıdır. Bu sıralama ANSYS paket programı ile yapılabilecek tüm analizler için geçerlidir. Bu adımlar Şekil 3.30 detaylı olarak gösterilmiştir. Biz çalışmamızda sonlu elemanlar metodu olarak kullandığımız modal analiz irdelenmiş ve sonlu elemanlar metodu için kullanılan modal analizin tüm basamakları incelenmiştir.



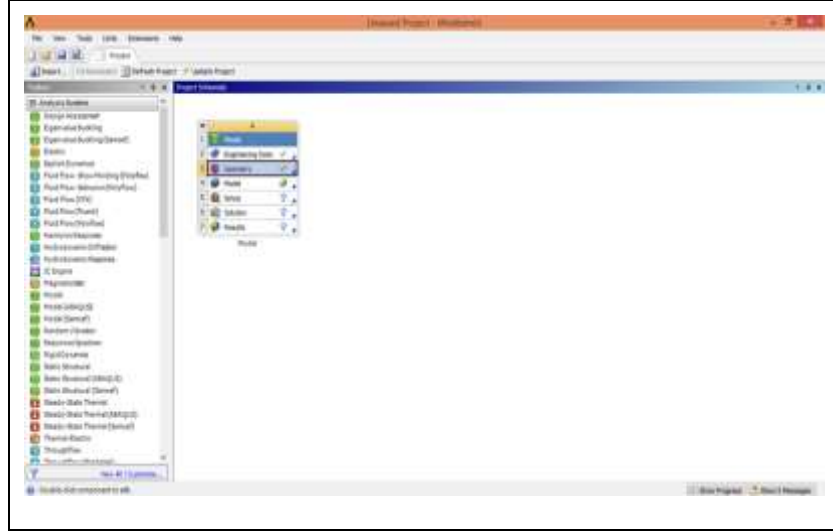
**Şekil 3.30.** ANSYS 16.2 modal analiz sekmesi

Engineering Data'nın üzerine çift tıkladığımızda karşımıza ANSYS'te tanımlı malzemeler çıkar. Bu malzemeler çelik, alüminyum, kompozit malzemeler, akışkanlar vb. birçok malzemeyi kütüphanesinde bulundurmaktadır. Engineering Data Sources sekmesinden istediğimiz malzemeyi kütüphanemize ekleyip analiz sırasında yapıya atayabiliriz. Şekil 3.31 üzerinde kütüphane görünümü mevcuttur.



**Şekil 3.31.** ANSYS 16.2 Engineering Data sekmesi

ANSYS ile uyumlu 3 boyutlu bir çizim programında örneğin Solidworks programında çizip modeli analize çağırabiliriz. Tanımlanan geometriyle modelin üzerinde çift tıklayarak analizimizin penceresini açabiliriz. Şekil 3.32 üzerinde model yüklemek için gerekli sekme gösterilmiştir.



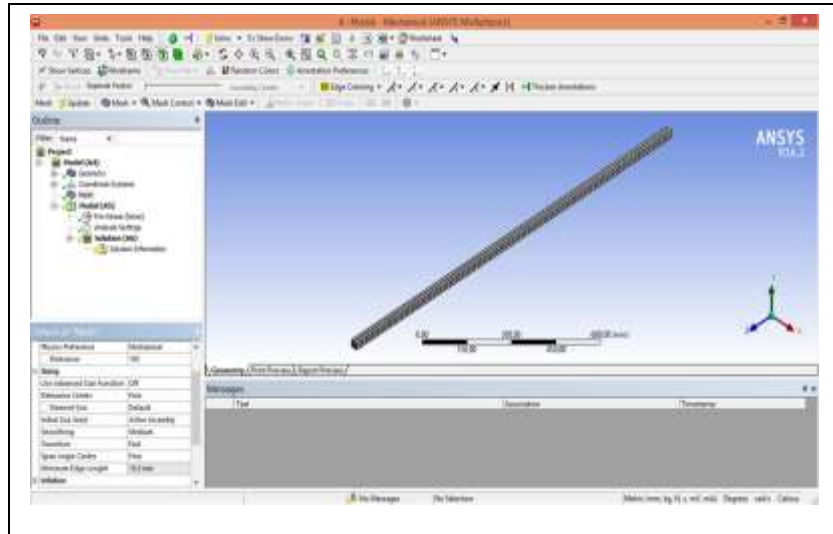
**Şekil 3.32.** ANSYS 16.2 geometri yükleme

Sonlu elemanlar yönteminde yapıyı küçük elemanlara bölerek incelemek için mesh yapısını kullanırız. Mesh yapısının küçük tutulması hassasiyeti artırırken analiz süresinin uzatıp küçük değerlerde çalışan analizlerde hataya sebep olabilir. Mesh boyutu, yumuşaklığı ve aralıkları ayarlanır. Mesh kontrolü, element quality komutundan yapılabilir.

Sonlu elemanlarda gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun element tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Kullanılan elementlerin büyüklüğü hesaplama alanı içindeki değişimleri yansıtacak kadar küçük olması istenir. Gereksiz çok sayıda eleman kullanılması da istenilmez. Bu durumda hem fazla hesaplama zamanı harcanır, hem de sayısal hesaplamalarda oluşabilecek bir hatanın

artmasına neden olacaktır. Gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler gibi sonucu daha fazla etkileyen kısımlarda element boyutları düşürülmelidir.

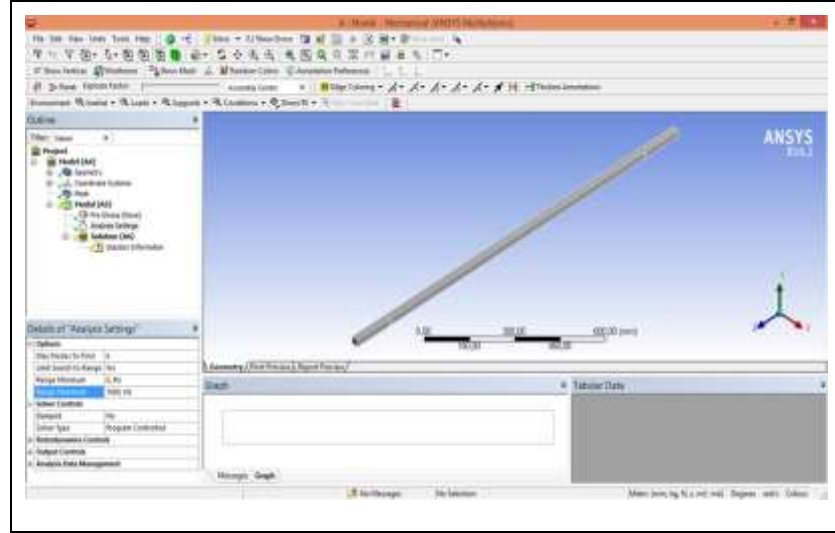
Geometrik şekil elementlerle örülürken şeklin karmaşık olması durumlarında yada uygun element ağının oluşturulamadığı durumlarda bazı bölgelerde elementler aşırı derecede şekil bozukluğuna uğrar. Bu gibi yerlerde elementlerin şekil bozukluğunun kabul edilebilir sınırlar içinde olmasına dikkat edilmelidir. Mesh yaparken (element ağı örülürken) kontrolü tamamen programa bırakmak bazen bu sonucu verebilir. Bu nedenle mesh yapmadan önce hangi kenarların ne kadar parçaya bölüneceği ya da o bölgelerde kullanılacak element boyutlarının ne olacağı gibi bazı kararları kullanıcının alması gerekir. Şekil 3.33 üzerinde mesh yapısına sahip kare kesitli kiriş örneği gösterimi mevcuttur.



**Şekil 3.33.** ANSYS 16.2 elemanlara ayırma işlemi

Mesh atma işleminden sonra analiz ayarlarının yapılması gerekmektedir. Bu bölümde maximum kaç frekans değeri istediğimizi ya da frekans aralığını belirtebiliriz. Analiz için frekans aralıklarının kontrolünü programa bırakabiliriz. ANSYS programı kendi

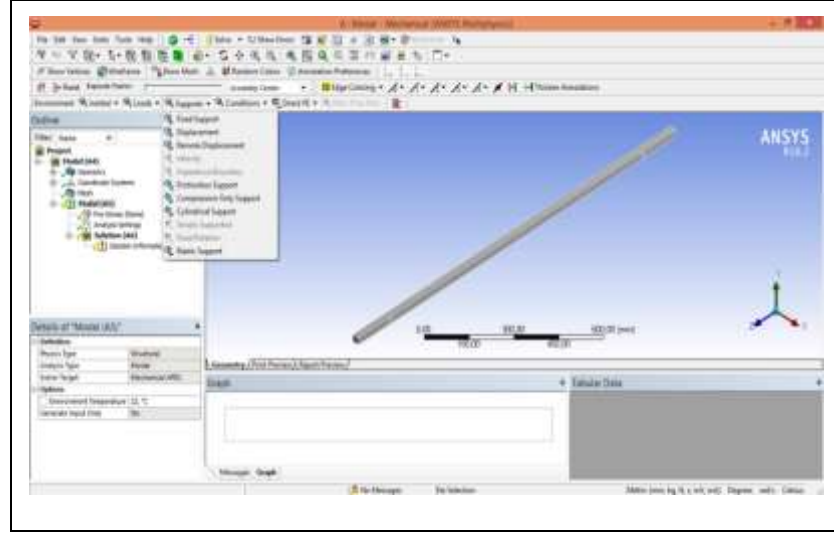
aralıklara bağı kalmadan istenilen frekans sayısı kadar frekans değeri bulur. Frekans aralıklarının belirlenme durumu Şekil 3.34 üzerinde gösterimi yapılmıştır.



