

**MALZEME BİLİMİNDE ANİMASYON UYGULAMALARI**

**Ömer Erkan ÖZALTIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**  
**ISPARTA 2006**

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME BİLİMİNDE ANİMASYON UYGULAMALARI**

**Ömer Erkan ÖZALTIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**

**ISPARTA - 2006**

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Teorik Bilgilerin Oluşturulması.....	8
3.2. Malzeme Bilimi Eğitiminde Bilgisayar Destekli Tasarımın Kullanımı.....	9
3.2.1. Tel Kafes Modelleme (Wire Frame).....	10
3.2.2. Yüzey Modelleme.....	11
3.2.3. Katı Modelleme.....	13
3.3. Animasyonların Hazırlanması.....	17
3.3.1. 3D Studio Max.....	18
3.3.1. 1. Konu Belirleme (Storyboard).....	19
3.3.1. 2. Modelleme (Modelling).....	19
3.3.1. 3. Animasyon (Animation).....	23
3.3.1. 4. Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi (Shading).....	26
3.3.1. 5. Film Oluşturma (Rendering).....	27
4. MALZEME BİLİMİNDE ANİMASYON UYGULAMALARI.....	28
4.1. Malzemelerin Sınıflandırılması.....	28
4.1.1. Metaller.....	28
4.1.2. Plastikler.....	30
4.1.3. Seramikler.....	31
4.1.4. Kompozitler.....	33
4.2. Atom Yapısı ve Özellikleri.....	34
4.2.1. Atom Yapısı.....	34
4.2.2. İkincil Kuantum Sayısı ( I ).....	35

4.2.3. Elektron Dönme Kuantum Sayısı (Ms).....	36
4.3. Atomlar Arası Bağlar.....	38
4.3.1. İyonik Bağlar.....	38
4.3.2. Kovalent Bağlar.....	40
4.3.3. Metalik Bağlar.....	43
4.3.4. İkincil Bağlar (Wan der Walls Bağları).....	44
4.3.5. Atomlar Arası Denge Mesafesi.....	46
4.4. Atomların Dizilişleri.....	50
4.4.1. Kristal Yapısı ve Birim Hücreler.....	52
4.4.2. Basit Kübik Kafes ve Atomlarının Sayısı.....	54
4.4.3. Hacim Merkezli Kübik (HMK Kafes ve Atomlarının Sayısı).....	55
4.4.4. Sıkı Düzenli Hegzagonal (SDH) Yapılar.....	56
4.4.5. Yüzey Merkezli Kübik (YMK).....	57
4.4.6. Miller İndisleri.....	58
4.4.7. Kristal Düzlemleri.....	60
4.4.8. Doğrusal Atom Yoğunluğu.....	62
4.4.9. Düzlemsel (Planar) Atom Yoğunluğu.....	63
4.4.10. Sıkı Paket Kristal Yapıları.....	65
4.5. Kristal Yapı Hataları.....	67
4.5.1. Noktasal Hatalar.....	67
4.5.1.1. Atom Boşluğu.....	67
4.5.1.2. Yer Alan ve Ara Yer Atom Hataları.....	68
4.5.2. Çizgisel Hatalar.....	69
4.5.2.1. Kenar Dislokasyonu.....	69
4.5.2.2. İstifleme Hatası.....	70
4.6. Difüzyon.....	71
4.6.1. Boşluk Difüzyonu.....	72
4.6.2. Ara Yer Difüzyonu.....	72
4.6.3. Halka Difüzyonu.....	73
4.6.4. Kararlı Durum Difüzyonu (1. Fick Kanunu).....	74
4.7. Mekanik Özellikler.....	75
4.7.1. Sertlik Deneyi.....	76

4.7.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Deneyi.....	77
4.7.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Deneyi.....	79
4.7.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Deneyi.....	80
4.7.1.4. Mikro Sertlik Ölçme Deneyi.....	83
4.7.2. Çekme Deneyi.....	84
4.7.2.1. Gerilme Birim Şekil Değişirme Eğrileri.....	85
4.7.2.2. Elastik Deformasyondan Plastik Deformasyona Geçiş.....	87
4.7.3. Basma Deneyi.....	88
4.7.4. Darbe Deneyi.....	90
4.7.5. Yorulma Deneyi.....	96
4.7.6. Sürünme Deneyi.....	99
4.7.7. Eğme Deneyi.....	101
4.7.8. Burulma Deneyi.....	102
4.8. Isıl İşlemler.....	105
4.8.1. Jominy (Sertleşebilirlik) Deneyi.....	105
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	108
6. KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	115

## ÖZET

### **MALZEME BİLİMİNDE ANİMASYON UYGULAMALARI**

Bu çalışma, lisans düzeyinde eğitim veren fakültelerdeki ‘Malzeme Bilimi’ dersinin bilgisayar yardımıyla anlatılması ve öğrencinin derse olan ilgisini artırarak başarısının yükseltilmesi hedeflenerek yapılmıştır.

Çalışmada ilk aşama olarak, geniş bir literatür taraması yapılmış, öğrencilerin kullanabileceği teorik bilgiler oluşturulmuştur. Daha sonra malzeme bilimi dersinin anlatılmasında kullanılmak üzere, AutoCad, SolidWorks ve 3D Studio Max programları kullanılarak üç boyutlu animasyonlar hazırlanmıştır. Animasyonların mümkün olduğunca anlaşılır ve teorik bilgilerle birbirlerini tamamlar nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca teorik bilgilerle animasyon görüntüleri web sayfası formatında, tek bir CD’ye sığacak biçimde bir araya getirilerek konuların daha düzenli ve bütünlük içinde öğrencilere sunulması hedeflenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Üç boyutlu animasyon, Malzeme Bilimi, Web

**ABSTRACT****ANIMATION APPLICATIONS IN MATERIAL SCIENCE**

This presentation aims to study the Material Science lessons in undergraduate faculties by means of computer and to increase the success of the students by developing a higher interest for the lesson.

In the first step, a wide range research of the literature has been made and the theoretical information students can use have been developed. Afterwards, three-dimensional animations have been prepared using AutoCad, SolidWorks and 3D Studio Max in order to use for the Material Science lessons. It is of utmost importance that the animations should be easily understandable and have a complement with the theoretical information used. Furthermore, it is aimed to present the subjects to the students in a more complete and organized way by merging the animation images with the theoretical information as a website format included in one CD.

**KEY WORDS:** Three-Dimensional Animations, Material Science, Website

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

$\perp$	Kenar dislokasyonu
$A_0$	İlk kesit alanı
C	Karbon
CD	Compact disk
CH <sub>4</sub>	Metan
Cl	Klor
Cr	Krom
F <sub>Ç</sub>	Atomlar arası çekme kuvveti
F <sub>İ</sub>	Atomlar arası itme kuvveti
F <sub>T</sub>	Atomlar arası toplam kuvvet
H <sub>2</sub> O	Su
L <sub>0</sub>	İlk ölçü uzunluğu
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
Mo	Molibden
Na	Sodyum
NaCl	Sodyumklorür
Ni	Nikel
O	Oksijen
Si	Silisyum (Silikon)
Ti	Titanyum
W	Tungsten(Wolfram)
Zn	Çinko
$\varepsilon$	Birim uzama
$\sigma$	Gerilme
ADF	Atomsal dolgu faktörü
BDE	Bilgisayar destekli eğitim
BK	Basit kübik
BSD	Brinell sertlik değeri
HMK	Hacim merkezli kübik



HSP	Hegzagonal sıkı paket
SDH	Sıkı düzenli hegzagonal
TS	Türk Standartları
VSD	Vickers sertlik değeri
YMK	Yüzey merkezli kübik

## ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Şekil 3.2.1.1.	Tel kafes modelin başlangıç çizimleri.....	10
Şekil 3.2.1.2.	Tel kafes modelin çeşitli görünümleri.....	11
Şekil 3.2.2.1.	Kompozit malzemelerle ilgili yüzey modelleme örnekleri.	12
Şekil 3.2.2.2.	Yorulma deney mekanizması için tasarlanmış bir yüzey modelleme örneği.....	13
Şekil 3.2.3.1.	SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı alt tablası.....	14
Şekil 3.2.3.2.	SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı milleri.....	15
Şekil 3.2.3.3.	SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı orta ve üst tablalar.....	15
Şekil 3.2.3.4.	SolidWorks programında görülen montaj sayfası ve katı modellenmiş çekme deney cihazı.....	16
Şekil 3.3.1.2.1.	3D Studio Max programında iki boyutlu model oluşturma komutları.....	20
Şekil 3.3.1.2.2.	Jominy deneyinin iki boyutlu modeli.....	20
Şekil 3.3.1.2.3.	Jominy deneyinin üç boyutlu modeli.....	21
Şekil 3.3.1.2.4.	3D Studio Max'de üç boyutlu standart model oluşturma komutları.....	22
Şekil 3.3.1.2.5.	HMK yapının ve birim hücrenin üç boyutlu modeli.....	22
Şekil 3.3.1.3.1.	3D Studio Max programı nesnelere hareketlendirmede kullanılan zamanlama araç çubuğu (Animation frame), animasyondan önceki ve sonraki durumlar.....	23
Şekil 3.3.1.3.2.	Jominy deney animasyonunda materyalleri Hareketlendirme.....	24
Şekil 3.3.1.3.3.	Jominy deney animasyonunda kamera ile farklı görüş açıları.....	25
Şekil 3.3.1.3.4.	Jominy deney animasyonunda kullanılan çeşitli ışık kaynakları ve polimer malzemelerde kullanılan ışık efekti...	25

Şekil 3.3.1.4.1.	Malzeme-Kaplama düzenleyicisi ve uygulamalarda kullanılan bazı materyaller.....	26
Şekil 3.3.1.4.2.	Çeşitli objelere atanan bazı materyaller.....	26
Şekil 3.3.1.5.1.	Film Oluşturma Sahnesi (Render Scene).....	27
Şekil 3.3.1.5.2.	Dosya uzantılarının seçimi ve örnek film.....	27
Şekil 4.1.1.1.	Metal malzeme numunelerinin çalışma animasyonları.....	28
Şekil 4.1.1.2.	Alaşımli çelik malzeme numunelerinin çalışma animasyonları.....	29
Şekil 4.1.2.1.	Plastik malzemenin şekil değiştirme animasyonu.....	30
Şekil 4.1.2.2.	Polimer malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları (I)..	31
Şekil 4.1.2.3.	Polimer malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları (II).	31
Şekil 4.1.3.1.	Seramik malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları.....	32
Şekil 4.1.3.2.	Bilgisayar ortamında hazırlanmış cam malzeme görüntüleri	32
Şekil 4.1.4.1.	Kompozit malzemelerin tanıtım animasyonu.....	33
Şekil 4.2.1.1.	Karbon elementinin şematik atom yapısı.....	34
Şekil 4.2.1.2.	Bohr atomunun elektron yörüngelerinin şematik doğrultuları	35
Şekil 4.2.2.1.	Alüminyumun K, L, M ana kabuklarındaki elektron dizilişleri.....	36
Şekil 4.2.3.1.	Bohr atomu elektron yörüngeleri animasyonu.....	37
Şekil 4.2.3.2.	Helyum atomunun elektron dönme hareketleri animasyonu.	37
Çizelge 4.3.1.	Atomlar arası bağ çeşitleri.....	38
Şekil 4.3.1.1.	NaCl kristalinde meydana gelen iyonik bağ oluşum animasyonu.....	39
Şekil 4.3.1.2.	NaCl kristali atomlarının diziliş animasyonları.....	39
Şekil 4.3.2.1.	H <sub>2</sub> O molekülü.....	40
Şekil 4.3.2.2.	Metan (CH <sub>4</sub> ) molekülündeki kovalent bağ arasındaki 109.5°'lik açı animasyonu.....	41
Şekil 4.3.2.3.	Metan molekülündeki kovalent bağ animasyonu.....	41
Şekil 4.3.2.4.	Elmasın yapısı ve kovalent bağın şematik gösterimi.....	42
Şekil 4.3.3.1.	Metalik bağın üç boyutlu gösterimi.....	43
Şekil 4.3.3.2.	Metalik bağ animasyonu.....	44

Şekil 4.3.4.1.	Tüm atom ve moleküllerde geçici kutuplaşma, sürekli kutuplaşma (Asimetrik ve Polar moleküllerde).....	44
Şekil 4.3.4.2.	Sudaki hidrojen bağlarının moleküler seviyedeki gösterimi ve buzun kristal yapısı.....	45
Şekil 4.3.4.3.	Monomer moleküllerin yapısı ve bir su molekülü oluşumu animasyonu.....	46
Şekil 4.3.5.1.	Atomlar arası denge mesafesinin gösterilmesi.....	47
Şekil 4.3.5.2.	Denge mesafesi ve sıcaklık.....	47
Şekil 4.3.5.3.	Atomlar arası denge durumu – potansiyel enerji grafiği.....	48
Şekil 4.3.5.4.	Ergime sıcaklığının ısıl genleşmeye etkisi.....	49
Şekil 4.3.5.5.	Bağ enerjisi – Atomlar arası mesafe grafiği.....	49
Şekil 4.4.1.	Amorf yapıli atomların üç boyutlu gösterimi.....	50
Şekil 4.4.2.	Moleküler yapıya sahip Si <sub>2</sub> O molekülü animasyonu.....	51
Şekil 4.4.3.	Moleküler yapıya sahip H <sub>2</sub> O molekülü üç boyutlu gösterimi	51
Şekil 4.4.4.	Kristal yapının üç boyutlu gösterimi.....	52
Şekil 4.4.1.1.	Metal kristal kafesi birim hücresi ve kafes noktaları animasyonu.....	53
Şekil 4.4.1.2.	X, Y ve Z koordinat eksenlerine sahip bir birim hücrenin, kafes parametrelerinin (kenar uzunlukları ve eksenler arası açılar) gösterilmesi.....	53
Şekil 4.4.2.1.	Basit kübik kafes sistemindeki atomların üç boyutlu gösterimi.....	54
Şekil 4.4.3.1.	Hacim merkezli kübik kafes yapısı, atomların yerleştiği yerlerin, birim hücrede bulunabilecek atom sayısının animasyonu.....	56
Şekil 4.4.5.1.	Yüzey merkezli kübik kafes yapısında atomların yerleştiği yerler ve birim hücrede bulunabilecek atom sayısının animasyonu.....	57
Şekil 4.4.5.2.	KYM kafeste atomların dizilişi.....	58
Şekil 4.4.6.1.	Eksi bölgede bileşen veren kristal doğrultusu.....	59
Şekil 4.4.6.2.	Kristal kafes noktalarının koordinatlarının animasyonu.....	59
Şekil 4.4.7.1.	Hacim merkezli kübik kafeste (110) kristal düzlemi ve	

	düzlem içerisinde bulunan atomların animasyonu.....	60
Şekil 4.4.7.2.	Kübik kristal kafeste gösterilen A ve B kristal düzlemlerinin animasyonu.....	60
Şekil 4.4.7.3.	Hekzogonal kristal kafesinde gösterilen örnek kristal düzlemlerinin animasyonu (1. adım).....	61
Şekil 4.4.7.4.	Hekzogonal kristal kafesinde gösterilen örnek kristal düzlemlerinin animasyonu (2. adım).....	62
Şekil 4.4.8.1.	Hacim merkezli kübik kafeste [100] kristal doğrultusu ve atomlar arası mesafe animasyonu.....	63
Şekil 4.4.9.1.	YMK kafesi içerisinde (110) kristal düzlemi animasyonu...	64
Şekil 4.4.10.1.	Hegzagonal Sıkı Paket Kafesinde AB AB ...düzlemlerinin üç boyutlu gösterilmesi.....	65
Şekil 4.4.10.2.	HSP kafesinde birim hücre animasyonu.....	66
Şekil 4.4.10.3.	YMK sıkı paket kafeste ABC ABC ..... düzlemlerinin animasyonu.....	66
Şekil 4.5.1.1.1.	Atom boşluğu animasyonu.....	67
Şekil 4.5.1.2.1.	Arayer atomu animasyonu.....	68
Şekil 4.5.1.2.2.	Arayer atom hatası çeşitli animasyonları.....	69
Şekil 4.5.2.1.1.	Kenar dislokasyonu animasyonları.....	70
Şekil 4.5.2.2.1.	Sıkıpaket YMK istifleme, Sıkı paket YMK istifleme hatası..	71
Şekil 4.6.1.	Sudaki difüzyon olayı.....	71
Şekil 4.6.1.1.	Boşluk difüzyonu animasyonu.....	72
Şekil 4.6.2.1.	HMK kafese sahip demir içerisinde arayer difüzyonu ile hareket eden karbon atomu animasyonu.....	73
Şekil 4.6.3.1.	Halka difüzyonu animasyonu.....	73
Şekil 4.6.4.1.	Kararlı durum difüzyonu animasyonu (1.adım).....	74
Şekil 4.6.4.2.	Kararlı durum difüzyonu animasyonu.....	75
Şekil 4.7.1.1.1.	Brinell sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum.....	77
Şekil 4.7.1.1.2.	Brinell sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum.....	77
Çizelge 4.7.1.1.1.	Standart brinell deneyinde uygulanan yüke göre tavsiye edilen sınır değerler.....	78
Şekil 4.7.1.2.1.	Rockwell sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum.....	79

Şekil 4.7.1.2.2.	Rockwell sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum.....	80
Şekil 4.7.1.3.1.	Vickers sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum.....	81
Şekil 4.7.1.3.2.	Vickers sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum.....	81
Şekil 4.7.1.3.3.	Vickers izinin şematik gösterimi ve mikroskoptan alınan resmi.....	82
Şekil 4.7.1.4.1.	Mikro sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk adım.....	83
Şekil 4.7.1.4.2.	Mikro sertlik ölçme deneyi animasyonu son adım.....	84
Şekil 4.7.2.1.	Çekme deneyi animasyonu (1.adım).....	84
Şekil 4.7.2.2.	Çekme deneyi animasyonu.....	85
Şekil 4.7.2.1.1.	Çekme deneyi kuvvet-uzama diyagramı.....	86
Şekil 4.7.2.1.2.	Çekme deney numunesinde meydana gelen deformasyon animasyonu.....	87
Şekil 4.7.2.2.1.	Tavlanmış az karbonlu çeliğin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi.....	87
Şekil 4.7.3.1.	Kesit görünüşteki numuneye uygulanan basma deneyi başlangıcı.....	88
Şekil 4.7.3.2.	Kesit görünüşteki numuneye uygulanan basma deneyi bitişi	89
Şekil 4.7.3.3.	Basma deneyi diyagramı.....	90
Şekil 4.7.4.1.	Bir darbe deneyi cihazının animasyonu.....	91
Şekil 4.7.4.2.	Charpy deneyinde kullanılan numunenin yerleştirilmesi animasyonu.....	91
Şekil 4.7.4.3.	Charpy deneyinin çalışma prensibi animasyonu.....	92
Şekil 4.7.4.4.	İzod numunesi ve deneyin çalışma prensibi animasyonu.....	93
Şekil 4.7.4.5.	Izod deneyinde kullanılan numunenin yerleştirilişi ve deneyin üstten görünüş animasyonu.....	93
Şekil 4.7.4.6.	Charpy ve Izod deneylerinde kullanılan çentikli numuneler a) V çentikli Charpy deney numunesi, b) U çentikli Charpy deney numunesi, c) Anahtar deliği çentikli Charpy deney numunesi, d) Izod deney numunesi.....	94
Şekil 4.7.4.7.	İki sade karbonlu ve paslanmaz çelik için Charpy V- çentik özellikleri.....	95
Şekil 4.7.4.8.	Sünek – Gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesi.....	95

Şekil 4.7.5.1.	Yorulma deney mekanizması animasyonu.....	96
Şekil 4.7.5.2.	Yorulma gerilmesi periyodu.....	97
Şekil 4.7.5.3.	Çelik ve demir olmayan malzemelerin Wöhler diyagramları	98
Şekil 4.7.6.1.	Sürünme deneyi animasyonu 1.adım.....	99
Şekil 4.7.6.2.	Sürünme deneyi animasyonu sonu.....	100
Şekil 4.7.6.3.	Tipik sürünme eğrisi.....	100
Şekil 4.7.7.1.	Eğme deneyi animasyonu.....	101
Şekil 4.7.8.1.	Burulmaya maruz kalan bir numune animasyonu.....	102
Şekil 4.7.8.2.	Burulma sonucunda kırılan gevrek bir malzemenin kırılma biçiminin görünümü.....	102
Şekil 4.7.8.3.	Metal malzemeler için burulma diyagramı.....	103
Şekil 4.7.8.4.	Burulmaya maruz kalan bir malzeme animasyonu 1.adım...	103
Şekil 4.7.8.5.	Burulmaya maruz kalan bir malzemedeki kayma gerilmelerinin gösterimi.....	104
Şekil 4.7.8.6.	Daire kesitli olmayan bir profilin burulma animasyonu.....	104
Şekil 4.8.1.1.	Jominy (Sertleşebilirlik) deneyi animasyonu ilk adım.....	106
Şekil 4.8.1.2.	Jominy (Sertleşebilirlik) deneyi animasyonu ikinci adım....	106
Şekil 4.8.1.3.	Farklı çelikler için sertleşebilirlik eğrileri.....	107

## 1. GİRİŞ

Eğitim ve teknoloji, bireylerin yaşamlarını ulusların arasındaki siyasal-ekonomik-kültürel ilişkileri ve toplumların sosyal refah düzeylerini belirlemede en önemli faktörler arasındadır. Özellikle teknolojide yaşanan değişim ve gelişmeler eğitimi, bağlı olarak da toplumu etkilemektedir. Bu nedenle teknoloji ve eğitim birbirleriyle ilintili kavramlardır (Öztopçu, 2003).