Şekil 3.34. ANSYS 16.2 analiz parametreleri

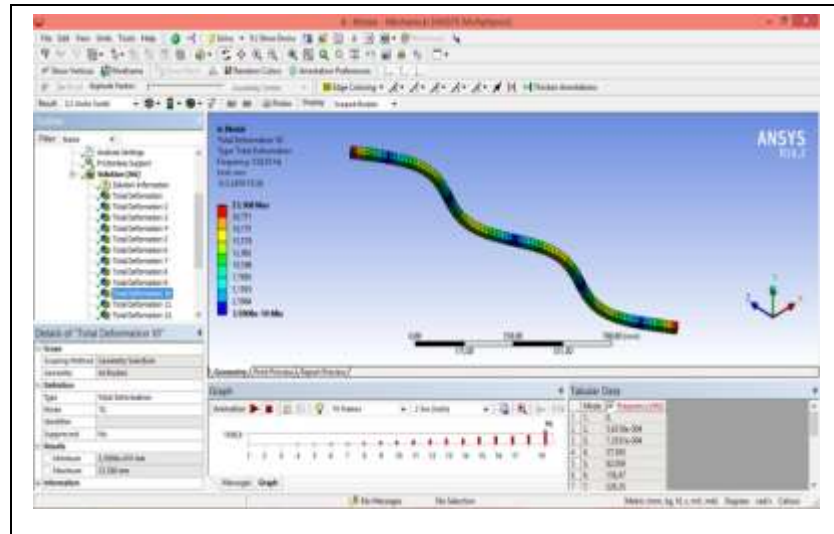
Analizde belirlenmesi gereken en önemli özellikler, sınır şartları ve geometri üzerinde dış kuvvetlerinin belirlenmesidir. Yanlış sınır şartları ve yükleme durumları, analizi yanlış çözdürmemize neden olur. Şekil 3.35 üzerinde incelenen yapının hareket sınırlamalarını tanımladığımız sınır şartlarını girmeliyiz. Sınır şartlarının yanlış tanımlanması sonuçların yanlışlığına sebep olacağından doğru girilmesi son derece önemlidir.

Kuvvetler, momentler, yer çekimi ivmesi gibi yükler dış kuvvetlere karşılık gelmektedir. Fixed support, cylindrical support, frictionless support gibi veriler de sınır şartlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca kontak bölgeler ANSYS üzerinde de belirtilmelidir. Bu kontak bölgeler, montajlı geometrinin kendi içerisinde oluşturduğu bölgelerdir.



**Şekil 3.35.** ANSYS 16.2 sınır şartlarının belirlenmesi

Modal üzerine sağ tıklayıp Solve dediğimiz zaman, Şekil 3.36 üzerinde görüldüğü gibi analizi çözdürmüş oluruz. Solution'da bütün değerler hesaplatılıp, çözülür. Mod şekilleri elde edilir. Sonuçlar rapor şeklinde ANSYS'ten direkt Word formatında listelenebilir. Çözüm kısmında hangi değerde değişikliği gözlemlemek istiyorsak analize ekleyebiliriz. Değerler tablo halinde otomatik alınabilir.

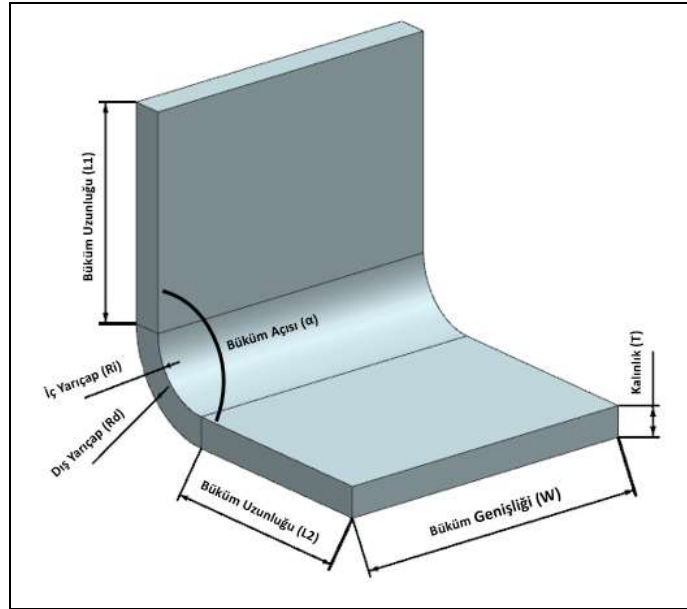


**Şekil 3.36.** ANSYS 16.2 sonuçların analizi



#### 4. BULGULAR

Bu çalışmada Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler SOLIDWORKS paket programında tasarlanarak, ANSYS analiz programında doğal frekansları sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmiştir. Tespit edilen doğal frekanslara bükümlü saclarda değişken faktörlerin etkisi incelenmiştir. Abkant büküm ile imal edilen sac malzemenin tasarımındaki değişken faktörler; sac kalınlığı, büküm uzunluğu, büküm genişliği, büküm açısı ve büküm yarıçapıdır. Bükümlü sac tasarımındaki değişken faktörler aşağıdaki Şekil 4.1 üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Bükümlü sac üzerinde değişken parametrelerin gösterimi

Bu çalışmada değişken büküm parametrelerinin yanında, alüminyum ve çelik sac malzemelerinin de rezonans durumuna karşı dirençleri karşılaştırmak istenmiştir. Bunun için Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler tercih edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac için mekanik özellikler Çizelge 3.3 ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac için Çizelge 3.9 dikkate alınarak çalışmalar yapılmış ve bu malzemelerin mekanik özelliklerine göre karşılaştırmalara gidilmiştir.

Malzemelerin doğal frekanslarının tespiti için herhangi bir sınır şartı uygulanmamış, modellerin uzayda olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Her bir model için tespit edilen doğal frekans değerleri mod olarak isimlendirilmiştir. Modeller için oluşturulan meshler, her bir model için aynı olacak şekilde oluşturulmuştur. Tüm modeller için sonlu elemanlar yöntemi ile doğal frekanslar tespit edildiğinde ilk 6 mod değeri 0 veya 0'a çok yakın değerler aldığından bu 6 mod değeri çalışmada dikkate alınmamıştır. İlk 6 mod değerinin 0 veya 0'a yakın olmasının sebebi, malzemenin rijit davranış göstererek herhangi bir deformasyon göstermediğindedir.

ANSYS paket programını kullanarak sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansların gerçek değerlerini yakalaması için malzemeler, ANSYS kütüphanesine malzemelerin mekanik özellikleri tanımlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.2 üzerinde ANSYS kütüphanesine tanımlanmış Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler gösterilmiştir.

Properties of Outline Row 3: ERDEMIR 6112 DKP			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7830	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modu...	
8	Young's Modulus	1,417E+11	Pa
9	Poisson's Ratio	0,28	
10	Bulk Modulus	1,0735E+11	Pa
11	Shear Modulus	5,5352E+10	Pa
12	Field Variables		
13	Temperature	Yes	
14	Shear Angle	No	
15	Degradation Factor	No	

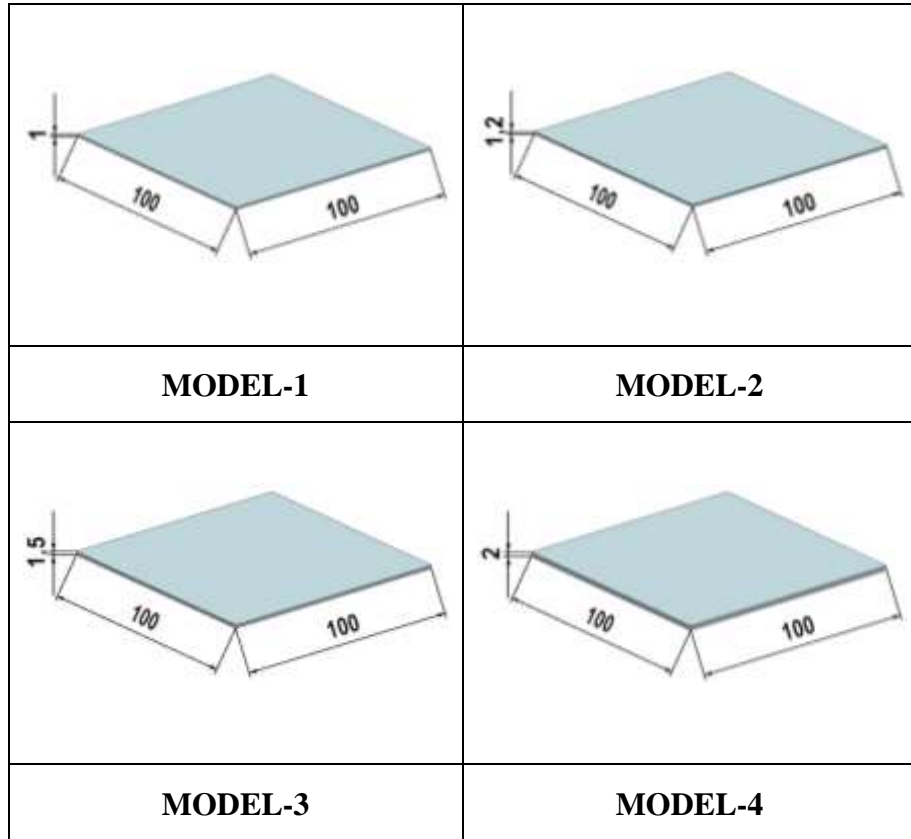
  

Properties of Outline Row 4: REFERANS METAL 1050 H14 ALUMINYUM			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	2705	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modu...	
8	Young's Modulus	6,9E+10	Pa
9	Poisson's Ratio	0,33	
10	Bulk Modulus	6,7647E+10	Pa
11	Shear Modulus	2,39E+10	Pa
12	Field Variables		
13	Temperature	Yes	
14	Shear Angle	No	
15	Degradation Factor	No	

Şekil 4.2. ANSYS malzeme kütüphanesine tanımlanmış sac malzemeler

#### 4.1. Sac Kalınlığının Doğal Frekansa Etkisi

Sac kalınlığının doğal frekansa etkisini gözlemlemek amacıyla SOLIDWORKS paket programında 4 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller; MODEL-1, MODEL-2, MODEL-3 ve MODEL-4 olarak isimlendirilmiştir. Bu modeller sacın açınım hali olan büküm işlemi görmemiş modellerdir. Her bir modelin eni 100 mm ve boyu 100 mm olacak şekilde sabit tutulmuş olup değişken ölçü sadece sac kalınlığıdır. Sac kalınlıkları; MODEL-1 için 1 mm, MODEL-2 için 1,2 mm, MODEL-3 için 1,5 mm ve MODEL-4 için 2 mm olacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu kalınlıklar, ERDEMİR 6112 DKP sac ve 1050 H14 ALÜMİNYUM sac malzemeler için sanayide sıklıkla kullanılan kalınlıklar olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Modellerin teknik resimleri aşağıdaki Şekil 4.3 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.

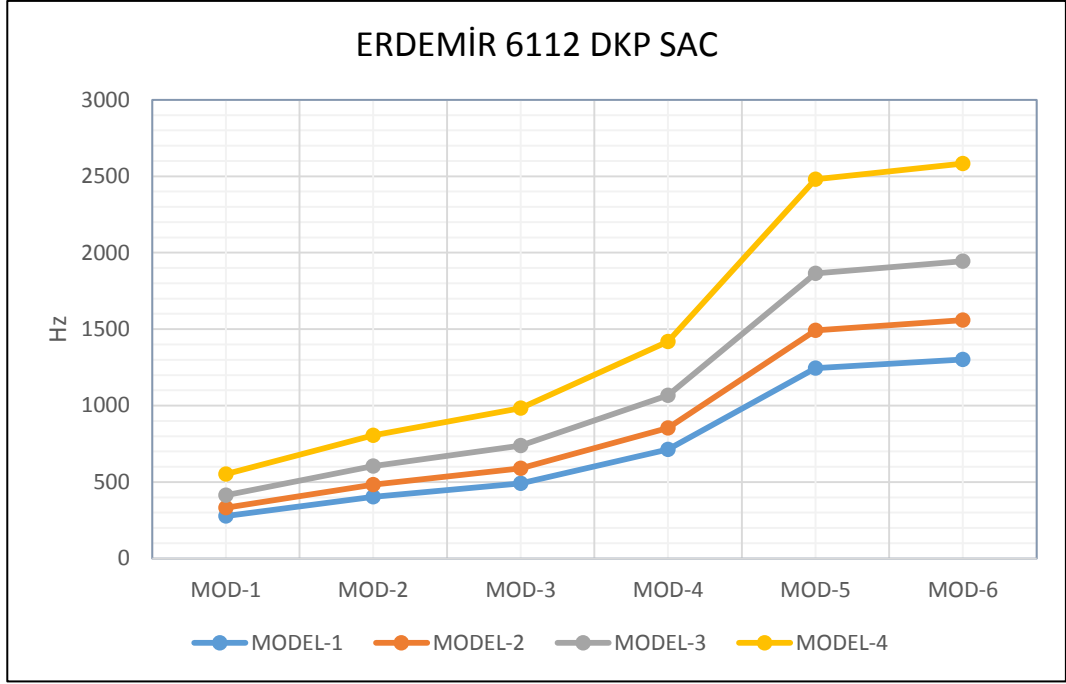


Şekil 4.3. Sac kalınlığına göre tasarlanan modeller

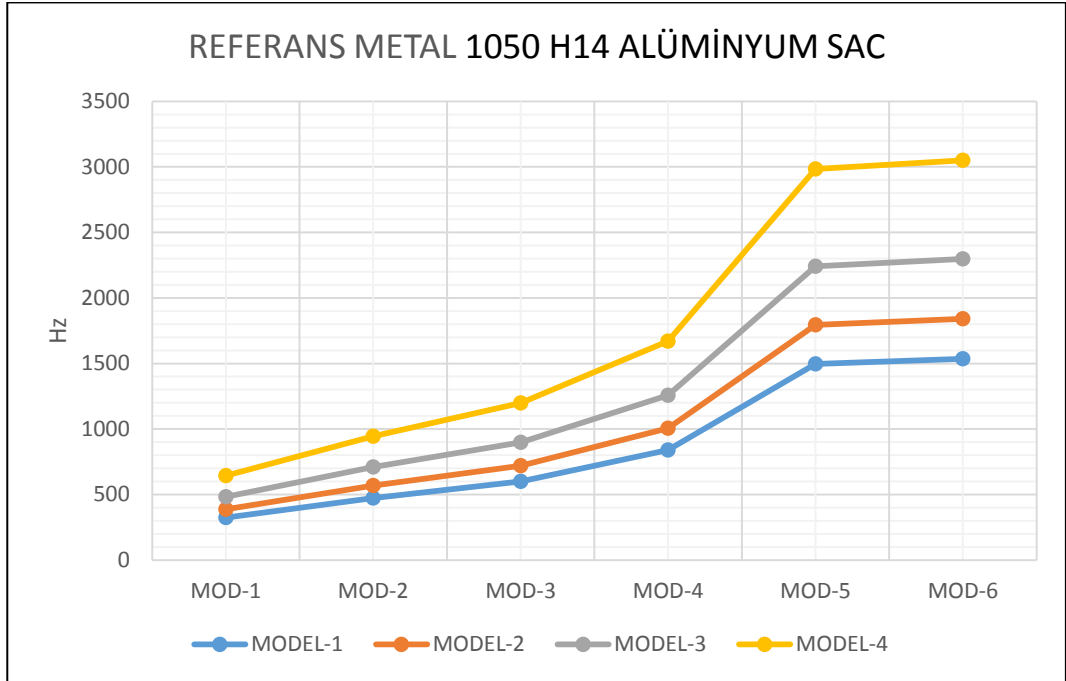
Tasarlanan modeller ANSYS programına yüklenerek sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansları tespit edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler için Çizelge 4.1 üzerinde görüldüğü gibi veriler kaydedilmiştir. Ulaşılan değerler göz önüne alındığında sac kalınlığının artmasıyla beraber malzemenin doğal frekansı artmıştır. Sac kalınlığı artan malzemelerin rezonans durumları daha yüksek frekanslarda gerçekleşecek olup sac kalınlığı daha yüksek olan malzemeler daha rijit davranış göstereceklerdir. Aynı zamanda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir. Bu durumda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Sac kalınlığının değişimi ile mod değerleri arasında açıklık oldukça fazla olduğundan sac kalınlığının rezonans durumu için önemli etken olduğu da gözlemlenmiştir. Bu veriler grafikler halinde Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Sac kalınlığına göre ANSYS analiz sonuçları

6112 DKP SAC				
	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3	MODEL-4
MOD-1	276,78	331,87	414,34	551,31
MOD-2	403,25	483,83	604,62	805,68
MOD-3	491,88	590,15	737,45	982,58
MOD-4	712,5	854,25	1066,3	1418,2
MOD-5	1244,2	1492,3	1863,8	2480,7
MOD-6	1300,9	1559,2	1945	2583,8
1050 H14 ALÜMİNYUM SAC				
	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3	MODEL-4
MOD-1	323,14	387,46	483,72	643,58
MOD-2	473,21	567,76	709,5	945,43
MOD-3	599,7	719,49	899,04	1197,8
MOD-4	839,48	1006,5	1256,3	1670,7
MOD-5	1496,4	1794,7	2241,4	2982,9
MOD-6	1536,5	1841,4	2296,9	3050,8