Eğitim “bireyin davranışlarında kendi yaşantısı yoluyla ve kasıtlı olarak istendik değişme meydana getirme sürecidir” (Ertürk, 1979). Kaliteli eğitim için, eğitimde teknolojinin kullanılması kaçınılmaz bir koşul ve önemli bir faktördür. Teknoloji sürekli gelişmekte ve takibi daha da önem arz etmektedir.

Eğitim öğretim uygulamalarında son teknoloji, bilgisayar teknolojisidir. Bilgisayarlar eğitimin klasik sistemini ve yapısını değiştirip büyük bir devrim yapmışlardır. Günümüzde bilgisayarlar eğitimin her alanında kullanılmaktadır. Bu alanlar kısaca aşağıdaki gibidir (İşman, 2001);

1. Eğitim araştırmaları
2. Eğitim-öğretim ortamlarını planlama ve tasarım faaliyetleri
3. Okul yönetiminin işlerinde, Okul bütçelerinin organizasyonu
4. Öğrenci işleri
5. Okul bütçelerinin organizasyonu
6. Eğitim-öğretim faaliyetleri
7. Bilgisayar laboratuvarları

Bilgisayarlar öğrencileri, bilgiyi ezberlemekten kurtarmakla birlikte yüklerini hafifletmekte ve azaltmaktadır. Bunun yerine çocuklar daha fazla bilgiyi ele almakta ve problem çözmeye daha istekli görünmektedirler. Öğrencileri birbirleri ile rekabet etmek yerine, yardımlaşmaya yöneltmektedir. Bilgisayar, öğretmen merkezli eğitimden önce öğrenci merkezli eğitime geçişi sağlamaktadır (Rıza, 2000).



Bilgisayar Destekli Eğitim (BDE) ise, öğretimin bilgisayar kullanılarak yapılması ve öğretim içeriğinin bilgisayar yoluyla aktarılmasıdır. Bilgisayar destekli eğitim, kendi kendine öğrenmeyi sağlayan ve programlı öğretim yönteminin ilkelerini esas alan bir süreçtir. BDE yazılım, donanım ve öğretmen olmak üzere birbirine bağlı bir sistemdir. Bunlardan birinin eksikliği sistemin çökmesi demektir. En iyi donanım özelliklerine sahip bilgisayar ve en nitelikli öğretmen yan yana gelse bile kaynaştırıcı etken olarak yazılım rol oynar. Türkiye’de Bilgisayar Destekli Eğitim, 1985–1986 öğretim yılında, Milli Eğitim Bakanlığının 1100 adet bilgisayarı satın almasıyla başlamıştır (Arslan, 2003).

Her konu ya da ders için yazılım ve öğretim uzmanlarının bir araya gelerek üretmiş oldukları programlar eğitimi bir adım daha ileriye götürmüştür. Bu programlar hem etkileşim sunmakta hem de bireysel öğretim sağlayabilmektedir (Demirel, 2000).

Günümüzde çeşitli bilgisayar programları kullanarak çok güçlü ve farklı formatlarda eğitim paketleri üretmek mümkündür. Bu tip eğitim paketleri konuları aktarma konusunda çok güçlüdür, öğrenciye bire bir etkileşim imkânı vererek motivasyonu büyük ölçüde artırır. Örneğin, klasik yaklaşım da öğrenciye herhangi bir sertlik ölçme deney cihazının nasıl çalıştığını öğretmek son derece zordur. Bunu yapabilmek için öncelikle detaylı bilgi vermek, hatta çizim yaparak üzerinde anlatmak gerekir. Bu uzun bilgi aktarımı sonunda öğrenmenin gerçekleşmesi, ancak gerçekleşmemesi kadar şansa sahiptir. Fakat cihazın nasıl çalıştığını anlatan bir animasyonu göstererek birkaç dakika içinde her şeyi aktarmak mümkündür.

Geleneksel öğretme-öğrenme ortamları, kalabalık sınıflar, zaman ve mekân sınırlılığı öğrencilerin öğrenme sürecine etkin katılımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür sorunları gidermek için kullanılan yöntemlerden birisi de eğitimde bilgisayarın kullanılmasıdır.

Diğer taraftan eğitim yazılımının kullanılabilmesi için mutlaka gerekli donanımın bulunması gerekir. Sınıfların ya da okulların bilgisayar destekli eğitim için gerekli donanıma erişimi bazen zor ya da pahalı bir süreç olabilir. Yazılımların sürekli

yenilenmesi de ek bir maliyet getirebilir. Ayrıca bilgisayarların kullanımı uygun planlanmamış ise öğrenciler arası sosyal ilişkiler gelişmeyebilir. Öğrenci-öğretmen, öğrenci-öğrenci ilişkisinin zayıf olması sosyal gelişmeyi olumsuz yönde etkileyebilir (Öztopçu, 2003). Bilgisayarlı eğitimde derslerin tasarımı büyük zaman alabilir. Bir grafiğin ya da animasyonun ortaya çıkarılması uzun süren bir iştir. Bu durum da ders tasarımında onlarca insanın birlikte çalışmasını gerektirebilir. Fakat bilgisayarlı eğitimde görülen bu sınırlılıkların tamamı teknolojinin gelişmesiyle ve gerekli önlemlerinde alınmasıyla rahatlıkla ortadan kaldırılabılır.

Bu çalışmanın genel amacı, lisans düzeyinde eğitim veren fakültelerdeki 'Malzeme Bilimi' dersinin bilgisayar kullanılarak anlatılması, pahalı ve elde bulunmayan mekanizmaların görsel olarak tanıtımı ve öğrenciye bu mekanizmaları sanki kendi çalıştırıyormuş hissi vererek konuların daha anlaşılır olmasını sağlamaktır. Laboratuvar ortamında yapılması tehlikeli, elde edilmesi zor ve pahalı olan deneyler benzetişim yöntemi ile kolayca yapılabilmekte, zaman ve para yönünden kar edilmektedir.

Malzeme bilimi dersinin etkin bir şekilde işlenebilmesi için malzeme laboratuvarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat çoğu üniversitede laboratuvar ve laboratuarda kullanılacak malzeme eksik olarak bulunmaktadır. Bu gibi durumlarda da öğrenci konuyu anlamakta zorluk çekmektedir. Ayrıca donanım bakımından eksiksiz bir laboratuvar olsa dahi, eğitim paketi kullanılarak işlenen ders sayesinde öğrenci laboratuvara gitmeden önce konuyla ilgili bir ön bilgiye sahip olacaktır. Bunun yanına Malzeme Bilimi konularının ve deneylerinin animasyonlarla öğrenciye aktarılması eğitimin daha kolay, anlaşılır ve kalıcı olmasını sağlayacaktır. Böylece öğrenci başarısı yükselecektir (Aydoğan, 2003).

Malzeme bilimi ile ilgili bu güne kadar yapılan eğitsel amaçlı çalışmalarda konular anlatılırken genellikle şemalardan ve iki boyutlu çizimlerden faydalanılmaya çalışılmıştır. Yabancı dilde hazırlanan bazı çalışmalarda malzeme bilimi konularından bazıları üç boyutlu animasyonlardan da faydalanılarak anlatılmakla beraber yerli kaynaklarda üç boyutlu animasyonlara rastlanmamıştır. Bu bakımdan

ele alınan bu çalışma ve özellikle oluşturulan CD daha da geliştirilmeye açık olmakla beraber örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma bir bütünün iki parçasından birini oluşturmaktadır. Bu kısımda malzeme bilimiyle ve hazırlanan animasyonlarla ilgili teorik bilgiler oluşturulmuş ve bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak ele alınan konulardaki sistemlerin üç boyutlu animasyonları hazırlanmıştır. Teorik bilgiler ile animasyonlar birbirlerini tamamlar nitelikte bir araya getirilmiştir. Gerek sınıf ortamında gerekse özel çalışma ortamlarında öğrencilerin bu çalışmadan daha verimli bir şekilde faydalanabilmeleri, konuların daha akıcı ve öğrencinin ilgisini üst düzeyde tutacak biçimde sunulabilmesi, konular arasında hızlı geçişin sağlanabilmesi ve en önemlisi de bireysel çalışmaya olanak sağlamak amacıyla çalışma web sayfası formatında CD'ye dönüştürülmüştür. Hazırlanan CD, aynı süreçte eş güdümlü bir biçimde tamamlanan birbirini tamamlar nitelikteki iki farklı çalışmayı kapsamaktadır. CD kapsamındaki diğer çalışmada (Oral, 2005) daha çok iki boyutlu animasyonlarla web sayfası tasarımına ağırlık verilirken bu çalışmada üç boyutlu animasyonlarla teorik bilgilere ağırlık verilmiştir.

Materyal ve yöntem kısmında ise ders konularının ve deneylerin ifade edilmesinde kullanılacak çeşitli programlar, malzeme bilimine yönelik örnek çalışmalar eşliğinde tanıtılmıştır. Hareketli animasyonlardan oluşan bir sunumun yapılmasını en iyi gerçekleştirebilecek, malzeme bilimi dersi konularını animasyon ve bilgilerle birleştirip sanki bir malzeme bilimi dersi laboratuvarında ders yapıyormuş hissini gerçekleştirebilecek ve konuların anlaşılabilirliğini ve konulara dikkati çekmeyi sağlayacak 3D Studio Max programı tanıtılmıştır. Ayrıca bu çalışmada 3D Studio Max programı ile etkileşimli olarak kullanılan diğer tasarım programlarına da değinilerek her birinin üstün yönlerine vurgu yapılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Malzeme bilimi ile ilgili geçmişten bu güne birçok eserin hazırlandığı görülmüştür. Her konuya eşit ağırlık vererek yalın bir dille hazırlanmış eserler olmakla beraber, özel konulara yoğunlaşan kitaplar da mevcuttur. Özellikle yerli kitaplar ile yabancı ve çeviri kitaplar arasından anlatım dili ve konuların işleniş biçimi açısından farklı yöntemler kullanıldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen çoğu kaynakta, konuları ifade etmeye yönelik şekillerin, resimlerin ve diğer görsel öğelerin zenginleştirilme ihtiyacı göze çarpmaktadır. İncelenilen kitapların yanı sıra malzeme bilimi ve üç boyutlu animasyon konularını kapsayan çok sayıda makale ve bildiriye ulaşılmak suretiyle faydalı bilgilerden ve bakış açılarından istifade edilmiştir.

Bu çalışmanın konu bazında net bir örneği bulunmamasına rağmen diğer bilim dallarında hazırlanmış olan eğitim ve tanıtım cd'lerinin ve hatta endüstriyel alanda faaliyet gösteren bazı şirketlerin tanıtım cd'lerinin ve üç boyutlu ürün kütüphanelerinin bir birikim sonucu örnek teşkil etmeleri söz konusu olmuştur.

Yabancı dilde yazılan kaynaklardan William D. Callister'in "Fundamentals of Materials Science and Engineering" ve "Materials Science and Engineering", adlı eserleri incelenmiş ve bu eserlerde zengin görsel öğelerin kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca "Materials Science and Engineering" adlı eserle birlikte kitaptaki görsel öğelerin bir araya toplandığı ilave bir cd'ye ulaşılmıştır.

Yapı sektöründe, çelik malzeme üretimi konusunda öncü firmalardan olan MESAİMALAT firmasının çıkarmış olduğu iki adet tanıtım cd'sindeki 3D Studio Max ve benzeri animasyon programları aracılığıyla hazırlanmış olan animasyonlar incelenmiş ve uygun bir tasarım ve animasyon mantığı kullanıldığı görülmüştür. Yine bezer mantıkla hazırlanmış olan VEKTÖROFİS, VİTRA, ARTEMA, ECZACIBAŞI firmalarının sektörel bazda yayınladığı tanıtım amaçlı 3 boyutlu ürün kütüphane CD'sinde yer alan malzemeler, tasarım ve animasyon programları kullanılarak tamamlanmıştır. Ayrıca bu cd'nin tesisat eğitiminde de kullanılabileceği görülmüştür (Vektörofis, 2004).

Dinç, matematik eğitimi konusunda 3D Studio Max programını kullanarak üç boyutlu animasyonlar hazırlamış ve bunları bir eğitim cd'sine dönüştürmüştür. Böylece matematiğin daha kolay anlatılmasına ve öğrenilmesine olanak sağlayarak öğrencilerin bireysel çalışmalarına da katkıda bulunmuştur (Dinç, 2000).

Çetiner, "Mimarlık Eğitiminde Bilgisayar Kullanımı ve Bir Örnek" adlı çalışmasında mimari alanda eğitim gören öğrencilere, çeşitli mimari bilgileri tasarım ve animasyon programları aracılığı ile sunmuştur. Öğrencilerin konuları üç boyutlu görmelerini sağlayarak daha verimli algılama sağlanması hedeflenmiştir (Çetiner, 2006)

Clark, "Developing, Integrating, and Sharing Web-Based Resources for Materials Education" adlı makalesinde malzeme biliminin bazı konularını iki ve üç boyutlu görsel ifadeler kullanarak ele almıştır. Bazı konuları ilgi çekici gerçek nesnelere benzetişim yoluyla ifade etmesi çalışmaya ayrı bir renk katmıştır. Hazırlamış olduğu java destekli animasyonlar QuickTime video formatında internet üzerinden yayınlanmaktadır.

Taşgetiren vd, e eğitim adı altında bir web sitesi oluşturmuşlardır. Bu sitede malzeme bilimi ve makine eğitimi kapsamında çeşitli derslerin ve sunuların bulunduğu görülmüştür. Ders anlatımında Macromedia Flash programında hazırlanmış iki boyutlu animasyonlardan yararlanılarak konuların görsel ifadelerle anlatılması sağlanmıştır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com/e%2Degitim/>). Süleyman Demirel Üniversitesi kütüphanesinde, Malzeme Bilimi Eğitiminde Çoklu Ortamın Kullanılması adlı yüksek lisans tezinde, malzeme bilimi kapsamlı bir şekilde görsel ifadeler kullanılarak anlatılmıştır (Aydoğan, 2003).

Teorik bilgilere ulaşmak amacıyla malzeme bilimiyle ilgili kitaplar incelenmiştir. Türkçe olarak yayınlanmış olan Kaşif ONARAN'ın Malzeme Bilimi (Onaran, 1995), Temel SAVAŞKAN'ın Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (Savaşkan, 1999), Eyüp Sabri KAYALI, Cahit ENSARİ ve Feridun DİKEÇ'in Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri (Kayalı vd., 1983), Emel GENÇKİNLİ'nin Metalografi (Gençkinli, 2001), Hüseyin UZUN, Fehim FINDIK ve Serdar SALMAN'ın Malzeme Biliminin

Temelleri I (Uzun vd., 2003), çeviri eserlerden Mehmet ERDOĞAN'ın Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1-2 (Askeland, 1998), Nihat KINIKOĞLU'nun Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Smith, 2001), Selahaddin ANIK, Sabri ANIK ve Murat VURAL'ın Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (Weissbach, 2000) ve yabancı dilde yayınlanan eserlerden William D. Callister'in "Fundamentals of Materials Science and Engineering" (Callister, 2000) ve "Materials Science and Engineering" (Callister, 2003) adlı kitaplarından faydalanılmıştır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışma, kullanılan materyal ve takip edilen yöntem bakımından üç ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda malzeme bilimiyle ve hazırlanan animasyonlarla ilgili teorik bilgilerin oluşturulması, ikinci kısımda bilgisayar destekli tasarım programları kullanarak ele alınan konulardaki sistemlerin katı modellerinin oluşturulması, üçüncü kısımda ise katı modellere bilgisayar ortamında nasıl hareket verilerek animasyon haline getirildiği anlatılarak kullanılan bilgisayar programlarından örnekler verilmiştir.

#### **3.1. Teorik Bilgilerin Oluşturulması**

Teorik bilgiler hazırlanırken önce kaynak araştırması yapılmıştır. Ülkemizde son zamanlarda yayınlanmış bulunan Malzeme Bilimi konularıyla ilgili kitaplar gözden geçirilmiştir. Yapılan incelemelerde yayınlanan kitapların birçoğunun fakültelerin müfredat konularına tam uymadığı, bazı konularda yüzeysel bilgiler verildiği, bazı konularda ise çok fazla ayrıntıya girildiği görülmüştür. Bunun yanında çoğu kitabın yabancı bir dildeki kaynaktan çeviri yapıldığı gözlemlenmiştir. Çeviri kitaplarda genellikle siyah beyaz baskı kullanılmıştır. Bu olay da bazı şekillerin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu noktada Türkçe kaynak sıkıntısı bulunduğu görülmüştür.

İnternet üzerinden yapılan araştırmalar sonucu çeşitli üniversitelerin web sayfalarından ve malzeme bilimi ile ilgili bazı web sitelerinden faydalanılmıştır. Böylelikle gerek üç boyutlu animasyonların teorik bilgilerle ifade edilmesi gerekse ele alınan konularla ilgili temel bazı kavramların daha net bir şekilde öğrenciye aktarılması sağlanmıştır. Konuların daha kolay anlaşılabilmesi için mümkün olduğunca fazla sayıda üç boyutlu animasyon, şekiller ve grafikler kullanılmıştır.

### 3.2. Malzeme Bilimi Eğitiminde Bilgisayar Destekli Tasarımın Kullanımı

Bilgisayar destekli tasarımdan bazı kimseler bilgisayarla teknik resim çizimini, bazı kimseler ise sonlu elemanlarla analiz gibi değişik konuları algılamaktadır. Makine tasarımı birçok alandaki bilimin bütüncül olarak uygulanmasını gerektirir. Bilgisayar destekli tasarım ile katı modelleme, montaj, hareket ve kuvvet analizi, sonlu elemanlarla titreşim ve yorulma analizleri ortak veri tabanlarını kullanarak farklı modüllerle gerçekleştirirler (Karagülle vd., 2001).

Günümüzde tüm bu işlemler Bilgisayar destekli tasarım (BDT) veya Computer Aided Design (CAD) adını taşıyan paket programlar kullanılarak yapılmaktadır. Ayrıca bu programlarda, standartları ve başka bilgileri kapsayan kütüphane oluşturma; oluşturulan çizimleri çok çabuk silme, saklayabilme, değiştirme, iyileştirme, birleştirme, simge oluşturma ve bu simgeleri başka çizimlerde kullanmak üzere saklayabilme, montaj resimlerinden parça resimlerinin çıkarılması ve parametrik tasarım denilen yöntemlerle otomatik olarak resim çizme gibi işlemler yapılabilmektedir. Başka bir deyimle tasarım işlemlerinde otomasyonu sağlamaktadır (Kayacan vd., 2002).

Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan tasarım programlarının başında, AutoCad programı gelmektedir (Aydıncal, 2001). Ancak AutoCad genel amaçlı bir tasarım programı olduğu için mekanik tasarım konusunda başka tercihler yapılmaktadır. Makine tasarımında bu gün yaygın olarak kullanılan CAD yazılımlar, AutoCAD, SolidWorks, DesignCAD, CadKey, Pro/ENGINEER, I-DEAS, CATIA, Autodesk Inventor ve CADD5 5 şeklinde sıralanabilir.

Grafik modelleme grafik etkileşimin esasını oluşturmaktadır. Yani grafik modelleme parçanın üç boyutlu gerçek görüntüsünü oluşturmaktır. Bir makine parçasının bilgisayar destekli olarak modellenmesinde başlıca üç yöntem kullanılmaktadır.

1. Tel Kafes Modelleme (Wire Frame)
2. Yüzey Modelleme (Boundary Representation)
3. Katı Modelleme (Constructive Solid Geometry)

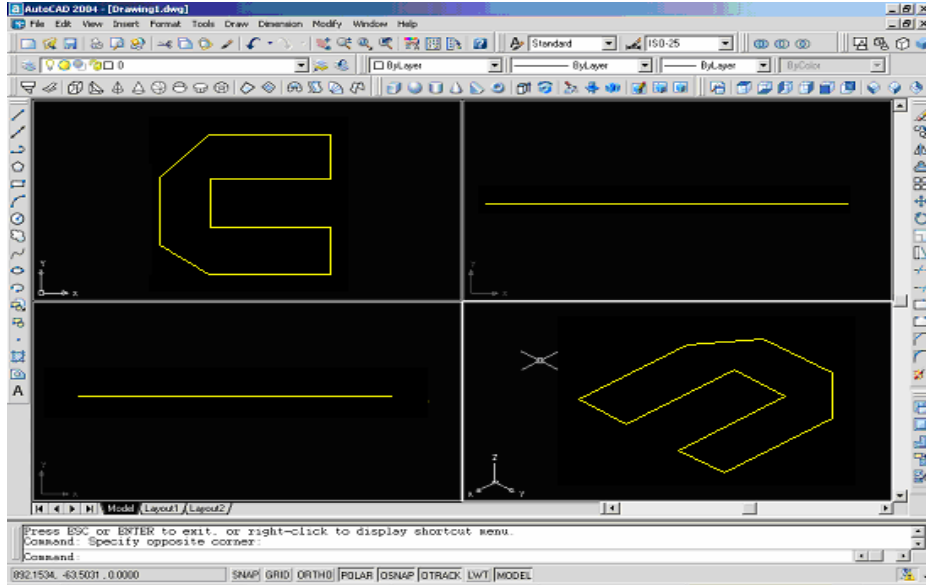


Bu çalışmada, belirttiğimiz grafik modelleme tekniklerinin her biri uygun görüntüler ve akıcı animasyonlar elde edebilmek için kullanılmıştır. Bu tekniklerin her birinin kendine özgü kullanışlı taraflarının olması, çalışmamızda modellerin daha rahat hazırlanmasına imkân vermiştir.

### 3.2.1. Tel Kafes Modelleme (Wire Frame)

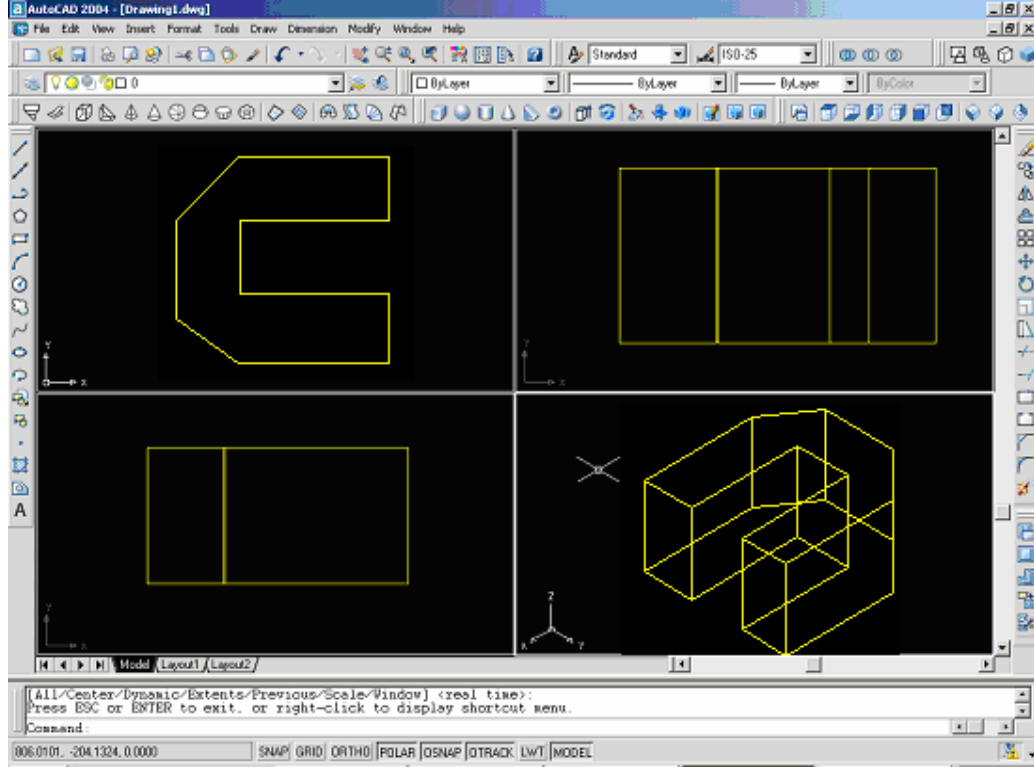
CAD çizim programlarının çoğu modellenecek nesnenin geometrisini göstermek için üç boyutlu tel kafes metodunu kullanmaktadır. En temel modelleme tekniği olan tel kafes sistemi nesnenin üç boyutlu görüntüsü hakkında bilgi vermekte ve herhangi bir yüzey söz konusu olmadığı için bilgisayarın işlemcisini ve bellek ünitesini fazla kullanmamaktadır. Bu sistem sadece çizgilerden meydana geldiği için herhangi bir eğrisel yüzey tanımlanamamakta, böylece nesne geometrisi üzerinde tereddütler meydana getirmektedir.

Nesnenin tel kafes modelini oluşturabilmek için ilk olarak iki boyutlu ortamda, çeşitli görünüşlerde parçanın resmi çizilir.



Şekil 3.2.1.1. Tel kafes modelin başlangıç çizimleri

Daha sonra bu çizime herhangi yöntemle yükseklik verilerek tel kafes modellemesi oluşturulmuş olur.



Şekil 3.2.1.2. Tel kafes modelin çeşitli görünümleri

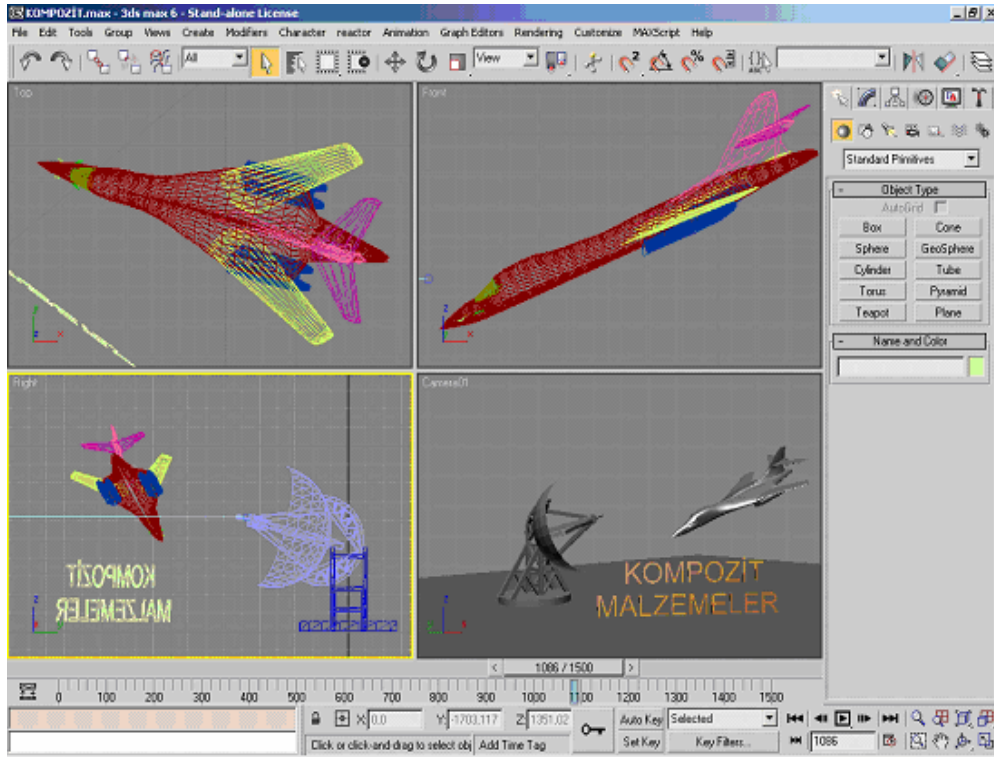
### 3.2.2. Yüzey Modelleme

Model, değişik formlardaki yüzeylerin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Bu daha çok yüzey modelleme komutlarının kullanılması ile gerçekleştirilir. Yüzey modelleme tekniği tel kafes sistemine göre nesnelere hakkında daha anlaşılır görsel bilgi vermektedir. Bu sistem nesnenin dış yüzeylerini eksiksiz olarak göstermekte ve yüzeylerde yer alan herhangi bir çıkıntı, boşluk, delik gibi özellikleri tanımlamaktadır. Ancak bu sistemde her ne kadar nesnenin geometrisi anlaşılır bir biçimde ifade edilmiş olsa da içi tamamen boş kalmaktadır. Bu özellik bazı uygulamalarda bilgisayarın daha performanslı çalışmasına izin verdiği için tercih sebebi olabilmektedir.

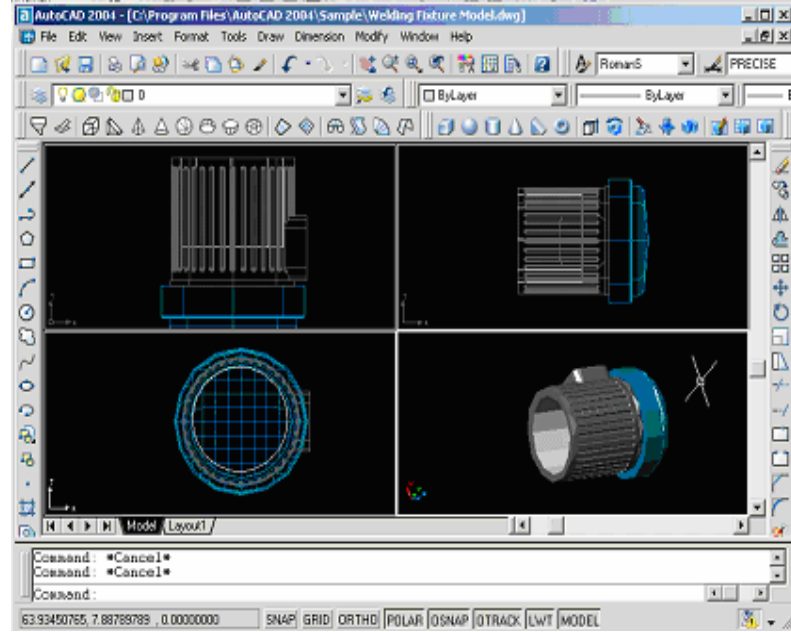
Yüzey modelleme tekniğinde kullanılan başlıca yöntemler; üç boyutlu ağ oluşturma (3DMESH), iki boyutlu bileşik çizgilerden oluşan bir nesnenin bir eksen etrafında döndürülmesi ile döndürülmüş yüzeyler elde etme (REVSURF), iki boyutlu bileşik

çizgilerden oluşan bir nesnenin bir hat üzerinde uzatılmasıyla sürüklenmiş yüzeyler elde etme (TABSURF), iki nesne arasında üç boyutlu bir yüzey oluşturma (RULESURF) ve birbiri ile temas halindeki dört çizgi üzerine yüzey oluşturma (EDGESURF) şeklindedir.

Özellikle mimari çizimlerde, otomotiv endüstrisinde, uçak mühendisliğinde, vazo, şişe, bidon gibi içi boş nesnelerin modellenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Nesneler içi boş olarak modellendiği için, bazı analizler (mukavemet, ağırlık, atalet momentleri) gerçekleştirilemez. Fakat modeller üzerinde kaplama ve ışıklandırma görsel olarak ifade edilebilir (Kocacıbağ ve Kocacıbağ 1998). Kompozit malzemeler kullanılarak yüksek teknolojiyle üretilen araçlar öğrencilere, malzeme dersi kapsamında aşağıdaki örneklerle sunulmaya çalışılmıştır. Bu örnekler diğer yöntemler kullanılarak yapılabileceği gibi yüzey modelleme tekniği kullanılarak da oluşturulabilir.



Şekil 3.2.2.1. Kompozit malzemelerle ilgili yüzey modelleme örnekleri



Şekil 3.2.2.2. Yorulma deney mekanizması için tasarlanmış bir yüzey modelleme örneği

### 3.2.3. Katı Modelleme

Katı modelleme tekniği günümüzde nesnelerin modellenmeleri için en gelişmiş modelleme tekniğidir. Bu teknik ile modellenen nesneler hem dış görünüş hem de iç yapı geometrisi bakımından gerçek nesneler ile bire bir aynı tasarımdadır. Katı olarak modellenmiş bir nesne görselliği fazlasıyla ifade edebilmekle birlikte aynı zamanda nesnelerin atalet momenti, ağırlık merkezi hesaplanabilmekte, istenilen kısımdan kesit görüntüleri elde edilebilmektedir. Ayrıca eğitim amacı hedeflenerek hazırlanan animasyon ve simülasyonlara dönüştürülebilmekte, sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerilme ve ısı analizleri yapılabilmekte, çeşitli ışıklandırma ve kaplama teknikleri uygulanabilmekte ve daha çok çeşitli alanlara adapte edilebilmektedirler.

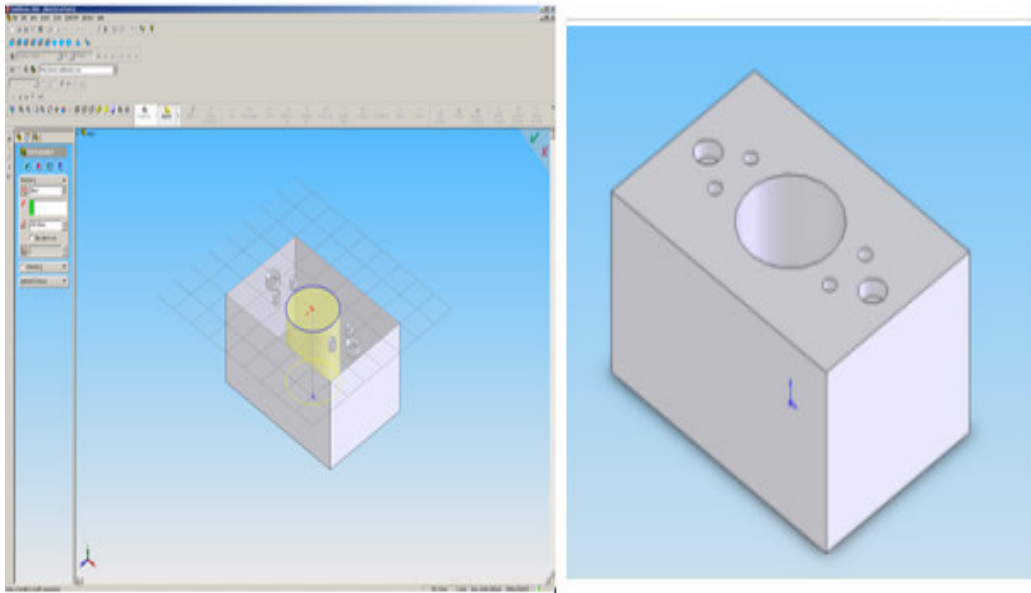
Katı modelleri elde etmenin çeşitli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerin her birinin çeşitli avantajları olmakla birlikte en sık olarak kullanılan yöntemler CSG (Constructive Solid Geometry – Konstrüktif Katı Geometrisi) ve B-rep (Boundary Representation – Sınır Gösterimi) yöntemleridir.

Günümüzde gelişmiş CAD yazılımları bu iki yöntemi de bir arada kullanmaktadır. Böylece bu yazılımlarda karma (hybrid) modelleme tekniği kullanılarak katı model oluşturulur.

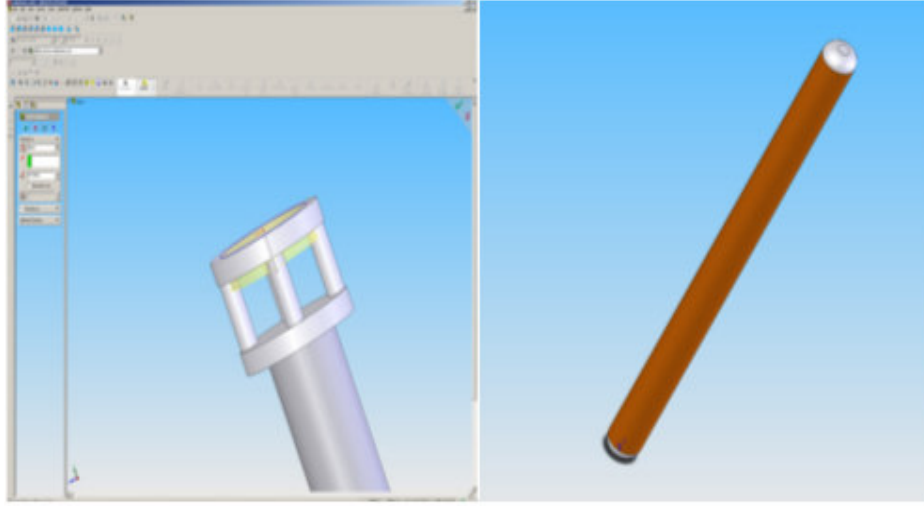
CSG yöntemde ilk olarak, küre, silindir, dikdörtgenler prizması, küp, koni gibi temel geometrik şekiller katı model olarak oluşturulur. Oluşturulan bu modeller boolean mantık komutları denilen, katıları birbirinden çıkarmak (subtract), birbirine eklemek (union) veya kesişimlerden (intersection) yeni katılar oluşturma işlemleri ile elde edilmek istenen gerçek katı modeller oluşturulur.

Mekanik özellikler başlığı altında sunduğumuz çekme deneyinin animasyonunu hazırlamak için ilk olarak bu deney cihazının katı modeli hazırlandı. Katı modeli oluşturmak için genellikle makine modellemede sıkça tercih edilen SolidWorks programı kullanıldı.

İlk aşmada yukarıda da bahsettiğimiz karma modelleme tekniği kullanılarak, çekme deney cihazının alt kaidesi, üzerine yerleşecek silindir ve mil yatakları katı model olarak tasarlandı.

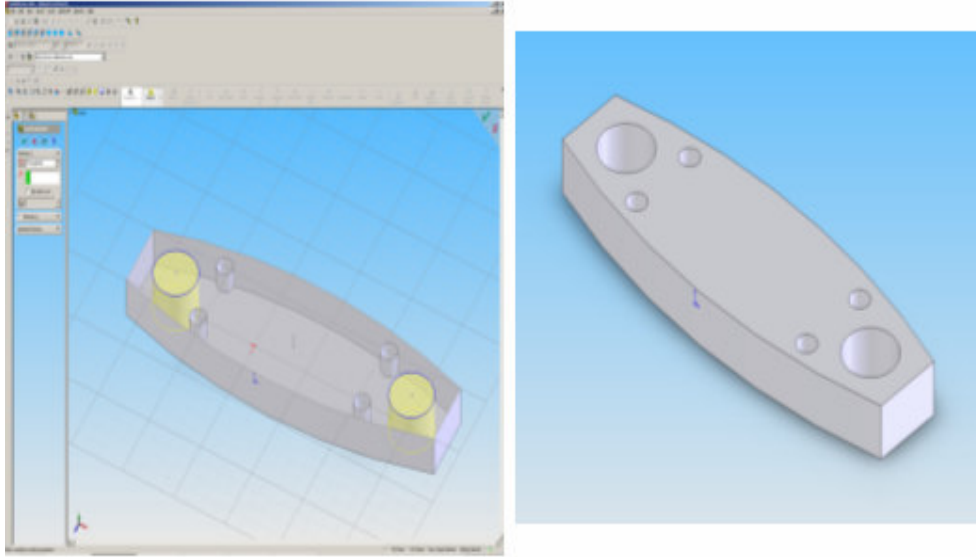


Şekil 3.2.3.1. SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı alt tablası



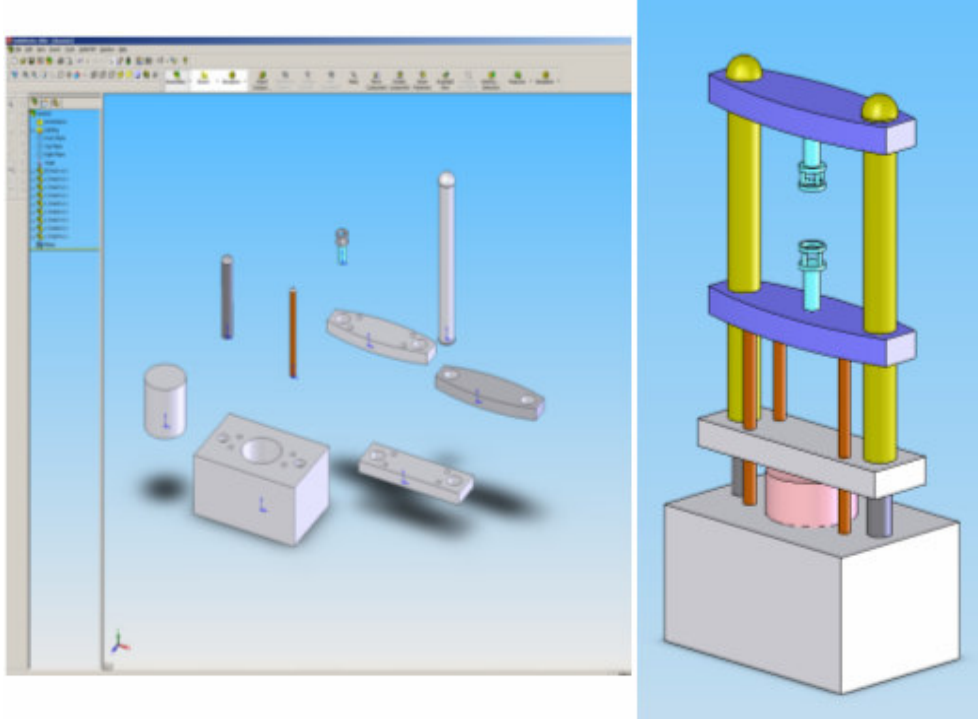
Şekil 3.2.3.2. SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı milleri

İkinci aşamada ise miller ve çekme numunesine yük uygulayan çeneler ve bunları muhafaza eden orta ve üst tablalar modellenmiştir.



Şekil 3.2.3.3. SolidWorks programında katı modellenmiş çekme deney cihazı orta ve üst tablalar

Son aşamada ise Şekil 3.2.3.4'de görülen burada değinmediğimiz detay parçalar ve piston montaj sayfasına sırası ile çağrılarak mate komutu kullanılmak suretiyle birleştirildi. Böylece montaj işlemi gerçekleştirilerek çekme deney cihazı katı modellenmiş oldu.