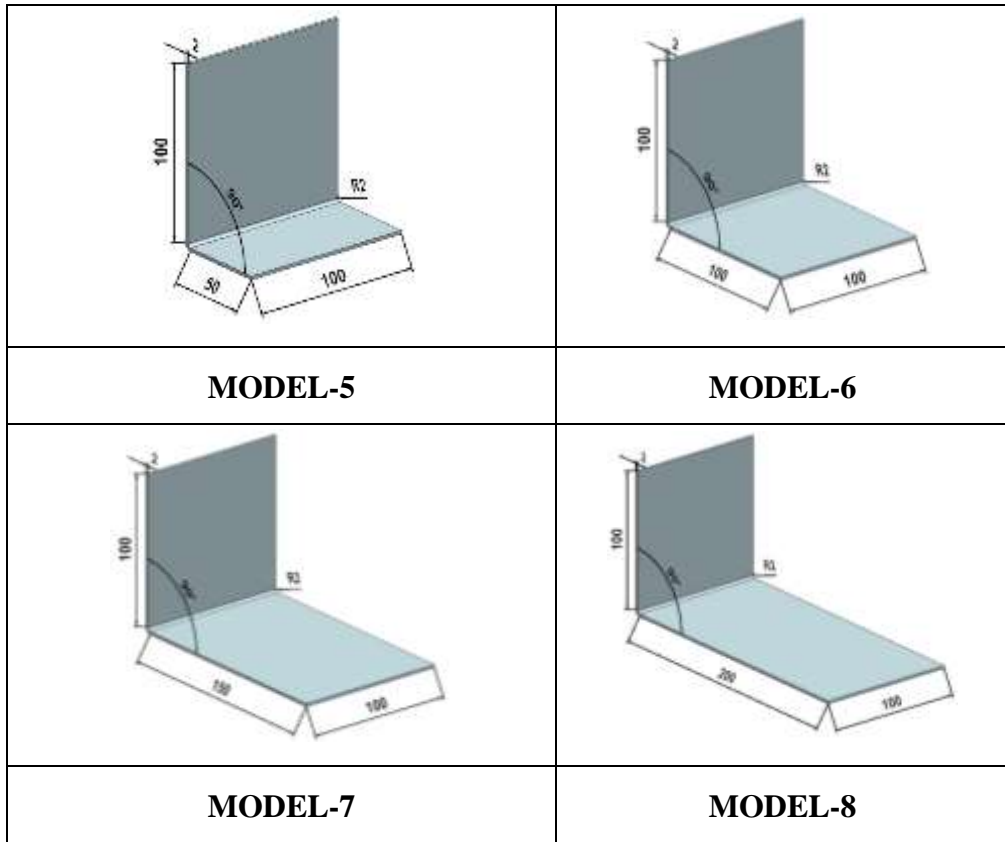
**Şekil 4.4.** 6112 DKP sac, sac kalınlığına göre mod değerleri



**Şekil 4.5.** 1050 H14 alüminyum sac, sac kalınlığına göre mod değerleri

## 4.2. Büküm Uzunluğunun Doğal Frekansa Etkisi

Büküm uzunluğunun doğal frekansa etkisini gözlemlemek amacıyla SOLIDWORKS paket programında 4 farklı model oluşturulmuştur. Bunlar; MODEL-5, MODEL-6, MODEL-7 ve MODEL-8 olarak isimlendirilmiştir. Bu modeller sacın tek büküm işlemi görmüş L formunda olan modellerdir. Her bir modelin ilk büküm uzunluğu (L1) sabit tutulmuş olup değişken ölçü sadece ikinci büküm uzunluğu (L2) şeklinde tasarlanmıştır. Birinci büküm uzunluğu (L1) her bir model için 100 mm olup sac kalınlığı 2 mm, büküm yarıçapı 2 mm, büküm genişliği 100 mm ve büküm açısı  $90^0$  olacak şekilde tasarlanmıştır. İkinci büküm uzunlukları (L2); MODEL-5 için 50 mm, MODEL-6 için 100 mm, MODEL-7 için 150 mm ve MODEL-8 için 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Modellerin teknik resimleri aşağıdaki Şekil 4.6 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.

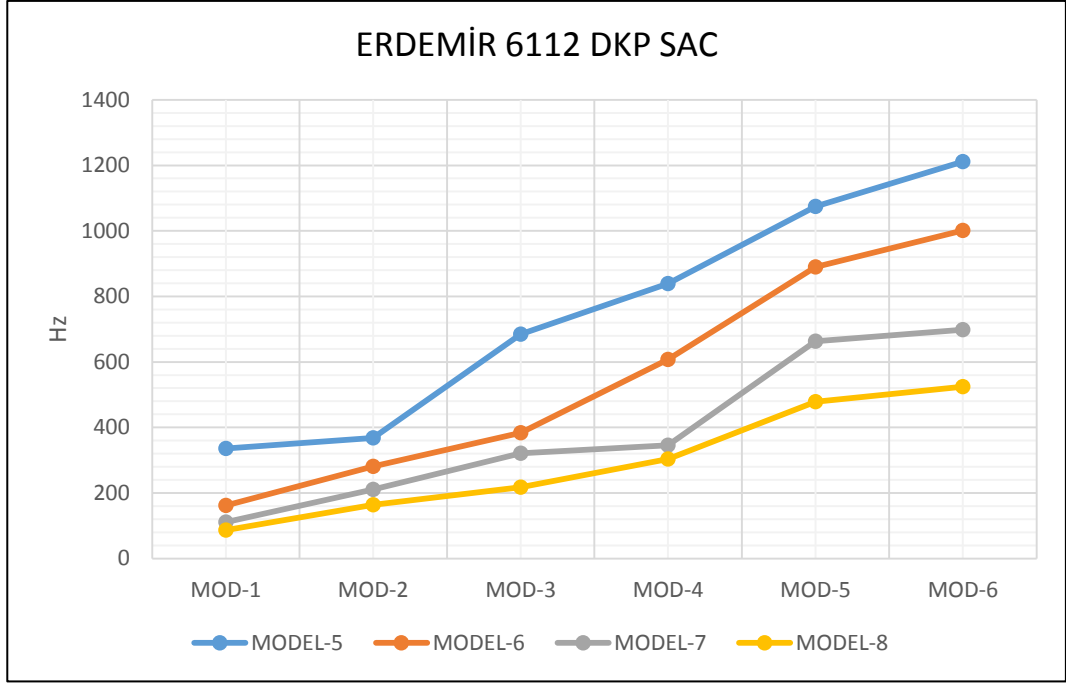


Şekil 4.6. Büküm uzunluğuna göre tasarlanan modeller

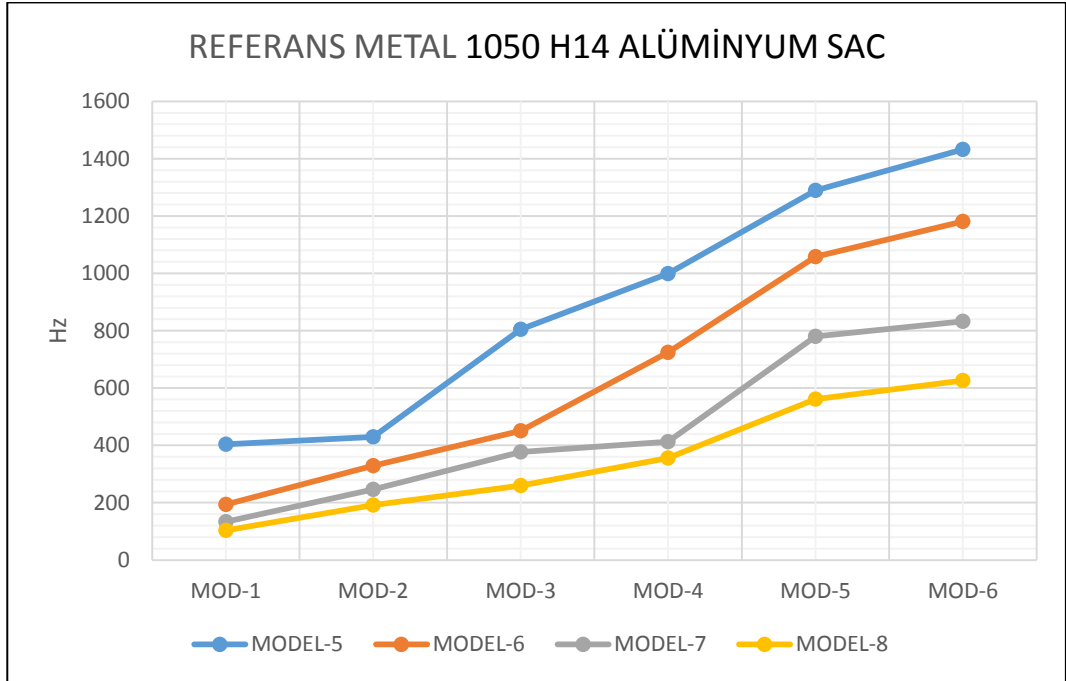
Tasarlanan modeller ANSYS programına yüklenerek sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansları tespit edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler için Çizelge 4.2 üzerinde görüldüğü gibi veriler kaydedilmiştir. Ulaşılan değerler göz önüne alındığında büküm uzunluğunun artmasıyla beraber malzemenin doğal frekansı azalmıştır. Büküm uzunluğu artan malzemelerin rezonans durumları daha düşük frekanslarda gerçekleşecek olup büküm uzunluğu daha düşük olan malzemeler daha rijit davranış göstereceklerdir. Aynı zamanda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir. Bu durumda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Büküm uzunluğunun değişimi ile mod değerleri arasında açıklık oldukça fazla olduğundan büküm uzunluğunun rezonans durumu için önemli etken olduğu gözlemlenmiştir. Değerler grafikler halinde Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Büküm uzunluğuna göre ANSYS analiz sonuçları

6112 DKP SAC				
	MODEL-5	MODEL-6	MODEL-7	MODEL-8
MOD-1	336,11	161,74	111,5	86,77
MOD-2	367,85	281,49	210,78	163,75
MOD-3	684,59	383,96	321,57	217,44
MOD-4	838,6	607,77	345,45	303,46
MOD-5	1074,7	889,38	662,66	478,21
MOD-6	1211,2	1001,5	698,42	524,76
1050 H14 ALÜMİNYUM SAC				
	MODEL-5	MODEL-6	MODEL-7	MODEL-8
MOD-1	403,46	194,25	133,71	103,83
MOD-2	429,65	328,43	246,02	191,1
MOD-3	804,71	451,04	376,98	259,83
MOD-4	998,64	723,93	412,35	355,28
MOD-5	1288,9	1058,1	779,68	561,67
MOD-6	1432,6	1180,6	832,71	626,38