Şekil 3.2.3.4. SolidWorks programında görülen montaj sayfası ve katı modellenmiş çekme deney cihazı

SolidWorks programı, tasarımın her aşamasında müdahale şansı vererek, modelin boyutlarının, ölçülerinin ve ayrıntılarının istenilen şekilde değiştirilmesi mümkündür. Kısa sürede teknik resim ve montajların yapılmasını sağlar. Feature tree (tasarım ağacı) ile yapılan işlemlerin sıraları ve yapıları değiştirilebilir. Üstelik yapılan değişiklikler sonucu varsa yapılmış olan montaj ve teknik resimde yenilenmiş olur (Firmerdesigns, 2005).

SolidWorks programının diğer tasarım programlardan üstün olan kısmı, mekanik olarak çalışan makine parçalarının başka bir aracı programa ihtiyaç duyulmaksızın hemen tasarımın yapıldığı yerde hareketlerinin gözlenebilmesi ve görsel olarak daha estetik parçaların üretilebilmesidir. Bu çalışmada da bazı tasarımların animasyonlarını yapmadan önce SolidWorks programında modelleri oluşturup, tahmini hareketleri programda önceden tasarlamak daha verimli sonuçların elde edilmesine imkân sağlamıştır.

Böylece teknik resimde veya montajda parçaya müdahale edebilme şansı doğar.

Bu çalışmada malzeme biliminde ele alınan çeşitli konuların ve deney sistemlerinin, her birinin kendilerine ait üstün özellikleri bulunan bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak katı modelleri oluşturulmuştur. Bu katı modellere profesyonel bir animasyon programı olan 3D Studio Max programı kullanılarak gerçeğe uygun hareketlendirmeler verilmiştir. Böylece malzeme bilimi konuları sanal gerçeklik çerçevesinde bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

### **3.3. Animasyonların Hazırlanması**

Animasyonlar bilimsel canlandırma, eğlence, eğitim, mimarlık, multimedya, mühendislik, reklam sektörü, sinema, televizyon, uzay çalışmaları ve video gibi bir çok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Animasyon, bir çok resim ve grafiğin senaryolar içerisinde hareketlendirilmesidir. Hareketlendirme işlemi bir kaç değişik yol ile gerçekleştirilebilir. En yaygın hareketlendirme yöntemi senaryolar arasında geçişler sağlanarak gerçekleştirilen hareketlendirmedir.

Bu hareketlendirme işlemi, çoğu animasyon programında sahneler peş peşe getirilerek oluşturulur. Örneğin uçan bir kuşa ait her hareket bir sahne içerisinde yer almakta ve animasyon farz edelim toplam on adet sahneden oluşuyorsa bu sahnelerin ard arda getirilmesi ile kanat çırpın bir kuş animasyonu oluşturulur. Yıllar boyu grafikler (resimler) üzerinde hep bir türlü bir hareketlilik gerçekleştirilmiştir. Bu hareketlendirme mantığını, en çok çizgi film yapımcıları kullanmıştır. Aslında televizyonda izlenen veya video cihazında yürütülen filmlerin genel mantığı da budur. Bütün bu çalışmalar birbiri ardına eklenmiş milyonlarca resim ve ses montajlarından ibarettir.

Bir başka hareketlendirme mantığı, metin veya grafiklerin ekranın bir yerinden başka bir yerine hareketlendirilmesidir. Bu tür hareketlerde grafik veya metin, şekil değişikliğine uğramadan sadece konum değiştirirler. Bu işlem, özel efektlerle gerçekleştirilebilir (Karagülle vd., 2001).



Malzeme bilimi dersi kapsamında hazırlanan bu çalışmada da daha önce bahsedilen yöntemlerle oluşturulan çeşitli şekiller ve katı modeller bu hareketlendirme mantıkları kullanılarak animasyon haline getirilmiştir.

Üç boyutlu animasyonları oluşturabilmek için bu gün itibariyle 3D Studio Max, Alias, Authorware, AnimationMater, XSI, Cinema4D, Maya, Lightwave, Poser, Rhino, Softimage, Cheetah3D, Zbrush sıkça kullanılan programlardır. Yazılım sektörünün hızla gelişmesiyle her geçen gün bu programlara yenileri eklenmekte ve yürürlükte olan programların da üst versiyonları kullanıma sunulmaktadır. Bu çalışmada ise en çok tercih edilen animasyon ve modelleme programı olan 3D Studio Max kullanılmıştır.

### **3.3.1. 3D Studio Max**

3D Studio Max parametrik 3 boyutlu modelleme, kaplama ve canlandırma yazılımıdır. Sayısal video üretiminden multimedia uygulamalara, ürün tasarımından eğitim paketlerine, mimari görselleştirmeden mekanik sistemlerin canlandırılmasına kadar 3 boyutlu grafik kullanımının olanaklı olduğu her uygulama alanında 3D Studio Max programı kullanılabilir.

3D Studio Max, benzerleri arasında en rahat kullanılan, en yetenekli ve en popüler üç boyutlu modelleme ve canlandırma yazılımıdır. Diğer programlara göre kullanım kolaylığı ve öğrenmede bulunabilecek kaynak bilgiler açısından oldukça doyurucudur.

3D Studio Max programı birçok alanda kullanılmakla beraber, yapılan bu çalışma programın eğitim alanında kullanılmasının en güzel örneklerden birisidir. Malzeme bilimi çerçevesinde hazırlanan bu çalışmada, çeşitli tasarım programlarında hazırlanan tüm modellere 3D Studio Max programında hareket verilmiş bir başka ifadeyle animasyon oluşturulmuştur.

3 boyutlu animasyonlar hazırlanırken şu aşamalardan geçilmiştir:

### 3.3.1. 1. Konu Belirleme (Storyboard)

Animasyon oluşturmanın ilk aşaması olarak nitelendirilen konu belirleme kısmında, anlatılmak istenen konunun hangi objeleri içerdiği, bu objelerin birbirleriyle ve çevreyle aralarındaki etkileşimleri, gösterimin ne kadar süreceği ve animasyon esnasında ortama giren veya ortamdan çıkan nesnelerin belirlenme süreci planlanarak bu nesnelerin görevleri belirli bir düzen dahilinde tasarlanır. Diğer bir deyişle senaryo hazırlanır.

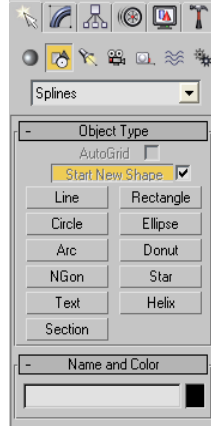
Örneğin malzeme biliminde, demir karbon alaşımlarının sertleşebilirliklerinin tayini için kullanılan jominy (sertleşebilirlik) deneyinin animasyonu hazırlanırken ilk aşama olarak deneyde kullanılan malzemeler belirlenerek bu malzemelerin hangi hareketlere ve etkileşimlere maruz bırakılacağı ve anlatılmak istenen işlem basamakları sırasıyla belirlenir.

### 3.3.1. 2. Modelleme (Modelling)

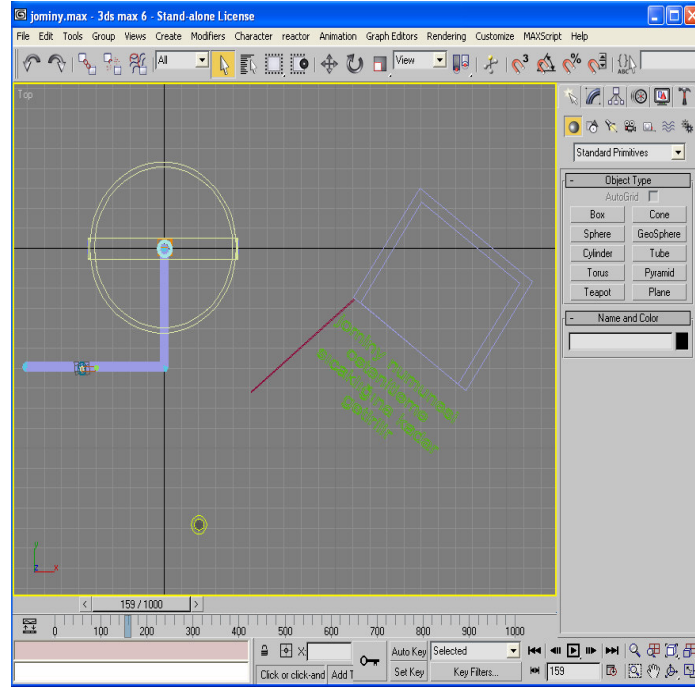
Modelleme işleminin kapsamı ve bu çalışmadaki yeri tel kafes modelleme, yüzey modelleme, katı modelleme başlıkları altında incelenmiştir. Modeller oluşturulurken çalışmanın bazı kısımlarında AutoCad ve SolidWorks programları kullanılmakla beraber 3D Studio Max programıda sıklıkla kullanılmıştır.

**İki Boyutlu Modelleme:** Her tasarım programında olduğu gibi 3D Studio Max programında da iki boyutlu modeller hazırlanabilir. Bunun için Create (oluşturma) sekmesinden Splines seçeneği seçilerek Line, Circle, Arc, Ngon, Text, Section, Rectangle, Elipse, Donut, Star, Helix gibi sadece iki boyut ifade eden geometrik şekiller çok çeşitli işlemlerden geçirilerek istenilen modeller oluşturulur.

Oluşturulan bu ilki boyutlu nesnelere bir st basamak olan üç boyutlu katı model nesnelerin temelini oluşturmaktadır. Yani bu iki boyutlu nesnelere kullanılarak üç boyutlu katı modeller elde etmek mümkündür. Bu bakımdan iki boyutlu modelleme, diğer tüm tasarım programlarında olduğu gibi 3D Studio Max programında da büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.3.1.2.1. 3D Studio Max programında iki boyutlu model oluşturma komutları



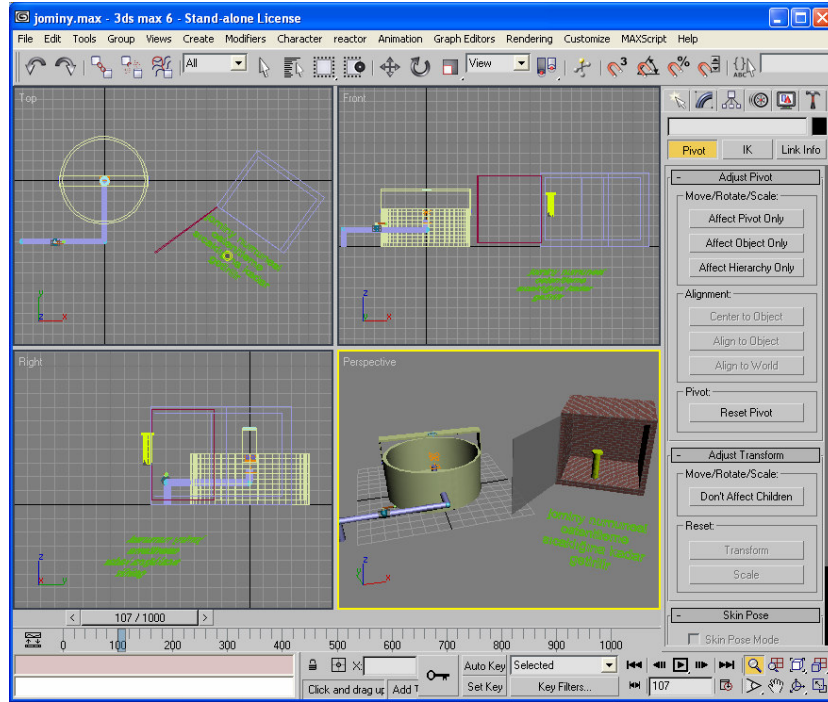
Şekil 3.3.1.2.2. Jominy deneyinin iki boyutlu modeli

Jominy deney animasyonunda da Şekil 3.3.1.2.1’de gösterilen iki boyutlu geometrik şekil oluşturma komutları kullanılarak, deneyde var olmasını istediğimiz materyaller iki boyutlu olarak hazırlandı. Şekil 3.3.1.2.2’de bu materyaller ve konumları gösterilmiştir.

**Üç Boyutlu Modelleme:** 3D Studio Max programında çeşitli yöntemlerle üç boyutlu modeller hazırlanabilir. Bu çalışmada genellikle kullanılanlar ise “oluşturulan

objelerde düzenlemeler yaparak model oluşturma” ve “standart objeleri kullanarak model oluşturma” teknikleridir.

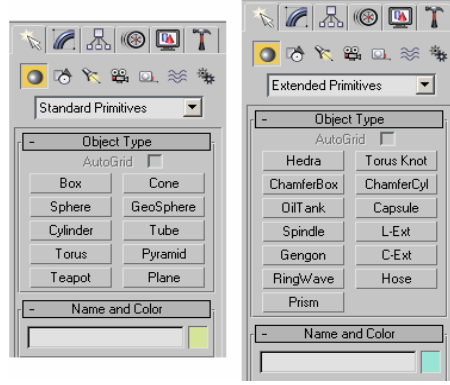
Oluşturulan objelerde düzenlemeler yaparak model oluşturma tekniği, diğer bir çok modelde kullanıldığı gibi jominy deney materyalleri oluşturulurken de kullanılmıştır. İki boyutlu olarak hazırlanmış materyaller Modify sekmesinden Extrude, Lathe, Bevel gibi komutlar kullanılarak üç boyutlu hale getirilmişlerdir.



Şekil 3.3.1.2.3. Jominy deneyinin üç boyutlu modeli

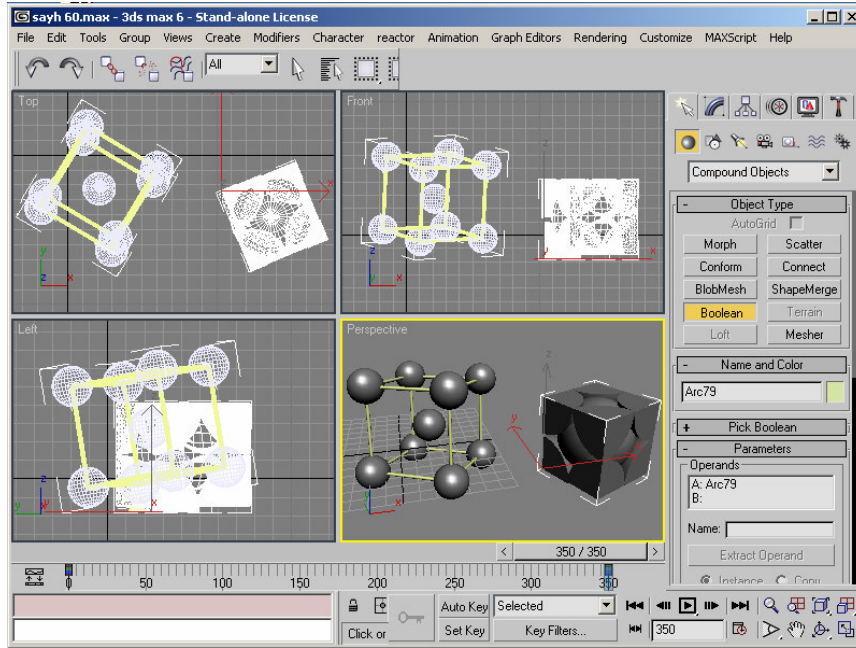
Şekil 3.3.1.2.3’de görüldüğü gibi jominy deneyinde kullanılan materyaller, bahsedilen komutlar kullanılarak iki boyuttan üç boyuta dönüştürülmüşlerdir. Şekil 3.3.1.2.3’de materyallerin Top (üsten), Front (önden), Right (sağdan), Perspective (perspektif) görüşleri ve bu görüşlerin 3D Studio Max programındaki konumlandırılışları gösterilmiştir.

Standart objeleri kullanarak model oluşturma tekniğinde ise 3D Studio Max programında mevcut olan üç boyutlu katı nesnelere dayanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.3.1.2.4).



Şekil 3.3.1.2.4. 3D Studio Max’de üç boyutlu standart model oluşturma komutları

Örneğin atomların dizilişi başlığı altında incelenen hacim merkezli kübik kafes yapının ve bu yapıya ait birim hücrede bulunabilecek atom sayısının hesaplandığı animasyonda standart objelere yer verilmiştir. Standart objelerin boyutları değiştirilerek ve boolean mantık komutlarıyla şekillerinde çeşitli düzenlemeler yapılmak suretiyle Şekil 3.3.1.2.4’de görülen katı modeller elde edilmiştir.



Şekil 3.3.1.2.5. HMK yapının ve birim hücrenin üç boyutlu modeli

Ayrıca AutoCad ve SolidWorks programlarında daha elverişli olarak hazırlanılabilen modelleri 3D Studio Max programına dahil etmek (import) suretiyle, çalışmalar

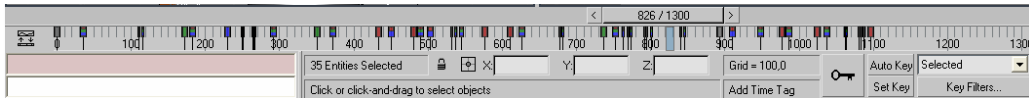
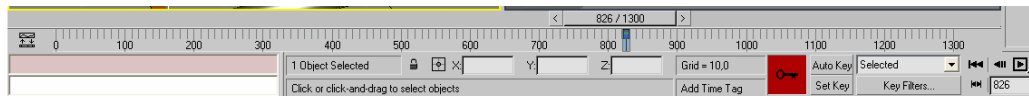
animasyona hazır hale getirilmiştir. Import komutu bu üç program arasında bir köprü vazifesi görmüştür. Böylece programların her birinin üstün özelliklerinden faydalanılarak daha pratik çözümlerle daha iyi modeller elde edilmiştir.

### 3.3.1. 3. Animasyon (Animation)

3D Studio Max programını diğer tasarım programlarından ayıran ve bu çalışmanın oluşturulmasında en önemli basamağı teşkil eden kısım programın animasyon oluşturabilme yeteneğidir.

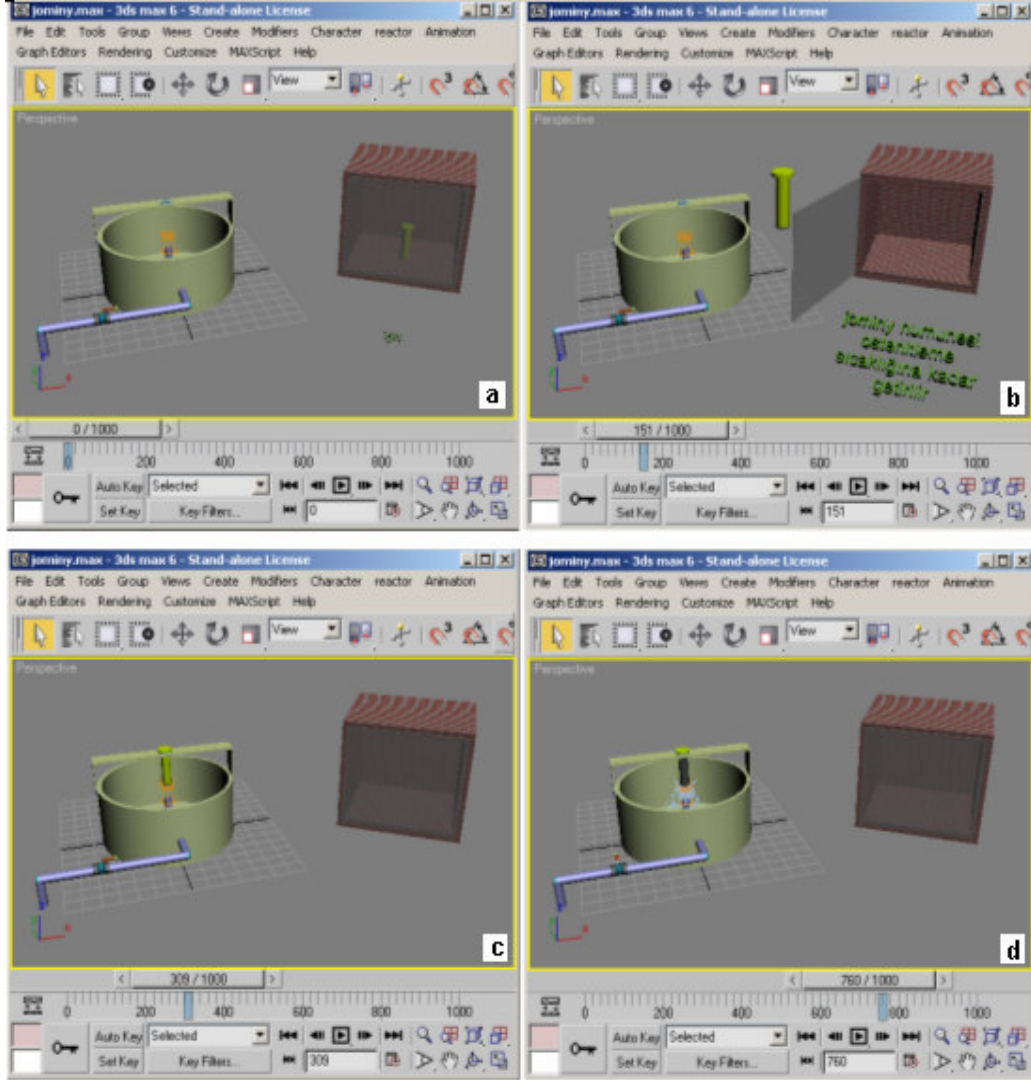
Animasyon işlemlerini gerçekleştirebilmek için çalışılan belgedeki tüm modelleme işlemlerinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Örneğin jomniy deneyinde kullanılan tüm materyaller modellendikten sonra, deneyde önceden planlanmış olan hareketler bilgisayar ortamında adım adım canlandırılmış, diğer bir ifadeyle deneyin animasyonu oluşturulmuştur.

**Hareketlendirme:** Deneyin animasyon aşmasında ilk iş olarak modellenen materyallere hareket verilmiştir. Nesnelere hareket verme işlemi yapılırken Şekil 3.3.1.3.1'de gösterilen zamanlama araç çubuğu kullanılarak işlemler adım adım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3.1.3.1. 3D Studio Max programı nesnelere hareketlendirmede kullanılan zamanlama araç çubuğu (Animation frame), animasyondan önceki ve sonraki durumlar

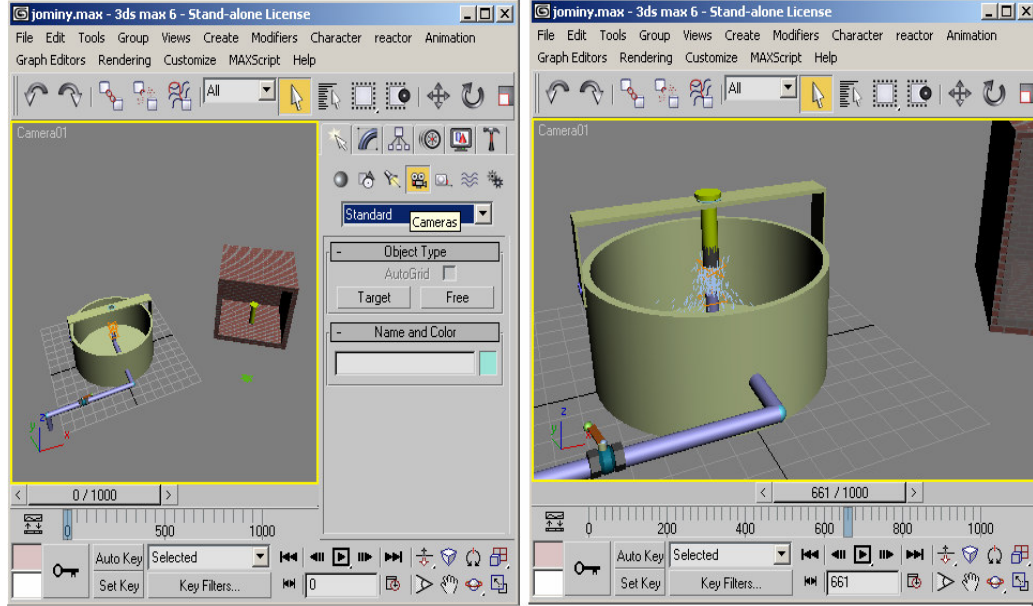
Ayrıca time-configuration komutundan da faydalanılarak oluşturulan animasyonun ne kadar süre çalışacağı ve film kalitesi gibi özellikler ayarlanmıştır.



Şekil 3.3.1.3.2. Jominy deney animasyonunda materyalleri hareketlendirme

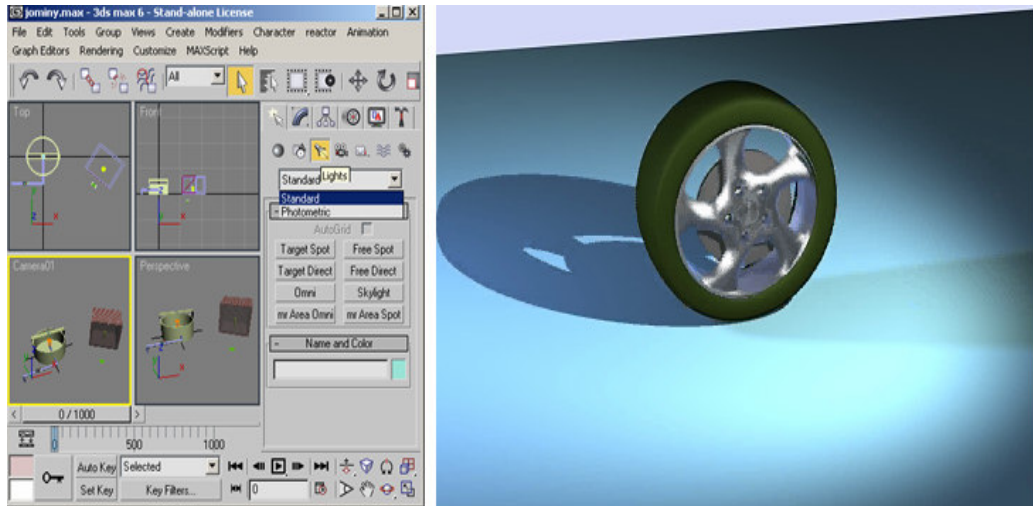
Materyallere uygulanan bu hareketlendirme işlemlerinin zamanla doğru orantılı olarak ilerlemesi için gerekli işlemler yapılarak, uygunluğu kontrol edilmiştir.

**Kameralar:** Deney esnasında meydana gelen bu hareketleri, gerçek ortamda izliyormuş izlenimini vermek için ortama kameralar ilave edilmiştir. Kameralar vasıtasıyla deney tek bir bakış açısıyla değil, 360<sup>0</sup> lik bir bakış açısıyla sergilebilir hale dönüştürülmüştür. İşte bu özellik sayesinde anlatılmak istenilen hareketlerin önemli kısımları daha yakından ve çeşitli açılardan gösterilmiş böylece animasyonlar daha anlaşılır ve ilgi çekici hale dönüştürülmüştür.



Şekil 3.3.1.3.3. Jominy deney animasyonunda kamera ile farklı görüş açıları

**Isıklar:** Genel olarak 3D Studio Max'de ışıklar Standard ve Photometric olarak ikiye ayrılmıştır. Standart ışıklar bize daha esnek bir çalışma sağlarken, Photometric ışıklar gerçek bir ışık gibi davranırlar. Deneyde elde edilen animasyon görüntülerinin daha gerçekçi olabilmesi için ortama çeşitli ışık kaynakları ilave edilmiştir.

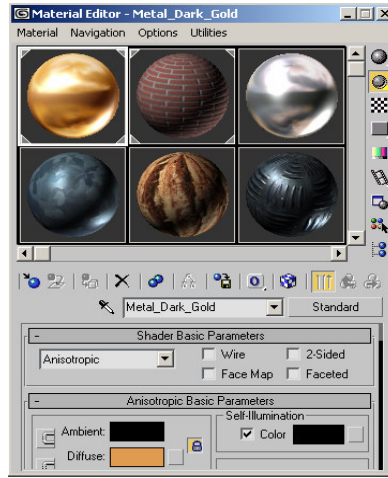


Şekil 3.3.1.3.4. Jominy deney animasyonunda kullanılan çeşitli ışık kaynakları ve polimer malzemelerde kullanılan ışık efekti



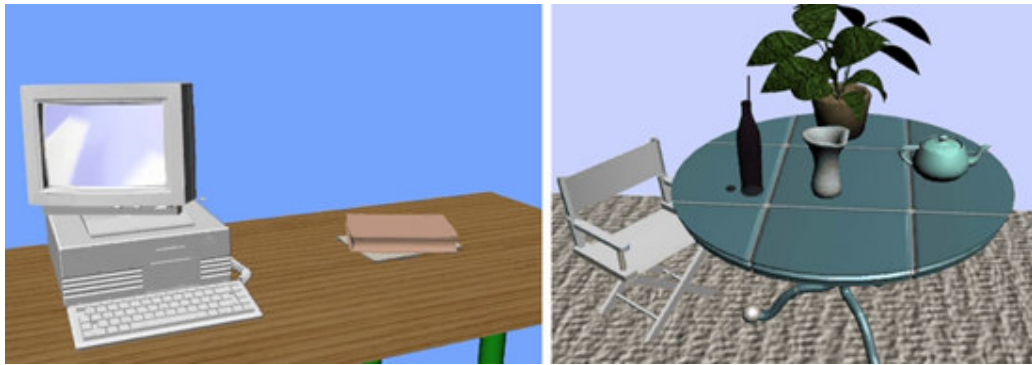
### 3.3.1.4. Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi (Shading)

3D Studio Max programının üstün özelliklerinden biriside kaplama özelliğidir. Kaplama özelliği sayesinde modellenen objelerin görüntüleri nerdeyse gerçek hayatta oldukları gibi gösterilebilmektedir. Kaplama işlemi çok detaylı basamaklardan oluşmakla beraber, temelde bir fotoğraf karesinin modellenmiş bir obje üzerine yapıştırılmasıdır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için Şekil 3.3.1.4.1'de gösterilen Malzeme ve Kaplama Düzenleyicisi (Material Editor) penceresi kullanılmıştır. Bu düzenleyici vasıtasıyla malzemeler (materials) ve onları oluşturmada kullanılan kaplama (maps) ayarları yapılmıştır.



Şekil 3.3.1.4.1. Malzeme-Kaplama düzenleyicisi ve uygulamalarda kullanılan bazı materyaller

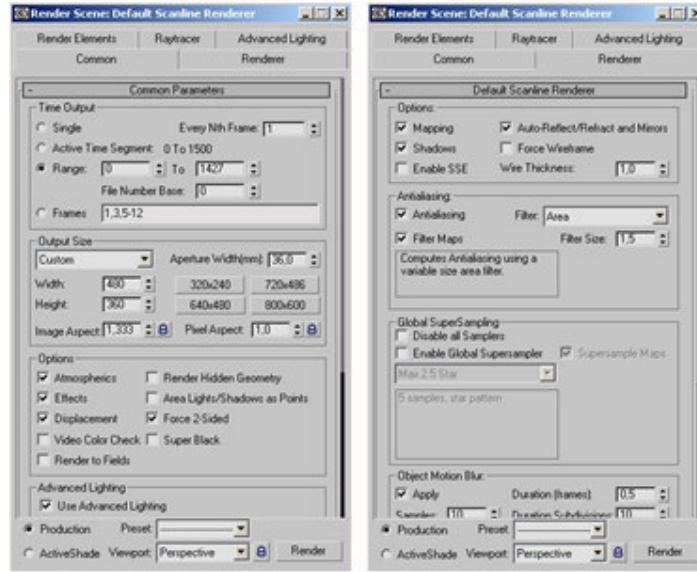
Bu çalışma kapsamında anlatılmak istenilen objelere mümkün olduğunca gerçeğe yakın kaplamalar yapılmaya çalışılmış ve böylece animasyonlar daha anlaşılır hale getirilmiştir (Şekil 3.3.1.4.2).



Şekil 3.3.1.4.2. Çeşitli objelere atanan bazı materyaller

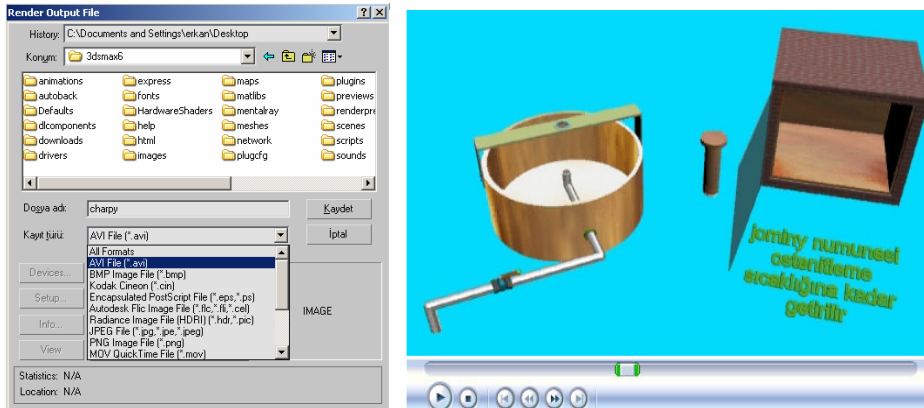
### 3.3.1.5. Film Oluşturma (Rendering)

Tüm bu işlemlerin son aşaması olan render işlemi, programda hareket eden ve çeşitli dönüşümlere uğrayan yüzey özellikleri belirlenmiş, aydınlatılması yapılmış çalışmanın bir film haline dönüştürülmesini sağlar.



Şekil 3.3.1.5.1. Film oluşturma sahnesi (Render Scene)

Hazırlanan animasyonların tamamı Şekil 3.3.1.5.1'deki Film Oluşturma Sahnesi (Render Scene) olarak adlandırılan pencere vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan filmlerin boyutu ve görüntü kalitesi bu aşamada belirlenmiştir. Ayrıca bu animasyonların tüm bilgisayarlarda ek bir program kurulumu gerektirmeden çalışabilmesi için filmler (\*.avi, \*.mov, \*.jpg ...) gibi uzantılarda kaydedilmiştir.



Şekil 3.3.1.5.2. Dosya uzantılarının seçimi ve örnek film

## 4. MALZEME BİLİMİNDE ANİMASYON UYGULAMALARI

### 4.1. Malzemelerin Sınıflandırılması

#### 4.1.1. Metaller

Metaller çok değişik türde üstün özellikleri nedeni ile endüstride çok geniş uygulama alanına sahiptirler (Şekil4.1.1.1). Özellikle üstün mekanik özelliklere sahip olduklarından en önemli yapı ve makine malzemesi sayılırlar. Saf halde yumuşak ve düşük mukavemetli olmalarına karşılık alaşımlandırma, soğuk şekil verme ve ısıtılma işlemleriyle sertlik ve mukavemetleri birkaç kat artırılabilir.

Endüstride kullanılan metallerin ve metal alaşımlarının türleri binlerin üzerindedir. Bunların her biri belirli bir amaç için geliştirilmiştir. Metaller demir esaslı ve demir dışı metaller olarak iki gruba ayrılırlar.



Şekil 4.1.1.1. Metal malzeme numunelerinin çalışma animasyonları

#### Demir Esaslı Metaller

Demir-Karbon alaşımları ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Demir karbon alaşımlarında sadece demir ve karbon bulunur. Alaşımlı çeliklerde ise demir ve karbonun yanında ayrıca Mn, Cr, Ni, Si, Mo gibi diğer alaşım elemanları vardır.

## Demir-Karbon alaşımları

Bu alaşımlarda temel element olan demir saf halde çok yumuşak ve duşuk mukavemetlidir. İçine katılan karbon oranı arttıa sertlik ve mukavemet artar, ancak suneklik ve tokluk azalır. Demirler, elikler ve dökme demirler bu gruba dhildir.

Demir-Karbon alaşımları genellikle içerdikleri karbon oranına göre uç ana sınıfa ayrılırlar.

- **Az karbonlu elikler :**  $%0,1 < C < %0,2$
- **Orta karbonlu elikler :**  $%0,2 < C < %0,5$
- **Yüksek karbonlu elikler :**  $%0,5 < C < %2$

## Alaşımlı elikler

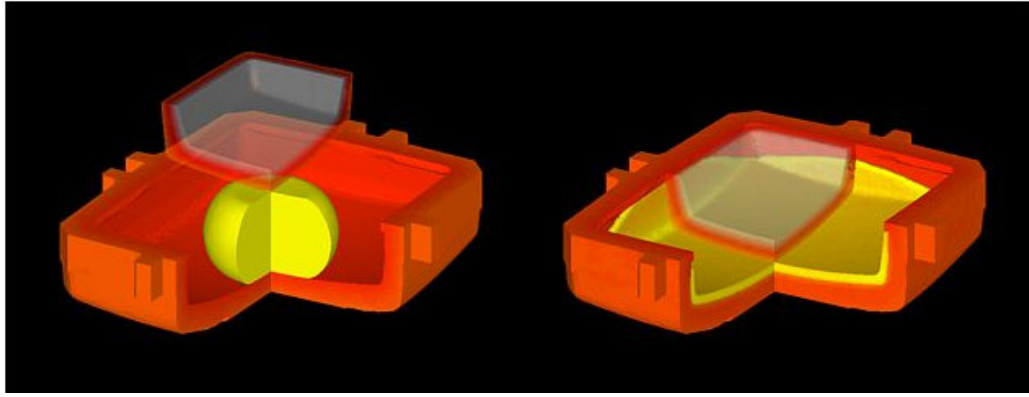
eliklerde sunekliği koruyarak mukavemeti arttırmak için yapıya değişik türde alaşım elementleri katılır. Alaşım elementleri mukavemet ve tokluğu arttırdığı gibi sertleşme yeteneği, korozyon ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi diğer önemli özellikleri de sağlayabilirler. Bu amaçla çeliğe değişik oranlarda Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W ve Ti gibi alaşım elementleri ilave edilir. Böylece endüstride 2000 den fazla alaşımlı elik meydana getirilmiştir (şekil 4.1.1.2).



şekil 4.1.1.2. Alaşımlı elik malzeme numunelerinin çalışma animasyonları

#### 4.1.2. Plastikler

Plastikler, kimyasal yönden polimerler grubuna dâhildirler. Küçük molekül bireylerinin (monomerler) birbirine eklenmesi sonucu elde edilen moleküler yapıdaki bireylerin sayısına bağlı olarak gaz, sıvı ve katı halde bulunurlar. Sıvı halde bulunan boyalar, vernikler, adezifler vb. malzemeler de polimer sayılır. Endüstride plastik olarak adlandırılmalarının nedeni üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilebilmeleridir. Gerçekte plastikler hafif olup kolay şekillendirilebilir ve az bir bilgi ile en karışık geometrik şekiller kolaylıkla verilebilir. Bu nedenle de çok geniş imalat ve uygulama alanına sahiptirler. Yoğunlukları 0,9 ila 2,0 kg/dm<sup>3</sup> arasındadır.



Şekil 4.1.2.1. Plastik malzemenin şekil değiştirme animasyonu

Plastikler sınıfına giren malzemelerin bir kısmı doğal bir kısmı ise sentetiktir. Ahşap, deri, yün ve benzeri lifler birer doğal polimerdir (Şekil 4.1.2.2, Şekil 4.1.2.3). Plastikler genellikle çevre koşullarına asitlere ve bazlara karşı dayanıklıdır, sudan etkilenmezler. Yüksek sıcaklıklarda ayrışır. Renk değişimleri ve gazların parçalanmasıyla kabarcıklar oluşur. Yangına dayanıklı olmamakla beraber yavaş yanarlar (selulozikler hariç) ve alevsiz halde kendiliklerinden sönerler. Çoğunlukla 80 °C nin üzerinde yumuşarlar. Şekil 4.1.2.1’de görülen animasyonda da 80 °C nin üzerinde bulunan sarı renkteki plastik malzemenin, bir kalıbın şeklini az bir kuvvet uygulanarak nasıl kolayca şekil aldığı gösterilmiştir. Basınç uygulayıcı kol özellikle şeffaf olarak tasarlanmış, böylece sarı renkteki plastik malzemenin hareketinin daha geniş perspektifte görülmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.1.2.2. Polimer malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları (I)

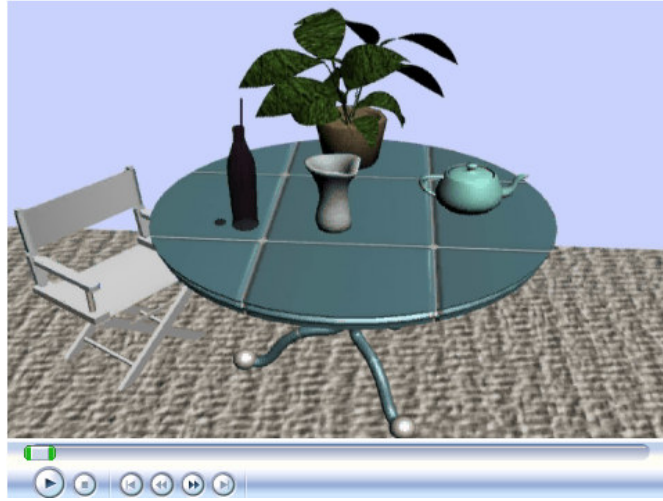


Şekil 4.1.2.3. Polimer malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları (II)

### 4.1.3. Seramikler

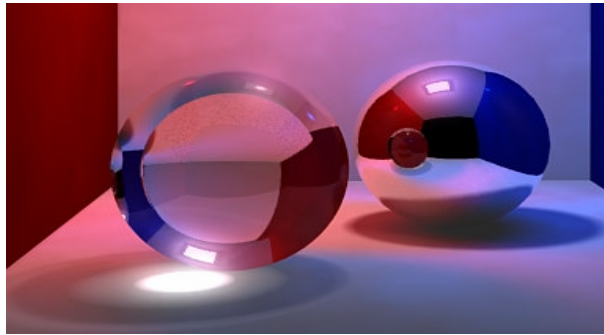
Seramikler genellikle metal ve metal olmayan elemanların iyonik bileşiklerinden oluşan inorganik malzemelerdir. Bazı seramikler de kısmen iyonik, kısmen kovalent bağ bulundurabilirler.