**Şekil 4.7.** 6112 DKP sac, büküm uzunluğuna göre mod değerleri

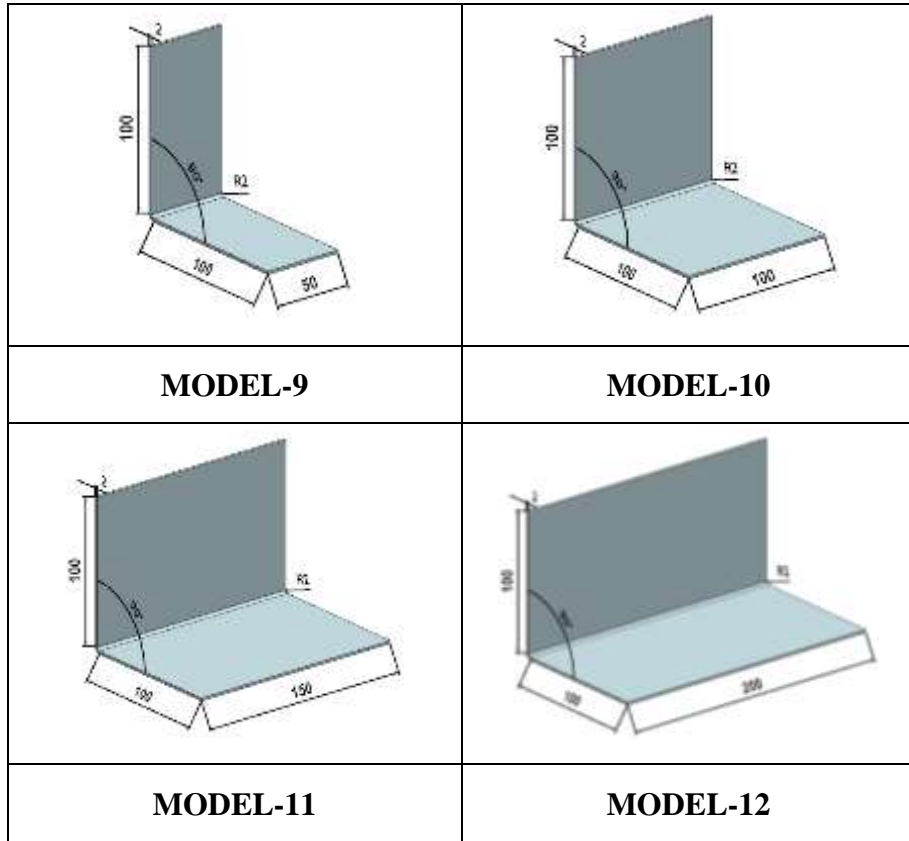


**Şekil 4.8.** 1050 H14 alüminyum sac, büküm uzunluğuna göre mod değerleri



### 4.3. Büküm Genişliğinin Doğal Frekansa Etkisi

Büküm genişliğinin doğal frekansa etkisini gözlemlemek amacıyla SOLIDWORKS paket programında 4 farklı model tasarlanmıştır. Bu modeller; MODEL-9, MODEL-10, MODEL-11 ve MODEL-12 olarak isimlendirilmiştir. Bu modeller sacın tek büküm işlemi görmüş L formunda olan modellerdir. Her bir modelin büküm uzunlukları (L1, L2) sabit tutulmuş olup değişken ölçü sadece büküm genişliği (W) şeklinde tasarlanmıştır. Büküm uzunlukları (L1, L2) her bir model için 100 mm olup sac kalınlığı 2 mm, büküm yarıçapı 2 mm ve büküm açısı  $90^0$  olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm genişliği (W); MODEL-9 için 50 mm, MODEL-10 için 100 mm, MODEL-11 için 150 mm ve MODEL-12 için 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Modellerin teknik resimleri aşağıdaki Şekil 4.9 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.

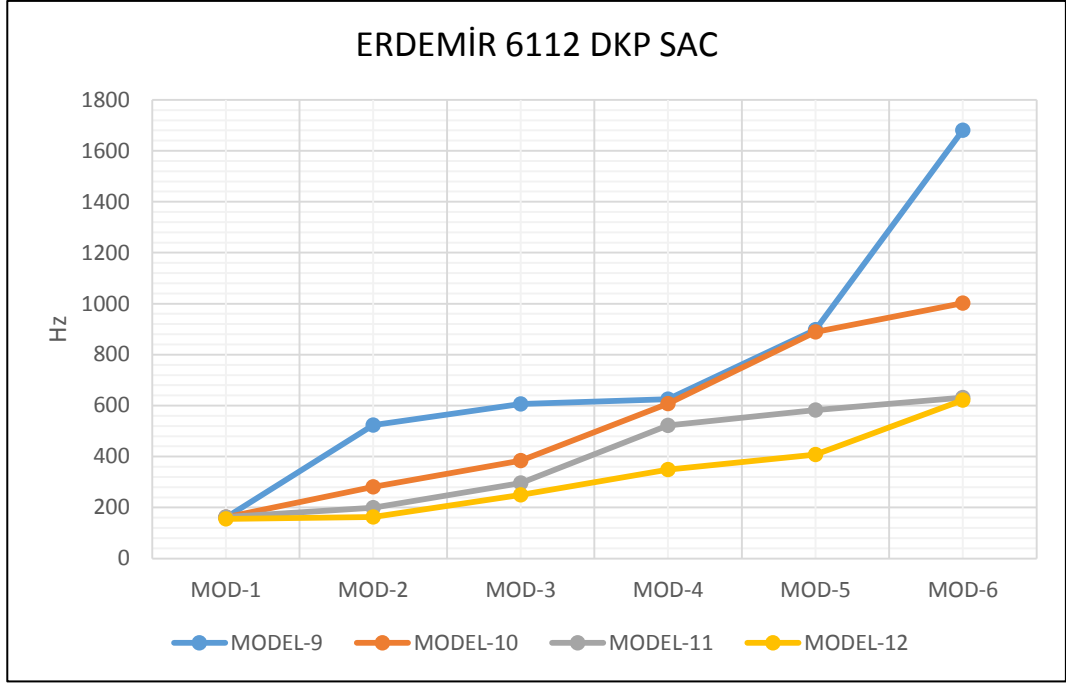


Şekil 4.9. Büküm genişliğine göre tasarlanan modeller

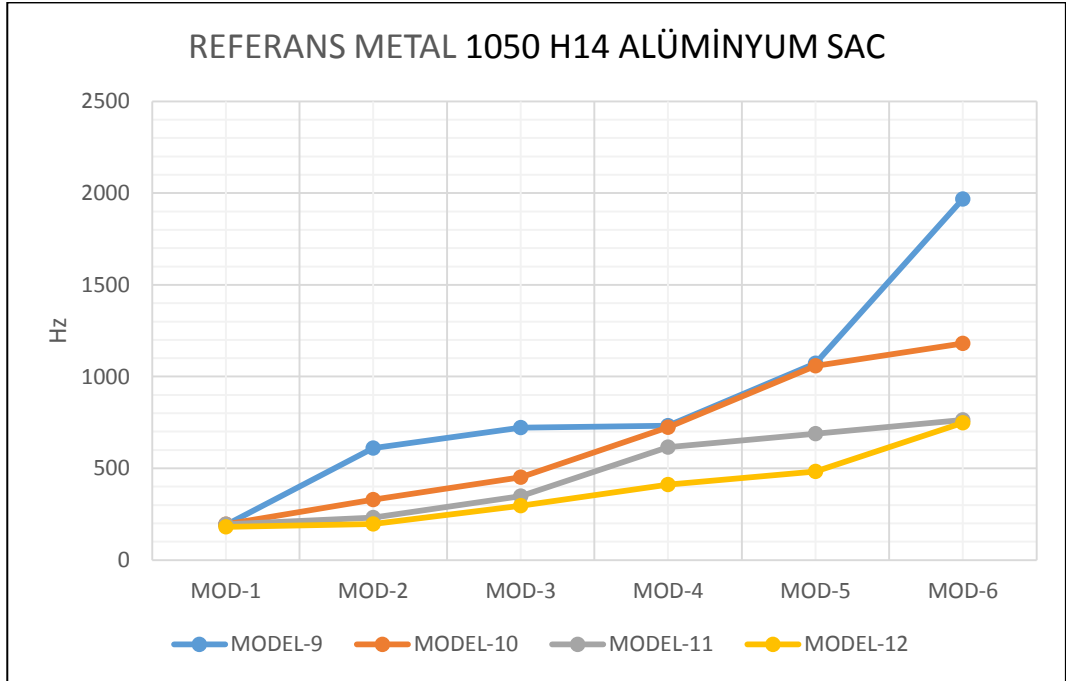
Tasarlanan modeller ANSYS programına yüklenerek sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansları tespit edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler için Çizelge 4.3 üzerinde görüldüğü gibi veriler kaydedilmiştir. Ulaşılan değerler göz önüne alındığında büküm genişliğinin artmasıyla beraber malzemenin doğal frekansı azalmıştır. Büküm genişliği artan malzemelerin rezonans durumları daha düşük frekanslarda gerçekleşecek olup büküm genişliği daha düşük olan malzemeler daha rijit davranış göstereceklerdir. Aynı zamanda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir. Bu durumda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Büküm genişliğinin değişimi ile mod değerleri arasında açıklık oldukça fazla olduğundan büküm genişliğinin rezonans durumu için önemli etken olduğu da gözlemlenmiştir. Veriler grafikler halinde Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 üzerinde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Büküm genişliğine göre ANSYS analiz sonuçları