Cam, tuğla, kiremit, taş, beton, aşındırıcı tozlar porselen ve refrakter malzemeler bu gruba girer. Şekil 4.1.3.1'deki animasyonda bu malzemelere örnekler verilmiştir. Kil belirli bir üretim sürecini geçirdikten sonra, sert ve deforme olmayan, bazı özel etkenler dışında hiçbir dış etkiden kolayca etkilenmeyen bir malzeme haline gelir. Seramik malzeme üretiminde, kil hamuruna belirli maddeler katarak, değişik şekillendirme yöntemleriyle, kullanılan hamurun bünyesine uygun bir pişirme ile, seramik malzemeye istenilen niteliği kazandırma imkanı vardır.



Şekil 4.1.3.1. Seramik malzeme numunelerinin tanıtım animasyonları

Cam genel anlamda ergimiş haldeki amorf yapısını koruyarak katılaştıran inorganik cisim olarak tanımlanır. Çok sert ve gevrek olan camın saydam oluşu en yararlı özelliğidir. Basınç mukavemeti çok yüksek, çekme mukavemeti çok düşüktür. Şekil 4.1.3.2'de cam malzemenin ışığı geçirme özelliği üç boyutlu olarak görülmektedir. Bu görüntü 3D Studio max programında elde edilmiştir.



Şekil 4.1.3.2. Bilgisayar ortamında hazırlanmış cam malzeme görüntüleri

#### 4.1.4. Kompozitler

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Diğer bir deyişle, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış, esas olarak birbirleri içinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimi ile oluşturulan yeni malzemedir. Cam elyafı polyeester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan sarmetler bunlara örnektir. Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur.



Şekil 4.1.4.1. Kompozit malzemelerin tanıtım animasyonu

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak metal kompozitler elde edilirler. Şekil 4.1.4.1'de metal kompozitlere örnek olarak bazı cihazların animasyonu gösterilmiştir. Metal kompozitler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır.

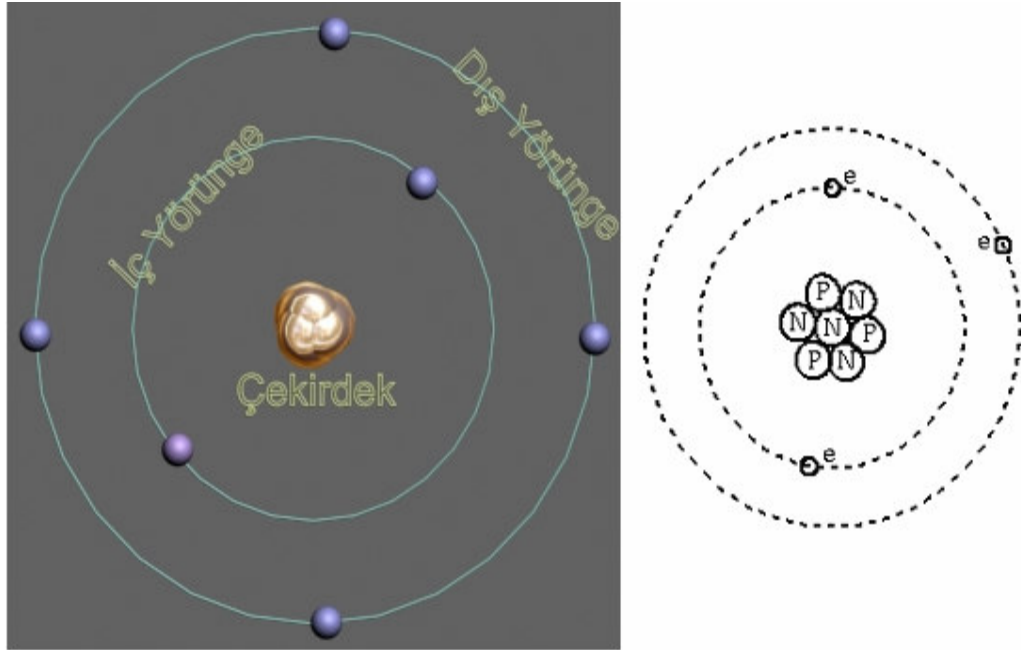


## 4.2. Atom Yapısı ve Özellikleri

Malzemeler atomların farklı düzende bir araya gelmesiyle meydana gelirler. Atomlar farklı düzenlerde ve yapılarda birbirleriyle bağlanmalarına göre malzemeleri metal, seramik, polimer veya yarı iletken olarak sınıflandırılırlar. Atomik yapının özelliklerine bağlı malzemelerin mekanik, elektrik, ısı, yalıtkanlık, manyetik davranış ve optik özellikleri de belirlenir.

### 4.2.1. Atom Yapısı

BOHR atom modeline göre, birim atom, merkezinde  $10^{-11}$ mm çapında bir çekirdek ve bu çekirdeği çevreleyen elektronlardan oluşur. Atom yaklaşık  $10^{-7}$ mm'lik bir çapa sahiptir.

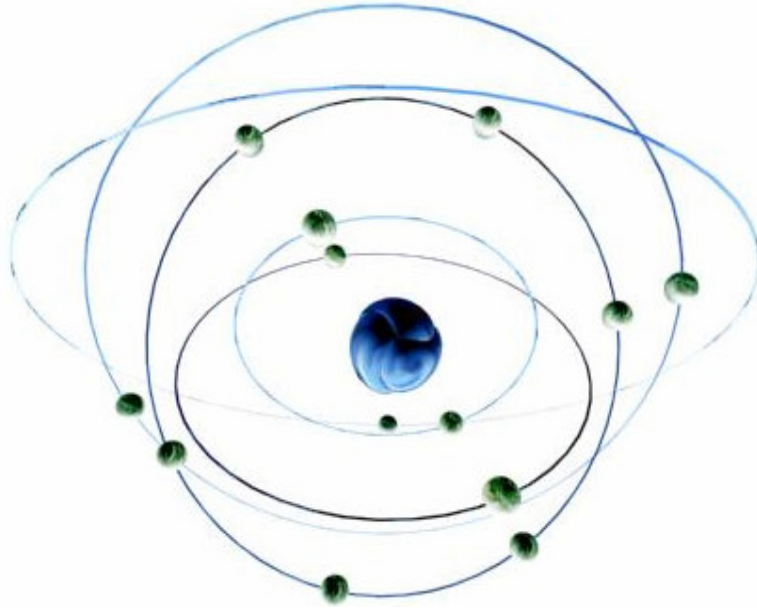


Şekil 4.2.1.1. Karbon elementinin şematik atom yapısı

Atomun çekirdeği, pozitif yüklü (+) proton ve yüksüz (nötr) nötron parçacıklarından oluşur. Çekirdek etrafında dönen elektronlar ise negatif (-) yüklü olup, elektriksel yükü protona eşit değerdedir. Elektronlar ile protonlar sadece zıt yüklere sahiptirler. Yani elektronun elektrik yükü  $1.60 \cdot 10^{-19}$  coloumb, protonun elektrik yükü ise  $1.60 \cdot 10^{-19}$  coloumb'dur. Çekirdek atom kütesinin önemli bir bölümünü oluşturur. Çünkü bir proton veya nötronun kütlesi  $1.67 \cdot 10^{-27}$  kg olup, her

bir elektronun kütlesi ise  $9.11 \cdot 10^{-31}$  kg dır. Bu rakamlara bakıldığı zaman çekirdek ağırlığı elektron ağırlığının 1836 katı kadar olduğu gözükmektedir. Bundan dolayı atomun kütlesinin çekirdek kütlesini belirlediği söylenebilir.

Bir atomda elektron ve proton sayıları eşit olduğu için atom elektriksel olarak nötrdür. Bazı atomların çekirdek içindeki proton sayısı değişmediği halde nötron sayısı değişebilir. Bu durumda atomun izotopları meydana gelir. Yani atomun proton sayısı nötron sayısından farklı İse o atoma izotop atom adı verilir.



Şekil 4.2.1.2. Bohr atomunun elektron yörüngelerinin şematik doğrultuları

#### 4.2.2. İkincil kuantum sayısı ( I )

Atom çekirdeği etrafındaki elektronların bulunduğu her bir ana kabuk, bir elektron bulutu şeklindedir. Bu kabuk içerisinde farklı enerji seviyelerine sahip ve elektronların hareket ettiği yörüngeler vardır. Bu yörüngeler ikincil kuantum sayısı ( I ) olarak ifade edilirler. İkincil kuantum sayısının değeri, birincil kuantum sayısının değerine bağlı olup, (n-1) ile bulunur. Dolayısı ile ikincil kuantum sayıları; 0, 1, 2, 3 olarak belirlenir. Genellikle karışıklığa sebep olmamak için ikincil kuantum sayıları s, p, d, f harfleri ile gösterilir. Örneğin;

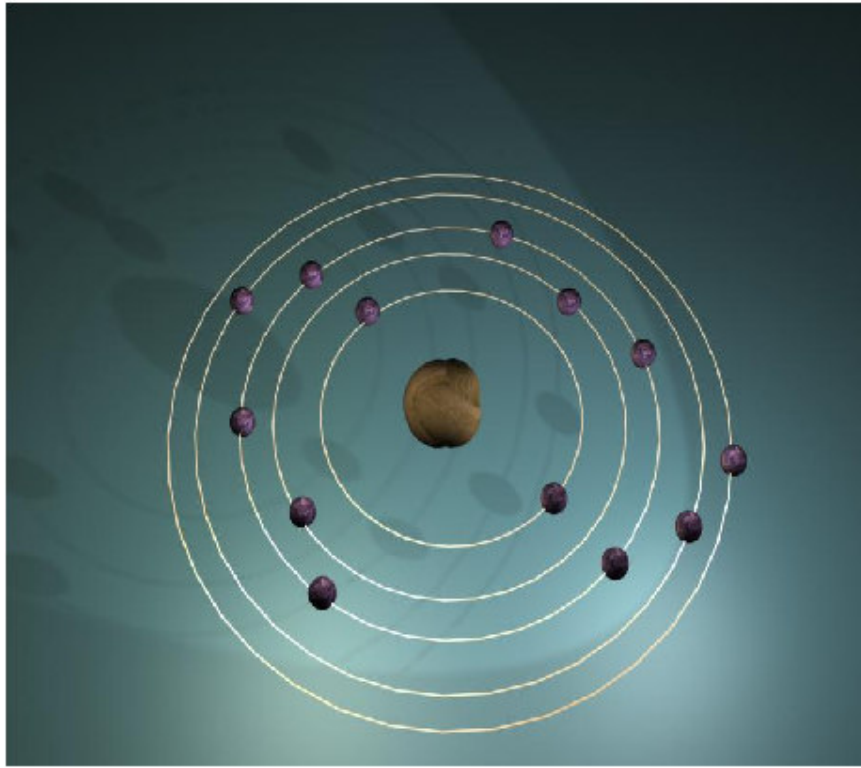
1 = 0 yerine "s" harfi kullanılır.

1 = 1 yerine "p" harfi kullanılır.

1 = 2 yerine "d" harfi kullanılır.

1 = 3 yerine "f" harfi kullanılır.

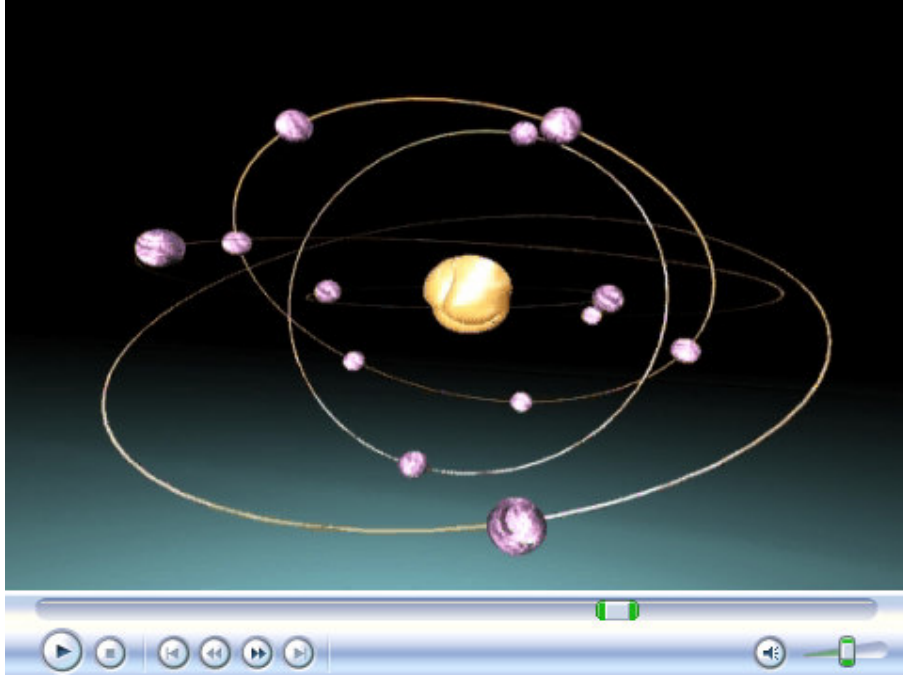
Her bir s,p,d,f yörüngelerinde belirli sayıda elektron bulunabilir. S yörüngesinde 2 adet elektron, p yörüngesinde 6 adet elektron, d yörüngesinde 10 adet elektron ve f yörüngesinde 14 adet elektron bulunabilir.



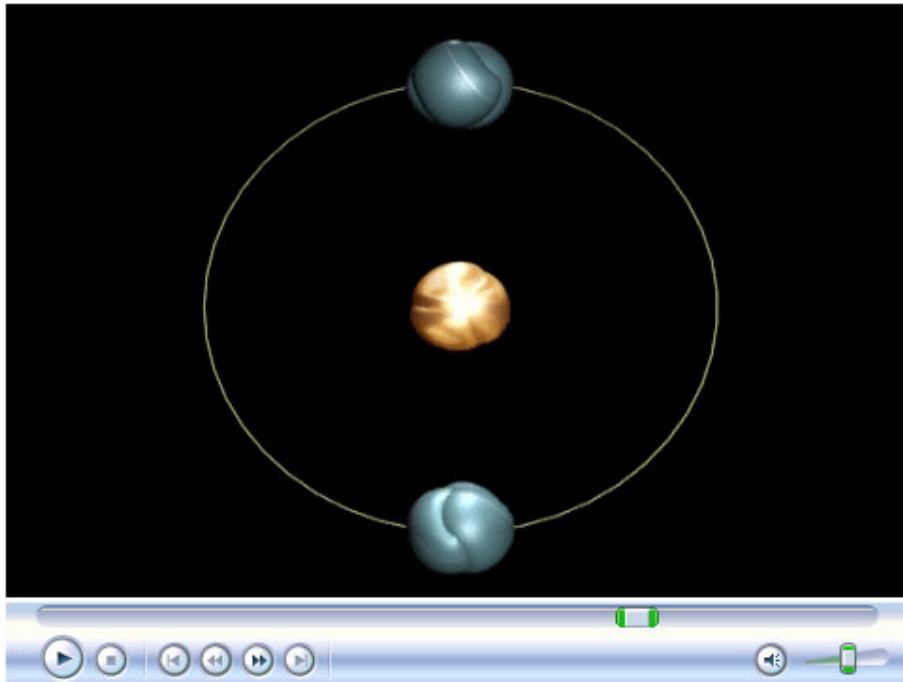
Şekil 4.2.2.1. Alüminyumun K, L, M ana kabuklarındaki elektron dizilişleri

#### 4.2.3. Elektron dönme kuantum sayısı (Ms)

Elektron dönme kuantum sayısı elektronun kendi eksenini etrafında, iki farklı dönme yönünün olabileceğini ifade etmektedir. Bu iki farklı dönüşün biri saat yelkovanı yönünde olup diğeri ise bunun zıt yönündedir. Bu dönüşler için alacakları değerler, ya +1/2 yada - 1/2 dir.



Şekil 4.2.3.1. Bohr atomu elektron yörüngeleri animasyonu



Şekil 4.2.3.2. Helyum atomunun elektron dönme hareketleri animasyonu

### 4.3. Atomlar Arası Bağlar

Atomları bir arada tutan coulomb çekme kuvvetlerinin gücüne göre kuvvetli ve zayıf bağlar olmak üzere iki grup atomsal bağ vardır. İyonik, kovalent ve metalik bağlar kuvvetli bağlar sınıfına girer. Bağ enerjileri kuvvetli bağların onda biri kadar olan Van der waals bağı zayıf bağ olarak adlandırılır. Zayıf bağlar hemen hemen bütün maddelerde bulunur.

Çizelge 4.3.1. Atomlar arası bağ çeşitleri

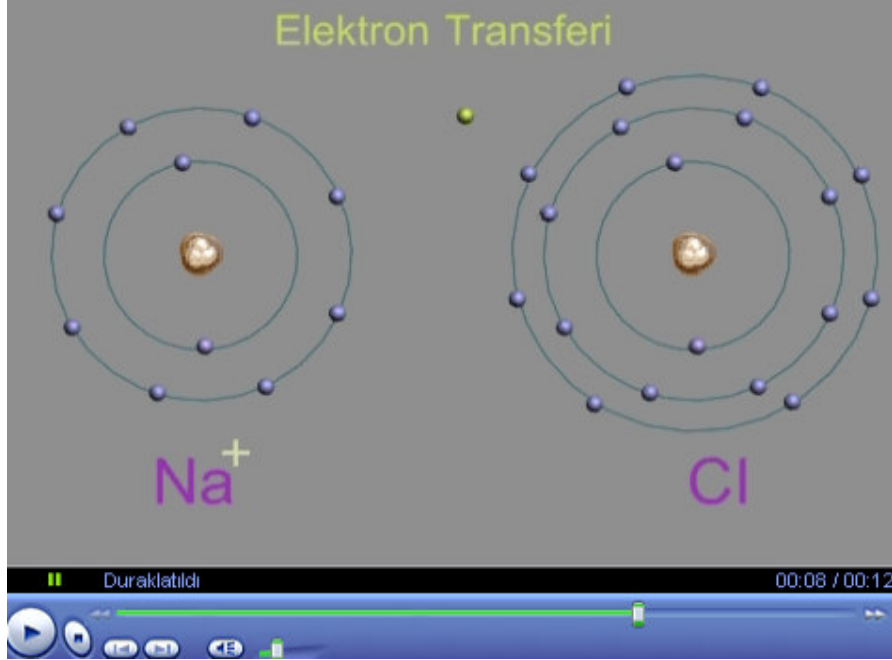
Bağ türü	Malzeme	Bağ enerjileri(kcal/mol)
İyonik bağ	NaCl	153
	MgO	239
Kovalent bağ	Si	108
	C (elmas)	170
Metalik bağ	Al	77
	Fe	97
	W	203
Van der Waals bağı	Ar	1.8

#### 4.3.1. İyonik Bağlar

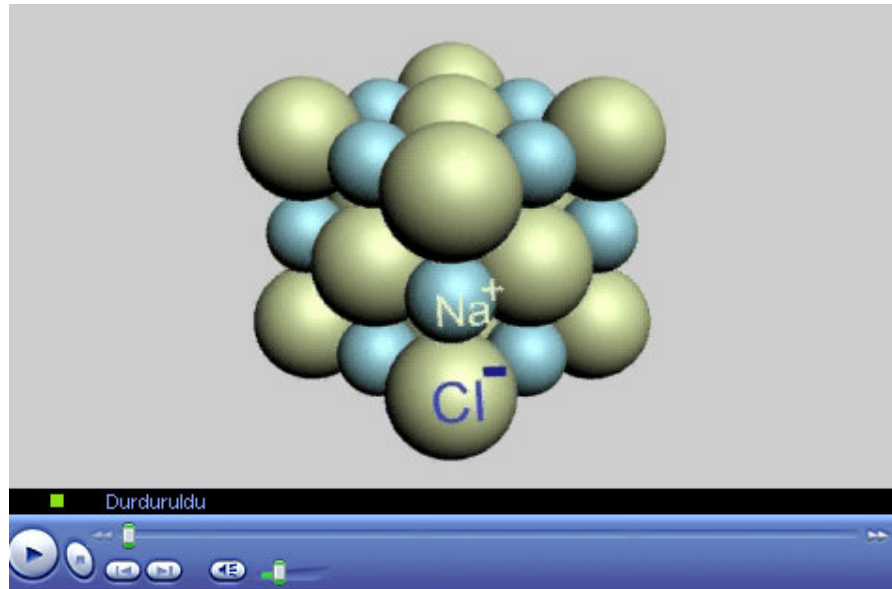
Elementler, atomların dış kabuklarındaki valans elektron sayısına bağlı olarak ya bu elektronları vererek ya da dış kabuğuna başka bir element atomundan elektron alarak, kararlı hale geçme eğilimindedirler. – iyona katyon, + iyona ise anyon adı verilir. – iyon ile + iyon arasındaki coulomb çekme kuvveti, bir iyonik bağ oluşturur. Bu bağ bir metal atomun (Na, Mg gibi) metal olmayan (Cl, O gibi) bir atoma elektron vermesi ile gerçekleşir.

İyonik bağa en güzel örnek, Na ve Cl elementlerinin iyonik bağı sonucu meydana gelen bildiğimiz yemek tuzudur. (NaCl) Na elementinin en dış yörüngesinde bulunan bir valans elektronunu kolaylıkla Cl elementine vererek, + yüklü iyon haline gelir. Aynı şekilde son yörüngesinde yedi valans elektronu bulunan Cl elementi de kolayca

Na elementinden bir elektron alarak  $-$  iyon haline gelir. Böylece elementler kararlı hale gelmiş olur. Her iki iyon arasında meydana gelen çekme kuvveti sayesinde, NaCl kristali meydana gelir. Bu bağ metal atomları ile metal olmayan elementlerin atomları arasında oluşur.

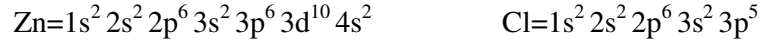


Şekil 4.3.1.1. NaCl kristalinde meydana gelen iyonik bağ oluşum animasyonu



Şekil 4.3.1.2. NaCl kristali atomlarının diziliş animasyonları

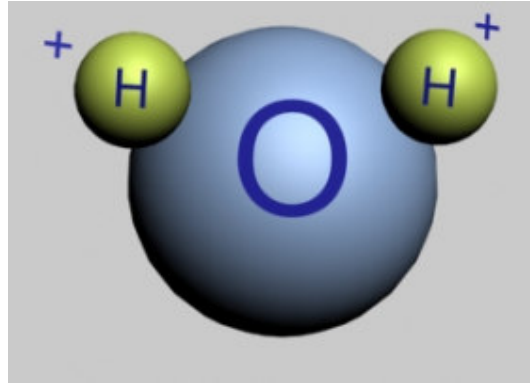
Çinko ile klor elementleri arasında meydana gelen iyonik bağın oluşumu;  
Çinko ile klorun elektron dizilişleri şu şekildedir.



Zn'nin valans elektronu iki olduğu için, Zn son yörüngesinden iki elektron verip  $\text{Zn}^{2+}$  haline gelme eğilimindedir. Cl atomu ise son yörüngesindeki elektron sayısını 8'e tamamlamak için bir elektron alıp  $\text{Cl}^{-}$  iyonu oluşturma eğilimindedir. Zn ile Cl atomlarının iyonik bağ ile bağlanabilmesi için Zn iki adet Cl atomuna elektron vermelidir. Bu yüzden Zn ile Cl arasında iyonik bağ  $\text{ZnCl}_2$  molekülü şeklinde oluşur.

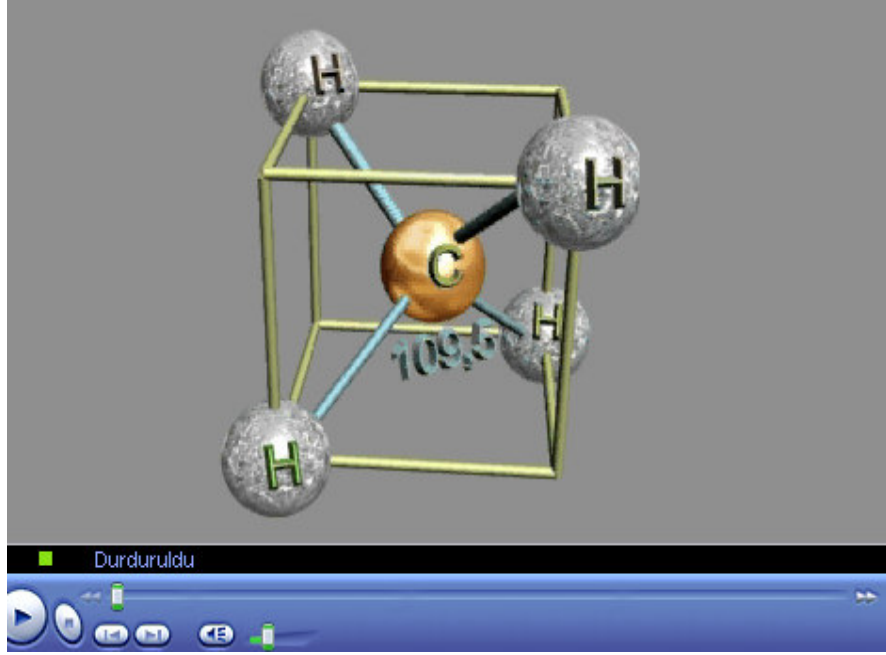
#### 4.3.2. Kovalent Bağlar

Atomun dış kabuğundaki elektron sayısı tam dolu değilse elektron vererek, elektron alarak veya elektronları paylaşarak kararlı hale geçme eğilimindedir. Bir atom, komşu bir atomla en dış kabuğundaki valans elektronlarını paylaşarak kararlı hale geçiyorlarsa, bu tür elektron paylaşımından ortaya çıkan bağa kovalent bağ adı verilir. Pek çok metalik olmayan element moleküllerinde ( $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$  gibi) ve farklı atom içeren moleküllerde ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) kovalent bağ mevcuttur. Genellikle kovalent bağlı malzemeler düşük sünekliğe sahip olup, elektrik ve ısı iletkenlikleri de zayıftır.

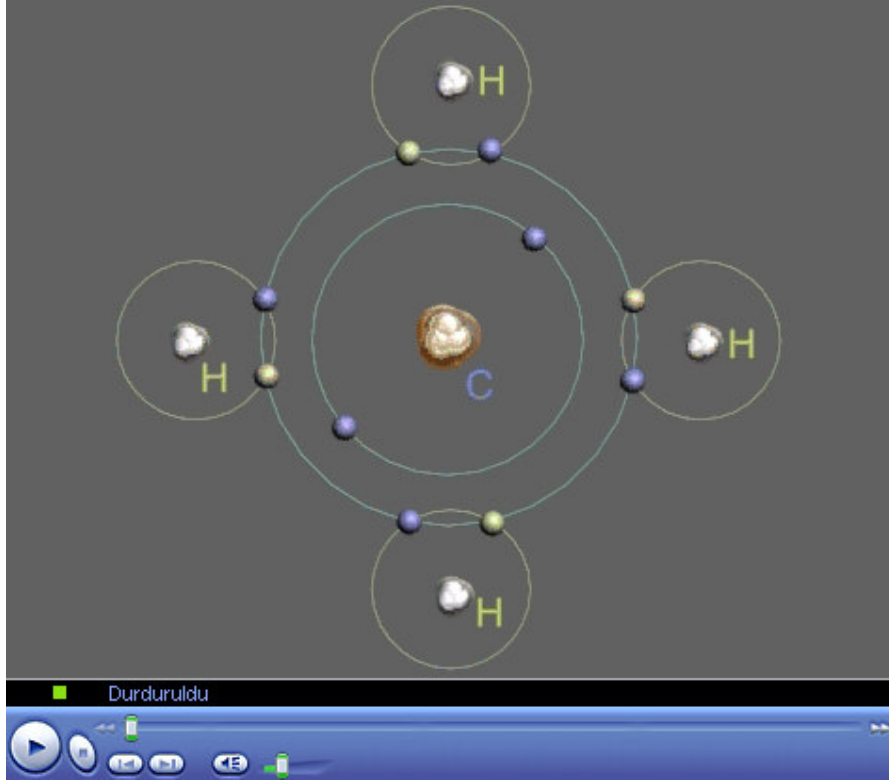


Şekil 4.3.2.1.  $\text{H}_2\text{O}$  molekülü

Kovalent bağlar arasındaki açılar ve bağ uzunlukları belli olduğu için bunlara yönlü bağ denir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi  $\text{CH}_4$  molekülünde her kovalent bağ arasında  $109.5^\circ$  'lik açı olan bir yapı meydana gelir.



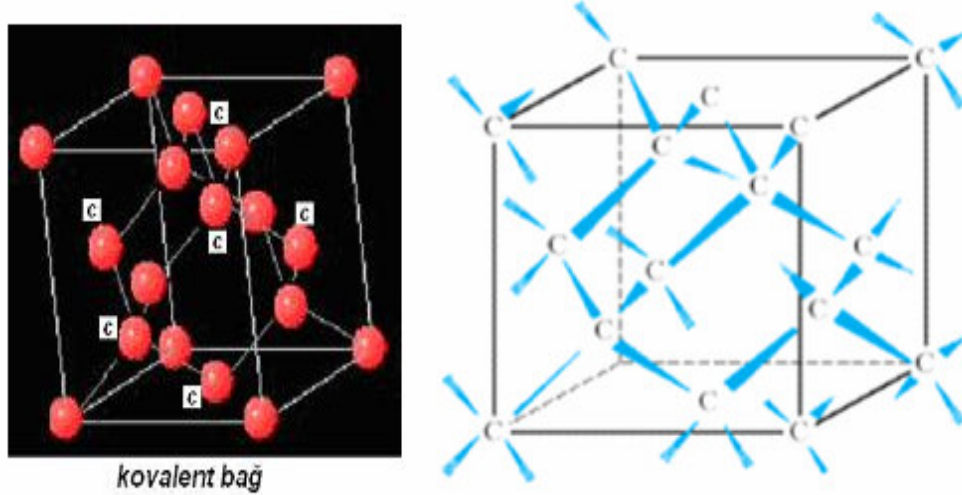
Şekil 4.3.2.2. Metan ( $\text{CH}_4$ ) molekülündeki kovalent bağ arasındaki  $109.5^\circ$  lik açı animasyonu



Şekil 4.3.2.3. Metan molekülündeki kovalent bağ animasyonu



Atomların dış kabuğundaki elektronları paylaşarak meydana gelen kovalent bağlar çok kuvvetlidir. Bu bağları koparabilmek için yüksek enerjilere ihtiyaç duyulur. Fakat kovalent bağla bağlanmış moleküllerin dış kabuklarındaki elektron ihtiyacı tamamlanmamış olduğundan, komşu moleküllerin çekme kuvveti çok zayıftır. Dolayısıyla bu tarz molekülleri koparmak için düşük bir bağ enerjisine ihtiyaç vardır. C atomlarının kovalent bağ ile bağlanarak meydana getirdikleri elmasta ise bağlar çok kuvvetlidir. C'un dış kabuğundaki dört valans elektronu komşu C atomlarının elektronları ile paylaşarak tamamen dış kabuktaki elektronlardan ibaret bir kovalent bağ meydana getirir. Bu tarz bir bağ ile bağlanan elmas çok sert olup bu bağları koparabilmek için 3300 °C' ye kadar ısıtılması gerekir.

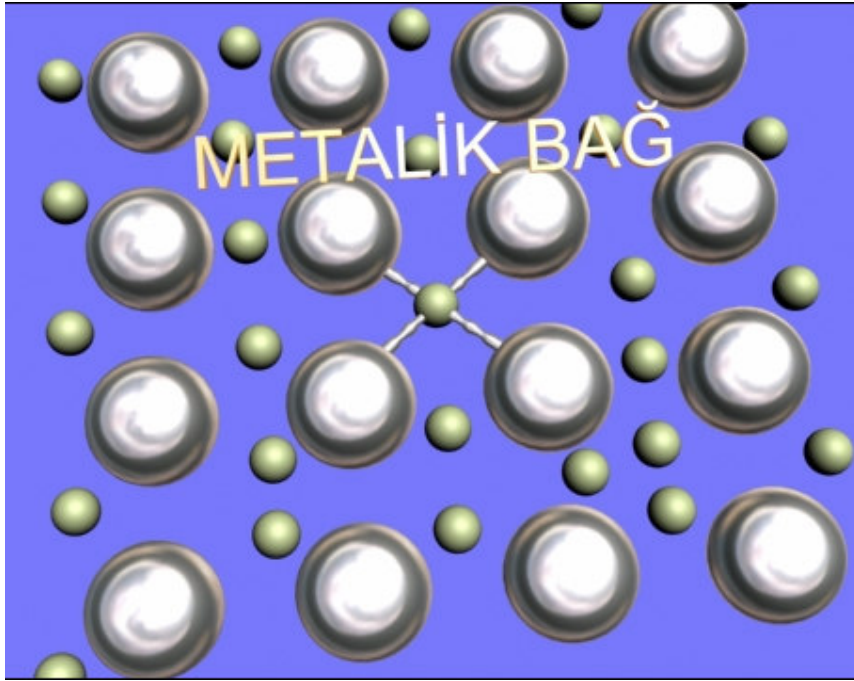


Şekil 4.3.2.4. Elmasın yapısı ve kovalent bağın şematik gösterimi

- Bu bağın en önemli özelliği, elektronların sıkıca tutulması ve komşu atomlar tarafından eşit olarak paylaşılmasıdır.
- Bazı element atomları bir veya iki elektronunu komşu atomlarla paylaşarak daha kararlı bir yapı oluştururlar.
- Kovalent bağlar çok sağlam olmalarına rağmen, bu şekilde bağlanmış maddeler zayıf süneklik ve elektrik iletkenliğine sahiptir.

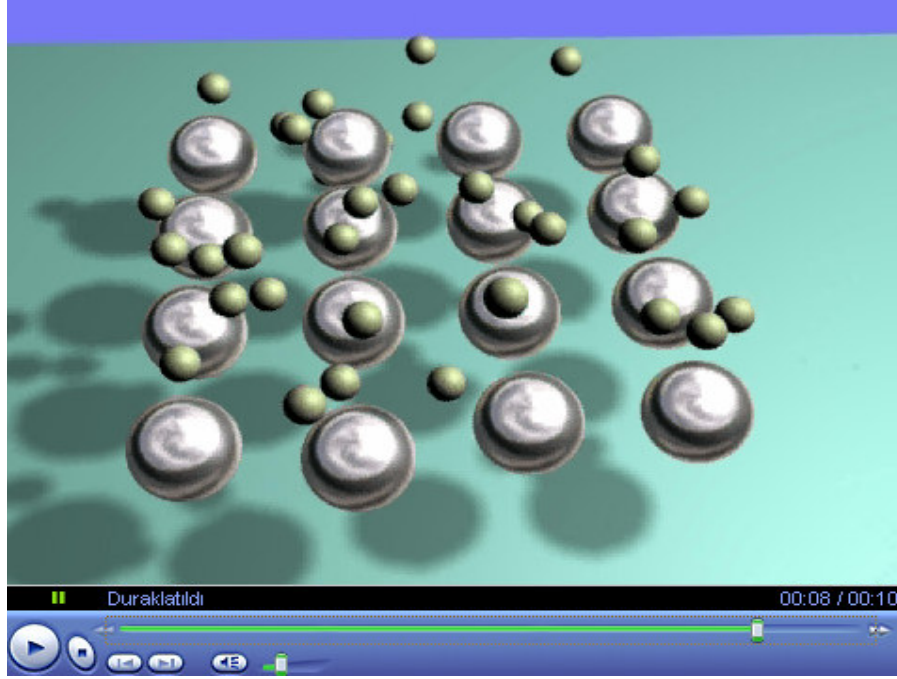
### 4.3.3. Metalik Bağlar

Metalik bağ, metallerde görülen bir bağ çeşididir. Metal atomlarının dış kabuklarındaki elektronları, i kabuklarındaki elektronlara göre atom çekirdeğine daha zayıf bağlıdırlar. Dolayısıyla dış kabuktaki bu valans elektronlar kolaylıkla atomdan ayrılarak serbest kalabilirler. Diğer elektronlar çekirdeğe sıkıca bağlı olup, serbest kalanlar ise bir elektron bulutu meydana getirirler. Dış kabuğundaki elektronları bırakan atom pozitif yüklü iyon haline geçer. Serbest kalan negatif yüklü elektronlar bu iyonlar arasında bir bulut oluşturacak Şekilde hareket ederler. Pozitif yüklü iyonlarla negatif yüklü elektronlar birbirlerini çekerek kuvvetli bir metalik bağ oluştururlar.



Şekil 4.3.3.1. Metalik bağın üç boyutlu gösterimi

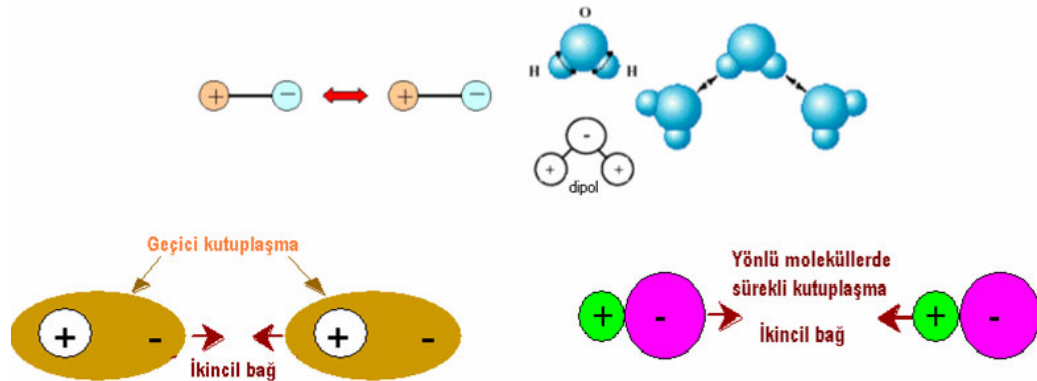
Metalik bağlı malzemelerin Şekil deęiőtirenme özelliği çok iyidir. Serbest haldeki elektronlar rahatça hareket edebildikleri için metallerin elektrik ve ısı iletkenliği de iyidir. Atomlar düzenli bir Şekilde dizildikleri için kristal yapısı meydana getirirler. Metalik bağ ile bağlı malzemeler, serbest elektronlara sahip olduklarından elektriği ve ısıyı iyi iletirler.



Şekil 4.3.3.2. Metalik bağ animasyonu

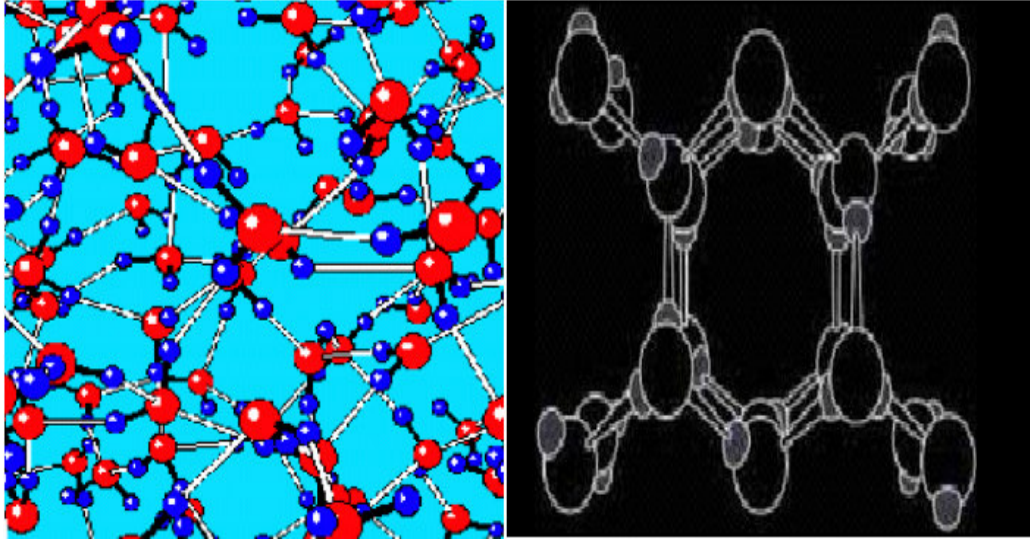
#### 4.3.4. İkincil Bağlar (Van der Waals Bağları)

Van der Waals bağı iyonik, kovalent ve metalik bağlardan daha zayıf bir bağ olup sahip olduğu enerji kuvvetli bağların onda biri kadardır. Van der Waals bağları moleküller veya atomlar arasındaki kutuplaşma sonucunda ortaya çıkar. Bu bağ soygaz atomları arasında ve elektron ihtiyacı kalmamış moleküller arasında olmak üzere iki şekilde oluşur.



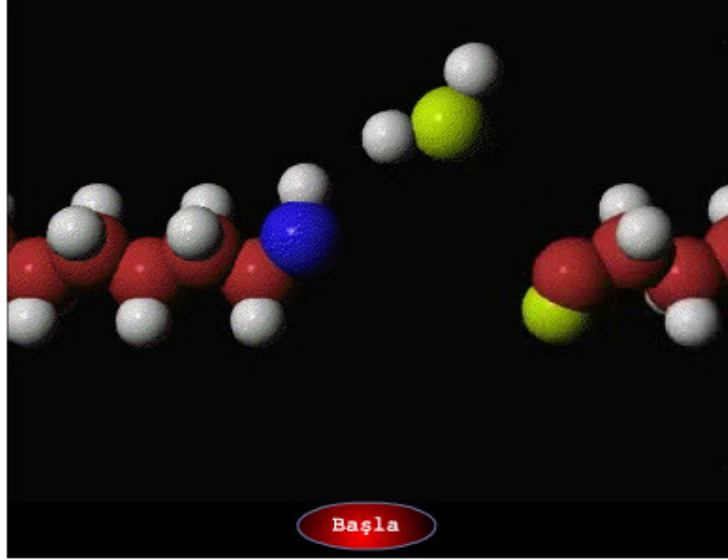
Şekil 4.3.4.1. Tüm atom ve moleküllerde geçici kutuplaşma, Sürekli kutuplaşma (Asimetrik ve Polar moleküllerde) (Callister, 2003)

Elektron ihtiyacı kalmamış moleküller arasındaki Van der Waals bağına en iyi örnek su'dur. Hidrojen atomları ile oksijen atomları kovalent bağla bağlanarak  $H_2O$  molekülünü oluşturmaktadır.  $H_2O$  molekülleri ise birbirlerine Van der Waals bağı ile bağlanarak su'yu oluştururlar. Suyun oluşumunda  $O_2$  içerisindeki – yüklü elektronlar + yüklü hidrojenlerden daha uzağa kaymışlardır. Bunun sonucunda bir yük denge farklılığı ortaya çıkar.- kutuplu  $O_2$  kendisine yakın diğer su molekülünün + kutuplu hidrojenini çeker. Böylece bir su molekülünü diğer bir su molekülü ile Van der Waals bağı yaparak su meydana gelir, buna hidrojen bağı da denilir. Suyu kaynama noktasına kadar ısıttığımız zaman zayıf bağ olan moleküller arası Van der Waals bağı kopar ve su buharlaşır. Fakat kovalent bağ ile bağlanan oksijen atomu ile hidrojen atomunu birbirinden ayırmak için çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak gerekir.