6112 DKP SAC				
	MODEL-9	MODEL-10	MODEL-11	MODEL-12
MOD-1	160,41	158,74	156,4	154,79
MOD-2	523,83	281,49	198,82	162,7
MOD-3	606,08	383,96	295,77	249,78
MOD-4	625,35	607,77	522,37	348,92
MOD-5	897,67	889,38	582,56	407,89
MOD-6	1680	1001,5	631,86	621,49
1050 H14 ALÜMİNYUM SAC				
	MODEL-9	MODEL-10	MODEL-11	MODEL-12
MOD-1	191,95	187,25	195,37	180,69
MOD-2	610,59	328,43	232,06	195,91
MOD-3	721,38	451,04	348,5	295,19
MOD-4	731,73	723,93	614,46	411,25
MOD-5	1072,5	1058,1	688,93	481,9
MOD-6	1967,8	1180,6	763,17	747,37



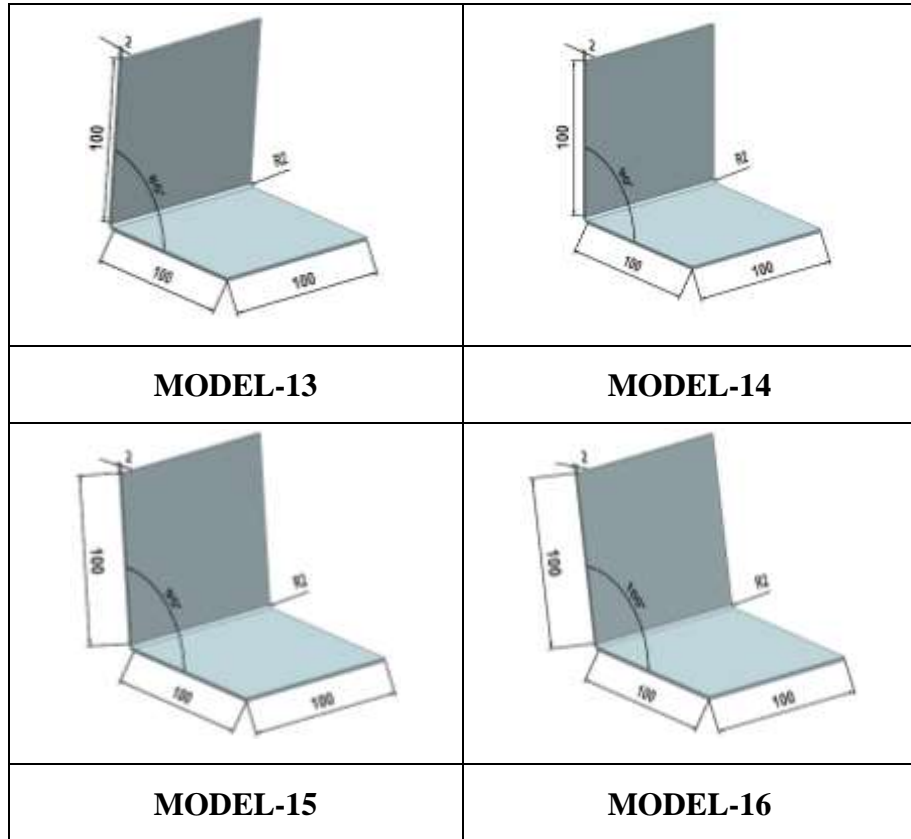
**Şekil 4.10.** 6112 DKP sac, büküm genişliğine göre mod değerleri



**Şekil 4.11.** 1050 H14 alüminyum sac, büküm genişliğine göre mod değerleri

#### 4.4. Büküm Açısının Doğal Frekansa Etkisi

Büküm açısının doğal frekansa etkisini gözlemlemek amacıyla SOLIDWORKS paket programında 4 farklı model tasarlanmıştır. Bu modeller; MODEL-13, MODEL-14, MODEL-15 ve MODEL-16 olarak isimlendirilmiştir. Bu modeller sacın tek büküm işlemi görmüş L formunda olan modellerdir. Her bir modelin büküm uzunlukları (L1, L2) sabit tutulmuş olup değişken ölçü sadece büküm açısı ( $\alpha$ ) şeklinde tasarlanmıştır. Büküm uzunlukları (L1, L2) her bir model için 100 mm olup, sac kalınlığı 2 mm, büküm yarıçapı 2 mm ve büküm genişliği 100 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm açısı ( $\alpha$ ); MODEL-13 için  $85^{\circ}$ , MODEL-14 için  $90^{\circ}$ , MODEL-15 için  $95^{\circ}$  ve MODEL-16 için  $100^{\circ}$  olacak şekilde tasarlanmıştır. Modellerin teknik resimler aşağıda bulunan Şekil 4.12 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.

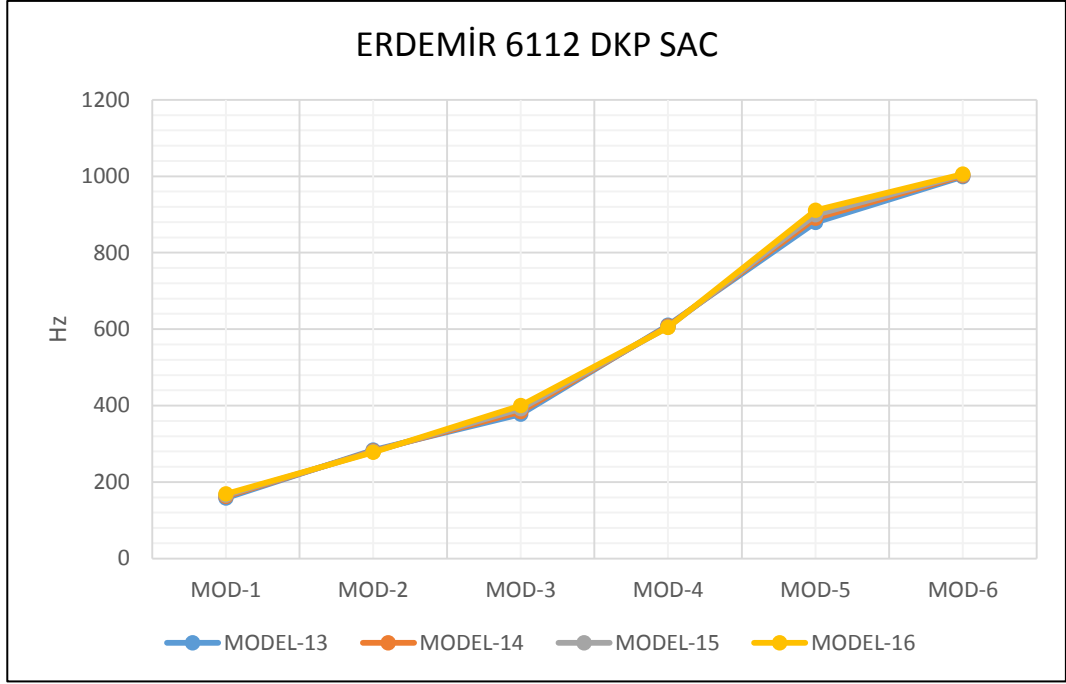


Şekil 4.12. Büküm açısına göre tasarlanan modeller

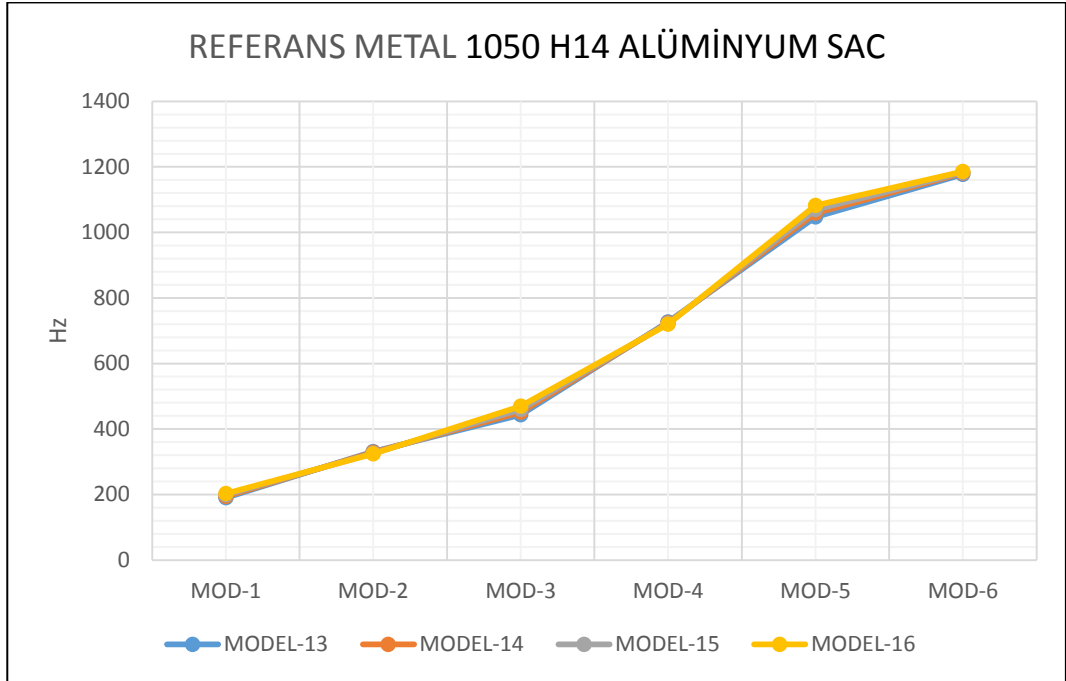
Tasarlanan modeller ANSYS programına yüklenerek sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansları tespit edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler için Çizelge 4.4 üzerinde olduğu gibi veriler kaydedilmiştir. Ulaşılan değerler göz önüne alındığında büküm açısının artmasıyla beraber malzemenin doğal frekans değerleri değişken özellik gösterdikleri gözlemlenmiştir. Büküm açısı artan malzemeler MOD-2 ve MOD-4 frekanslarında azalma eğilimindeyken diğer modlar da artma yani rijit davranış eğilimindedir. Aynı zamanda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir. Bu durumda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Büküm açısının değişimi ile mod değerleri arasında açıklık oldukça az olduğundan büküm açısının rezonans durumu için önemli etken olmadığı da gözlemlenmiştir. Bu veriler grafikler halinde Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 üzerinde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Büküm açısına göre ANSYS analiz sonuçları

6112 DKP SAC				
	MODEL-13	MODEL-14	MODEL-15	MODEL-16
MOD-1	158,29	161,79	165,27	169
MOD-2	283,54	281,51	279,64	278,1
MOD-3	377,09	384,03	391,38	399,67
MOD-4	609,91	607,77	605,64	604,02
MOD-5	879,45	889,66	899,51	910,6
MOD-6	998,75	1001,5	1003,6	1005,8
1050 H14 ALÜMİNYUM SAC				
	MODEL-13	MODEL-14	MODEL-15	MODEL-16
MOD-1	190,11	194,31	198,47	202,95
MOD-2	330,81	328,45	326,27	324,48
MOD-3	443,01	451,13	459,73	469,43
MOD-4	726,42	723,93	721,44	719,55
MOD-5	1046,7	1058,4	1069,6	1082,3
MOD-6	1177,4	1180,6	1183,1	1185,8



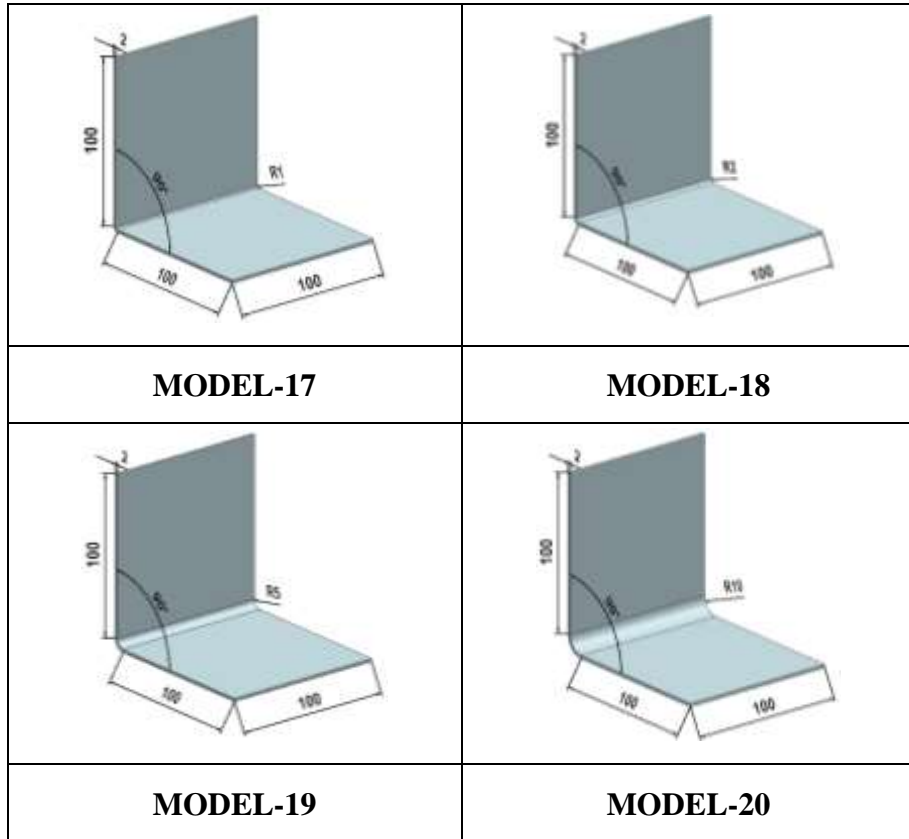
**Şekil 4.13.** 6112 DKP sac, büküm açısına göre mod değerleri



**Şekil 4.14.** 1050 H14 alüminyum sac, büküm açısına göre mod değerleri

#### 4.5. Büküm Yarıçapının Doğal Frekansa Etkisi

Büküm yarıçapının doğal frekansa etkisini gözlemlemek amacıyla SOLIDWORKS paket programında 4 farklı model tasarlanmıştır. Modeller; MODEL-17, MODEL-18, MODEL-19 ve MODEL-20 olarak isimlendirilmiştir. Bu modeller sacın tek büküm işlemi görmüş L formunda olan modellerdir. Her bir modelin büküm uzunlukları (L1, L2) sabit tutulmuş olup değişken ölçü sadece büküm yarıçapı ( $R_i$ ) şeklinde tasarlanmıştır. Büküm uzunlukları (L1, L2) her bir model için 100 mm olup, sac kalınlığı 2 mm, büküm genişliği 100 mm ve büküm açısı  $90^0$  olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm yarıçapı ( $R_i$ ); MODEL-17 için 1 mm, MODEL-18 için 2 mm, MODEL-19 için 5 mm ve MODEL-20 için 10 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Modellerin teknik resimleri aşağıdaki Şekil 4.15 üzerinde detaylı olarak gösterilmektedir.



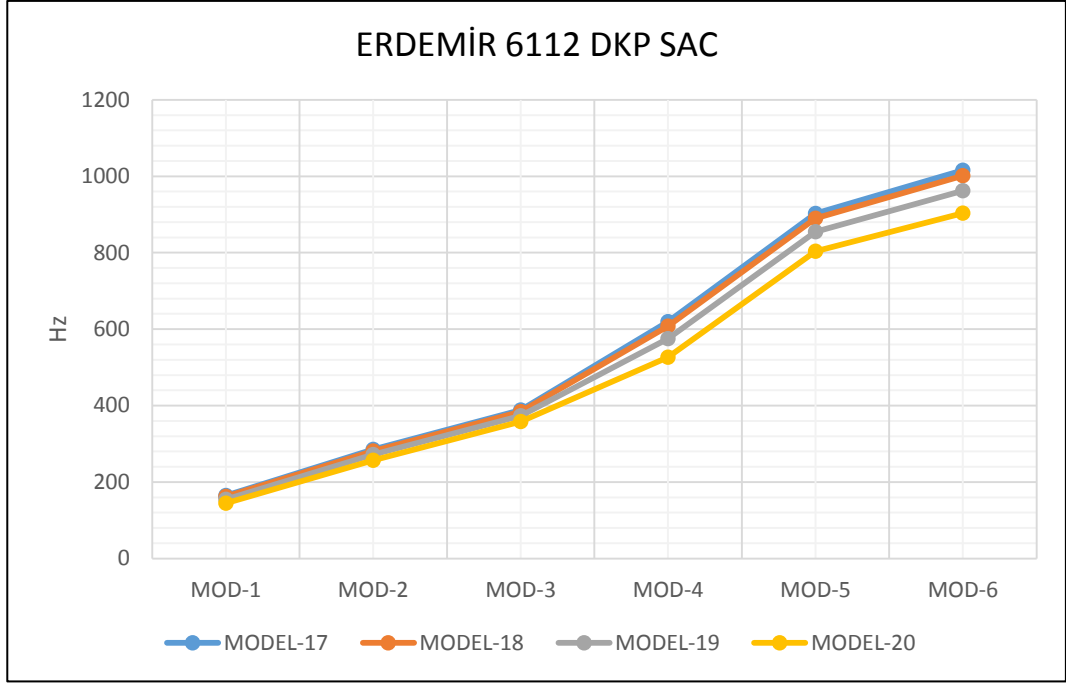
Şekil 4.15. Büküm yarıçapına göre tasarlanan modeller

Tasarlanan modeller ANSYS programına yüklenerek sonlu elemanlar metoduyla doğal frekansları tespit edilmiştir. Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 alüminyum sac malzemeler için Çizelge 4.5 üzerinde görüldüğü gibi veriler kaydedilmiştir. Ulaşılan değerler göz önüne alındığında büküm yarıçapı artmasıyla beraber malzemenin doğal frekansı azalmıştır. Büküm yarıçapı artan malzemelerin rezonans durumları daha düşük frekanslarda gerçekleşecek olup büküm yarıçapı daha düşük olan malzemeler daha rijit davranış göstereceklerdir. Aynı zamanda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir. Bu durumda 1050 H14 alüminyum sac malzemeler, 6112 DKP sac malzemelere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Büküm yarıçapının değişimi ile mod değerleri arasında açıklık oldukça fazla olduğundan büküm yarıçapının rezonans durumu için önemli etken olduğu da gözlemlenmiştir. Bu veriler grafikler halinde Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

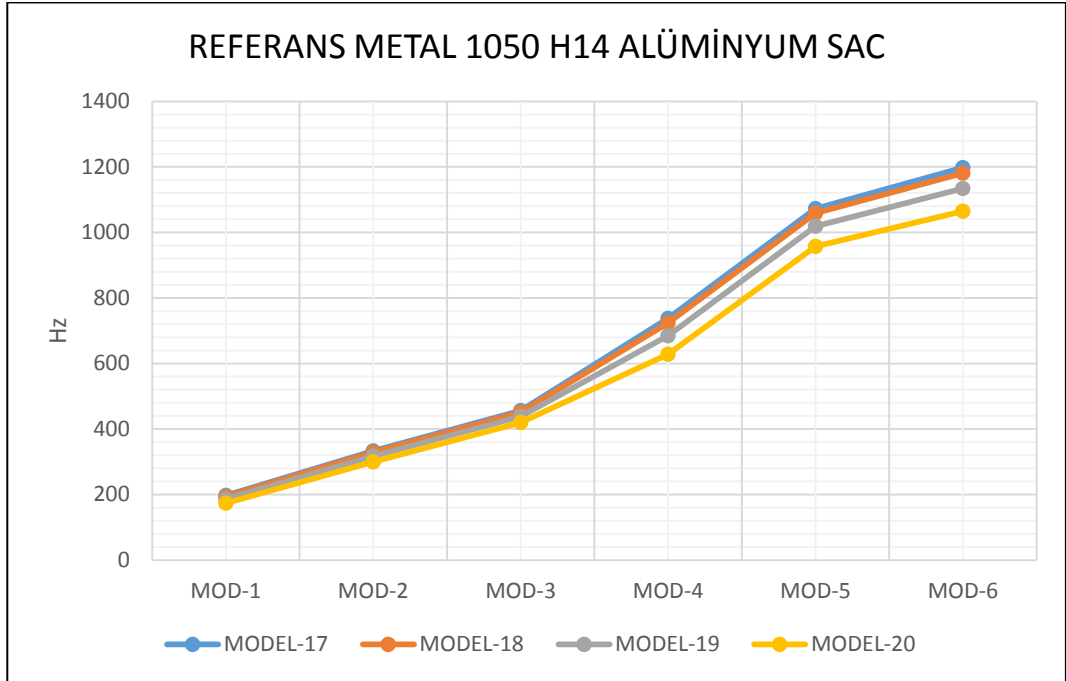
**Çizelge 4.5.** Büküm yarıçapına göre ANSYS analiz sonuçları

ERDEMİR 6112 DKP SAC				
	MODEL-17	MODEL-18	MODEL-19	MODEL-20
MOD-1	164,39	161,79	154,78	144,19
MOD-2	285,14	281,51	271,51	256,61
MOD-3	387,92	384,03	373,44	357,78
MOD-4	619,43	607,77	574,79	526,33
MOD-5	902,2	889,66	855,12	803,35
MOD-6	1015,6	1001,5	961,95	903,47
1050 H14 ALÜMİNYUM SAC				
	MODEL-17	MODEL-18	MODEL-19	MODEL-20
MOD-1	197,43	194,31	185,89	173,19
MOD-2	332,68	328,45	316,78	299,39
MOD-3	455,72	451,13	438,61	420,07
MOD-4	737,77	723,93	684,84	627,68
MOD-5	1072,9	1058,4	1018,3	957,62
MOD-6	1197,4	1180,6	1133,7	1064,4





**Şekil 4.16.** 6112 DKP sac, büküm yarıçapına göre mod değerleri



**Şekil 4.17.** 1050 H14 alüminyum sac, büküm yarıçapına göre mod değerleri

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, Erdemir 6112 DKP sac ve Referans Metal 1050 H14 ALÜMİNYUM sac malzemeler için karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve büküm parametreleri aynı olacak şekilde model tasarlandığında 1050 H14 alüminyum sac malzemelerin daha yüksek frekanslarda rezonansa gireceği tespit edilmiştir.
- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, büküm parametrelerinin ve sac tasarımının en önemli parametresi olan sac kalınlığı arttıkça, modelin doğal frekansının arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada sac kalınlıkları; MODEL-1 için 1 mm, MODEL-2 için 1,2 mm, MODEL-3 için 1,5 mm ve MODEL-4 için 2 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Sac kalınlığının artmasıyla beraber malzemelerin doğal frekans değerleri artacak olup malzemelerin daha rijit davranış sergileyeceği tespit edilmiştir.
- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, büküm parametrelerinin ve sac tasarımının önemli parametresi olan büküm uzunluğu arttıkça, modelin doğal frekansının azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada büküm uzunlukları; MODEL-5 için 50 mm, MODEL-6 için 100 mm, MODEL-7 için 150 mm ve MODEL-8 için 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm uzunluğunun artmasıyla beraber malzemelerin doğal frekans değerleri azalacak olup malzemelerin rijit davranıştan uzaklaşacağı tespit edilmiştir.
- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, büküm parametrelerinin ve sac tasarımının önemli parametresi olan büküm genişliği arttıkça modelin doğal frekansının azaldığı tespit edilmiştir. Büküm genişliği; MODEL-9 için 50 mm,

MODEL-10 için 100 mm, MODEL-11 için 150 mm ve MODEL-12 için 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm genişliğinin artmasıyla beraber malzemelerin doğal frekans değerleri azalacak olup malzemelerin rijit davranıştan uzaklaşacağı tespit edilmiştir.

- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, büküm parametrelerinin ve sac tasarımının önemli parametresi olan büküm açısı için ulaşılan değerler göz önüne alındığında büküm açısının artmasıyla beraber, malzemenin doğal frekans değerleri değişken özellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Büküm açısı; MODEL-13 için  $85^0$ , MODEL-14 için  $90^0$ , MODEL-15 için  $95^0$  ve MODEL-16 için  $100^0$  olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm açısı artan malzemeler; MOD-2 ve MOD-4 frekanslarında azalma eğilimindeyken diğer modlarda artma yani rijit davranış eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda büküm açılarının değişmesi doğal frekans değerleri arasındaki değişimin çok fazla olmadığı ve diğer büküm parametreleri kadar malzemenin doğal frekanslarına etki etmediği de gözlemlenmiştir.
- Yapılan sac malzemelerdeki değişken faktörlerin doğal frekansa etkisinin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması çalışmasında, büküm parametrelerinin ve sac tasarımının önemli parametresi olan büküm yarıçapı arttıkça modelin doğal frekansının azaldığı tespit edilmiştir. Büküm yarıçapı; MODEL-17 için 1 mm, MODEL-18 için 2 mm, MODEL-19 için 5 mm ve MODEL-20 için 10 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Büküm yarıçapının artmasıyla beraber malzemelerin doğal frekans değerleri azalacak olup malzemelerin rijit davranıştan uzaklaşacağı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aktı, F., Temel Malzeme Bilimi, Hitit Üniversitesi Kimya Mühendisliği.
- Dirilmiş, M. (2021). Farklı Taşıma Yükleri Altında Kompleks Kesitli Esnek Bir Kirişin Deneysel Ve Nümerik Titreşim Analizi, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*.
- Erbaş, E. (2009). Kutu Profil Ana Kirişli Kompozit Taşıyıcının Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Mühendisliği, İzmir.
- Erişir, E. (2014). Çeliklerde Malzeme Bilimi ve Son Gelişmeler, Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Guo, Xuanyu. (2015). Automatic Bend Sequence Planning for Press Brakes (CES Seminar).
- Gupta, Satyandra K. (2002). Sheet Metal Bending: Forming Part Families for Generating Shared Press-Brake Setups, *Journal of Manufacturing Systems*, 21(5):329-350.
- Gülmez, Turgut., MAK3 351 İmal Usulleri, İTÜ Makine Fakültesi.
- Hadipour, M., Alambeigi F., Hosseini R., Masoudinejad R. 2011. A Study on the Vibrational Effects of Adding an Auxiliary Chassis to a 6-Ton Truck, *Journal of American Science*.
- Holmes, M., Just D.J. (1983). GRP in Structural Engineering, *Applied Science Publishers Ltd.*, New York .
- Kalyoncu, M., Titreşim Analizi ile Makine Arızalarının Belirlenmesi, *Mühendis ve Makine*.
- Özer, H.Ö. (2008). Bir Bina Modelinin Titreşimlerinin Deneysel Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Şekerci, H.U. (2013). Bir Hava Aracı Komponentinin Dinamik Karakteristiklerinin Teorik ve Deneysel Modal Analiz Metoduyla Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Şentürk, S. (2004). Experimental Determination of Transfer Function For A Car Body-In-White, *A Thesis Graduate School of Natural and Applied Sciences of The Middle East Technical University*, The Department of Mechanical Engineering, Ankara.
- Yalnızca, O., Özelgin, İ., Aksoy, E. (2014). Esnek Volan Modal Analizi, *Mühendis ve Makina*, cilt 55, sayı 656, s. 30-41.
- Yılmaz, R., Eldek, S., Gülbahçe, E. (2020). L Tipi Bir Kirişin Sayısal ve Deneysel Modal Analizi. *8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 23-25 October 2020*.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed DOĞDU  
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir / 03.01.1996  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi (2014)  
Lisans : İstanbul Üniversitesi, Makine Mühendisliği (2018)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Konstrüksiyon Ve İmalat Anabilim Dalı (2021)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : TOFAŞ-Ottonom Mühendislik / 2021-  
Raykar / 2018-2021

İletişim (e-posta) : dogdumuhammed@hotmail.com

Yayınları\* :