Şekil 4.3.4.2. Sudaki hidrojen bağlarının moleküler seviyedeki gösterimi ve buzun kristal yapısı (Zhigilei,2002)

Monomerlerin moleküler yapısı Şekil 4.3.4.3'de gösterilmiştir. Çizgisel naylon zincirinde, bir su molekülü oluşturmak için hegzametilen daiminden (Şekil 4.3.4.3 soldaki molekül) bir hidrojen atomu kopar ve adipik asitten (sağdaki molekül) bir OH grubu molekül koparak hidrojen atomu ile birleşir. Böylece bir su molekülü meydana gelmiş olur. Geriye kalan diğer iki molekülde çizgisel naylon zincirini oluştururlar.



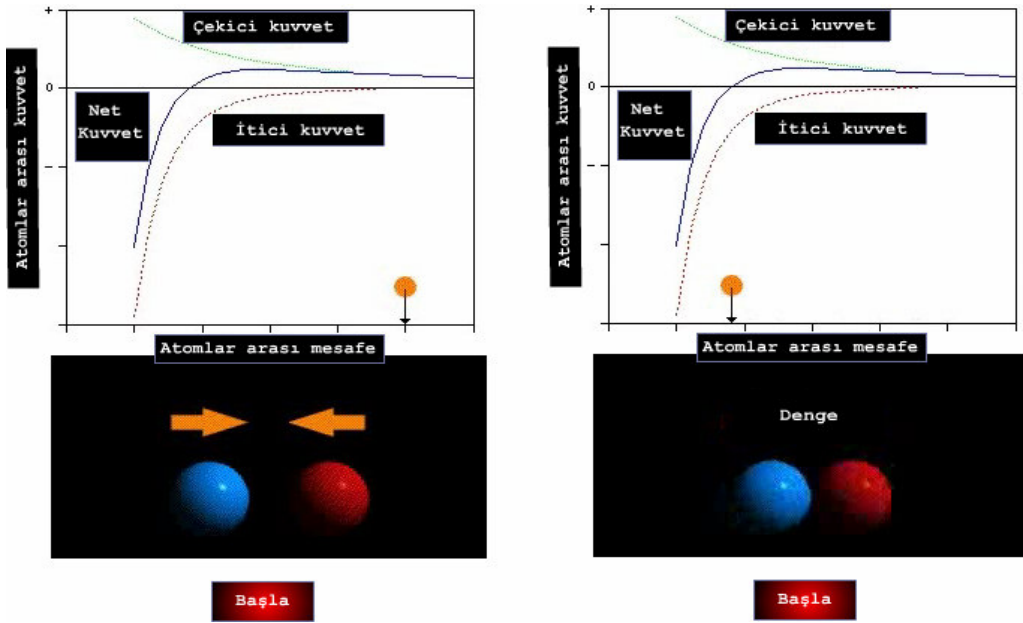
Şekil 4.3.4.3. Monomer moleküllerin yapısı ve bir su molekülü oluşumu animasyonu (<http://www.succeed.ufl.edu/content/Russ%20VIMS/nylonbnd.mov>'den değiştirilerek alınmıştır, 2004)

Bu animasyonda bulunan atomların tasarımı ve hareketleri 3D Studio Max programında yapılmış olup, Macromedia Flash programında tasarlanarak zamana göre hareketlendirilmesi sağlanmıştır. Böylece iki farklı animasyon programından faydalanılarak daha üstün nitelikte bir animasyon oluşturulmuştur.

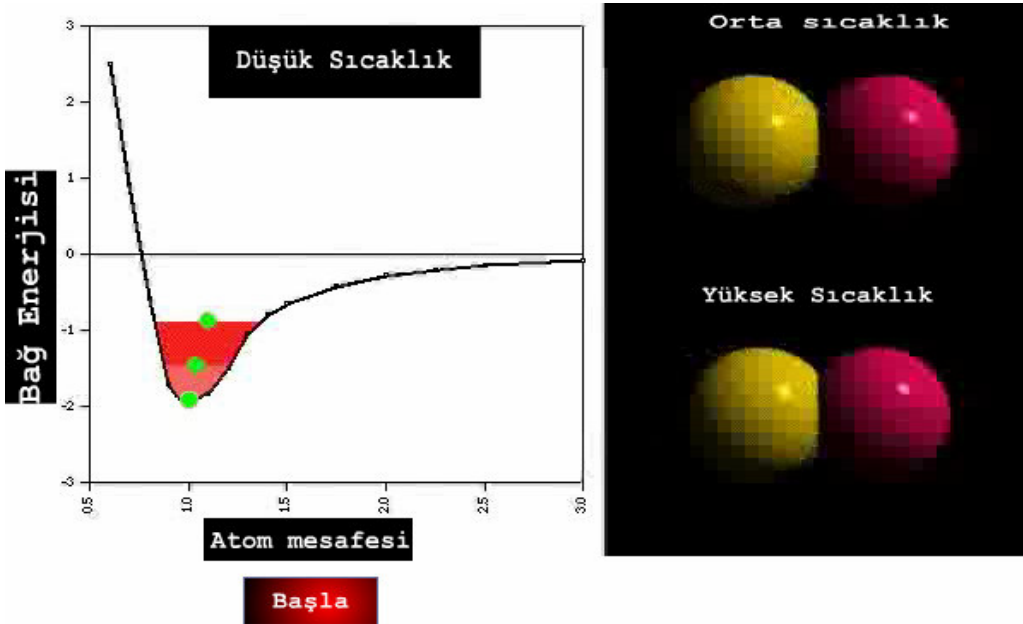
#### 4.3.5. Atomlar Arası Denge Mesafesi

Bir malzemenin yapısını atomlar arası mesafe ve atomların diziliş biçimleri belirler. Denge mesafesi, atomlar veya iyonlar arasındaki itme ve çekme kuvveti etkisiyle meydana gelir. Aşağıdaki animasyonda atomlar arasındaki mesafe ile itme ve çekme kuvveti arasındaki mesafe görülmektedir. Zıt işaretli iki iyon arasında meydana gelen çekme kuvveti sayesinde, iyonlar arası mesafe azalır. İyonlar birbirine temas ettiğinde iyonların eksi yüklü elektronları arasında da bir itme kuvveti meydana gelerek iyonlar arası mesafenin daha da azalmasını önler. Atomlar arası toplam kuvvet ( $F_T$ ), çekme kuvvetinin ( $F_C$ ) ve itme kuvvetinin ( $F_i$ ) toplamına eşittir. İyonlar arasındaki çekme ve itme kuvvetinin eşit olduğu noktada toplam kuvvet sıfır olur. Yani denge meydana gelir. Denge halindeki iki iyon arasındaki uzaklığa atomlar arası denge mesafesi adı verilir ve iki iyon yarıçapının toplamına eşit olacaktır.

Denge durumunda bulunan bir atom çiftinin merkezleri arasındaki uzaklığa atomlar arası uzaklık denir.



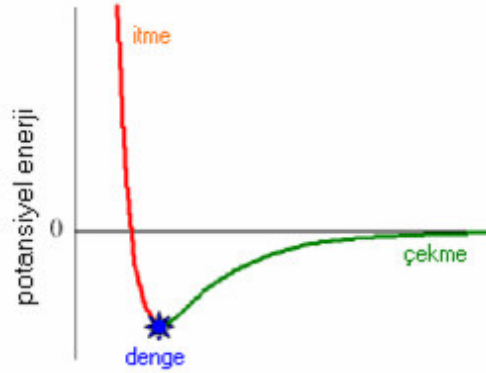
Şekil 4.3.5.1. Atomlar arası denge mesafesinin gösterilmesi



Şekil 4.3.5.2. Denge mesafesi ve sıcaklık

Bu animasyonlarda bulunan atomların tasarımı ve hareketleri 3D Studio Max programında yapılmış olup, üst kısımlarında bulunan grafikler Macromedia Flash programında tasarlanarak zamana göre hareketlendirilmesi sağlanmıştır. Bu iki ayrı

uygulamanın eşgüdümlü olarak hareket edebilmeleri için Macromedia flash programı kullanılmıştır.



Şekil 4.3.5.3. Atomlar arası denge durumu – potansiyel enerji grafiği

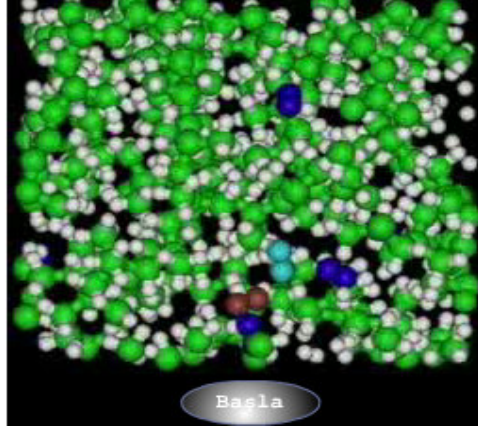
Denge durumu, atom çiftine etki eden çekme ve itme kuvvetlerinin eşit olduğu durum demektir.

#### **Malzeme Özellikleri İle Atomlar Arası Mesafe Ve Bağ Enerjisinin İlişkisi:**

Malzemelerin özgül ağırlığı, kimyasal özellikleri, optik özellikleri, elektrik ve ısı iletkenliği, ısıl genleşme, ergime ve buharlaşma sıcaklıkları, elastisite modülü ve mukavemet özellikleri atomlar arası bağ türüne ve bağ enerjisine bağlı olarak belirlenir.

**Ergime sıcaklığı:** Sıcaklık arttıkça atomlar arası mesafede büyür. Mutlak sıfır sıcaklığında atomlar arası mesafe dengededir. Bu denge mesafesinde bağ enerjisi minimum seviyede olup bağ enerjisi çukurunun en alt noktasını gösterir. Bağ enerji çukuru ne kadar derinse o malzemenin atomlar arası bağının koparmak için o kadar fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Dolayısıyla malzemenin ergime sıcaklığı o oranda yüksek olur.

**Isıl genleşme:** Ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin ısıl genleşmeleri daha düşüktür. Yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerde sıcaklık arttıkça atomlar arası mesafe daha yavaş büyür. Dolayısıyla bu malzemelerin ısıl genleşmeleri düşüktür.

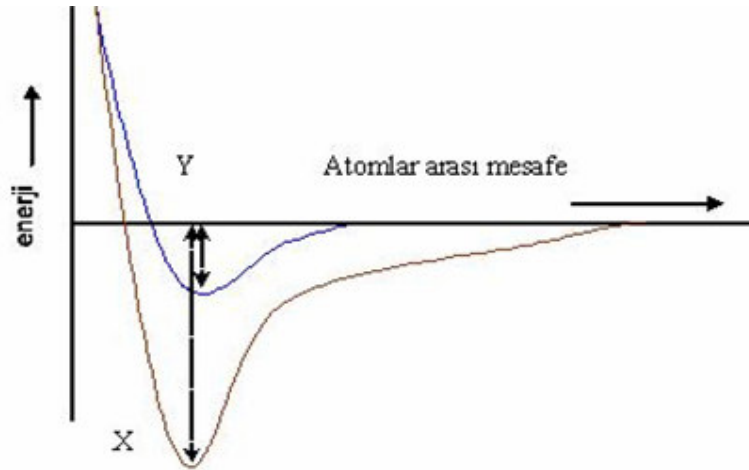


Şekil 4.3.5.4. Ergime sıcaklığının ısı genleşmeye etkisi

Bu animasyonda bulunan atomların tasarımı ve hareketleri 3D Studio Max programında yapılmış olup, Macromedia Flash programında tasarlanarak zamana göre hareketlendirilmesi sağlanmıştır.

**Elastisite modülü:** Atomlar arası toplam kuvvet eğrisinin sıfır olduğu noktadaki eğimi, malzemenin elastisite modülünü verir. Bağ enerji çukurunun derinliği arttıkça eğrinin eğimi de o oranda artmaktadır. Dolayısı ile malzemenin elastisite modülü de artacaktır.

Şekil 4.3.5.5.'de iki farklı malzemeye ait enerji-atomlar arası mesafe eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 4.3.5.5. Bağ enerjisi – Atomlar arası mesafe grafiği

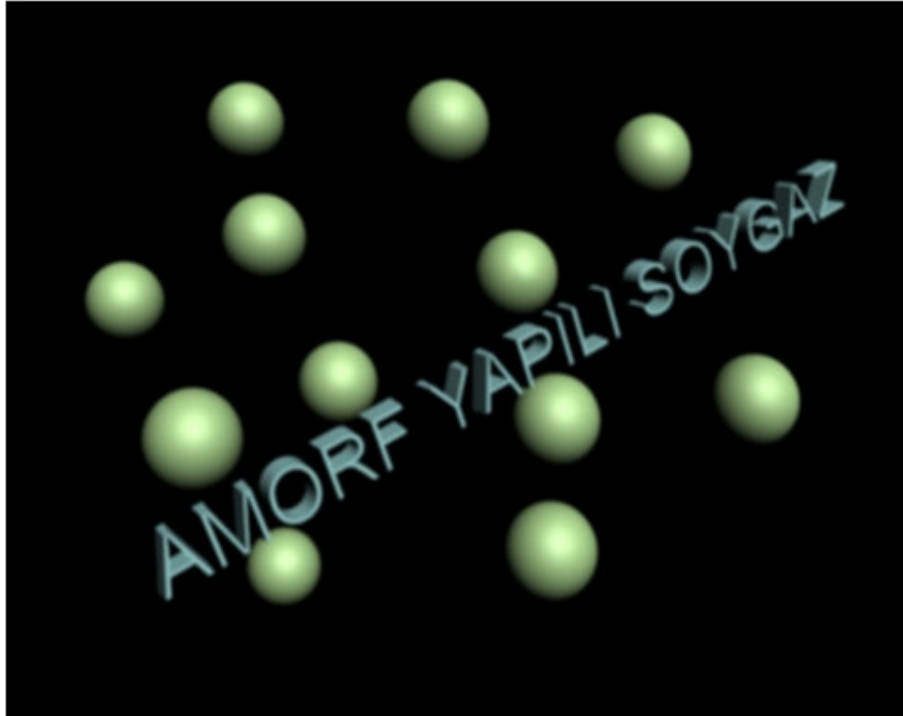


Burada X malzemesinin ergime derecesi, Y malzemesinden daha yüksektir. Çünkü X malzemesinin bağ enerji çukuru daha derin olup, bağ enerjisi de o oranda yüksektir. Böylece X malzemesini eritmek için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Yine X malzemesinin ergime derecesi, Y malzemesinden daha yüksek olduğu için X malzemesinin ısı genleşmesi Y malzemesinden daha düşüktür. Y malzemesinin ısı genleşmesi daha yüksektir.

#### 4.4. Atomların Dizilişleri

Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak, malzemelerin özellikleri ve mikro yapıları değişmektedir. Atomların diziliş şekillerini amorf, moleküler ve kristal yapı olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz.

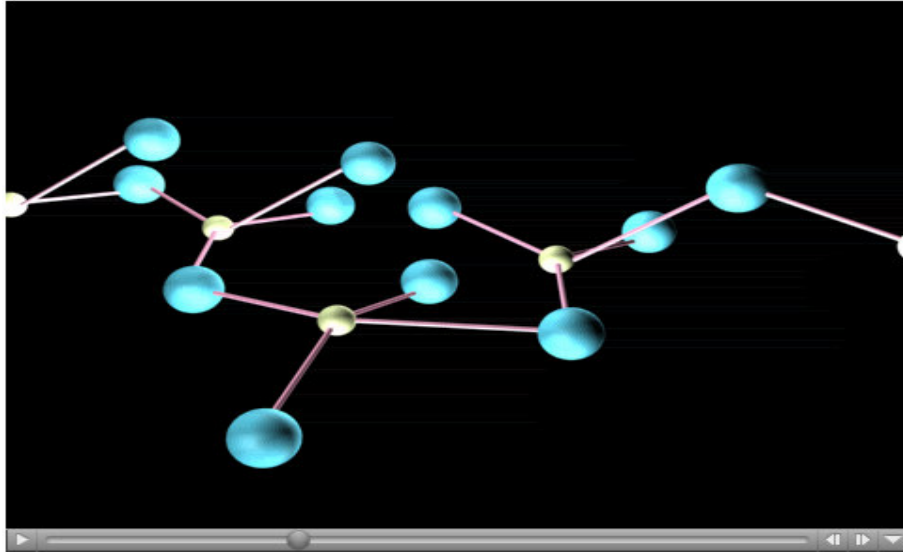
**Amorf Yapı (Düzensiz yapı):** Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse böyle bir yapıya amorf yapı (düzensiz yapı) adı verilir. Gazlar, sıvılar ve katı maddelerden cam, amorf yapı maddelerdir.



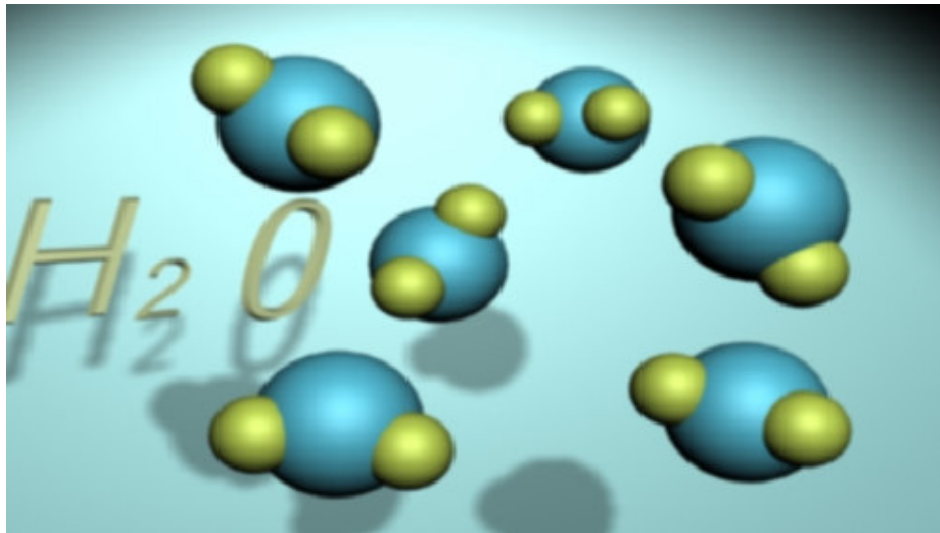
Şekil 4.4.1. Amorf yapı atomlarının üç boyutlu gösterimi

**Moleküler yapı:** Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirleri ile zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorlarsa bu tür yapılara da moleküler yapı denir.

Moleküler yapı malzemelerde, molekül içerisinde düzenli bir diziliş söz konusu iken moleküller arası rasgele bir dizilişe sahiptirler. Su ( $H_2O$ ); karbon dioksit ( $CO_2$ ),  $O_2$ ;  $N_2$  ve birçok polimer malzemeler moleküler yapıya sahiptirler.

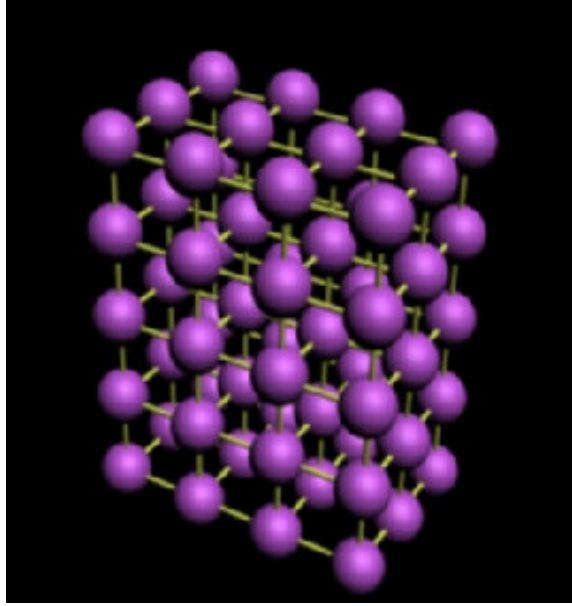


Şekil 4.4.2. Moleküler yapıya sahip  $Si_2O$  molekülü animasyonu



Şekil 4.4.3. Moleküler yapıya sahip  $H_2O$  molekülü üç boyutlu gösterimi

**Kristal Yapı:** Atomların üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre dizilmeleri sonucu meydana gelen yapıya kristal yapı denir. Bütün metaller, çoğu seramik malzemeler ve bazı polimerler kristal yapıya sahiptirler.

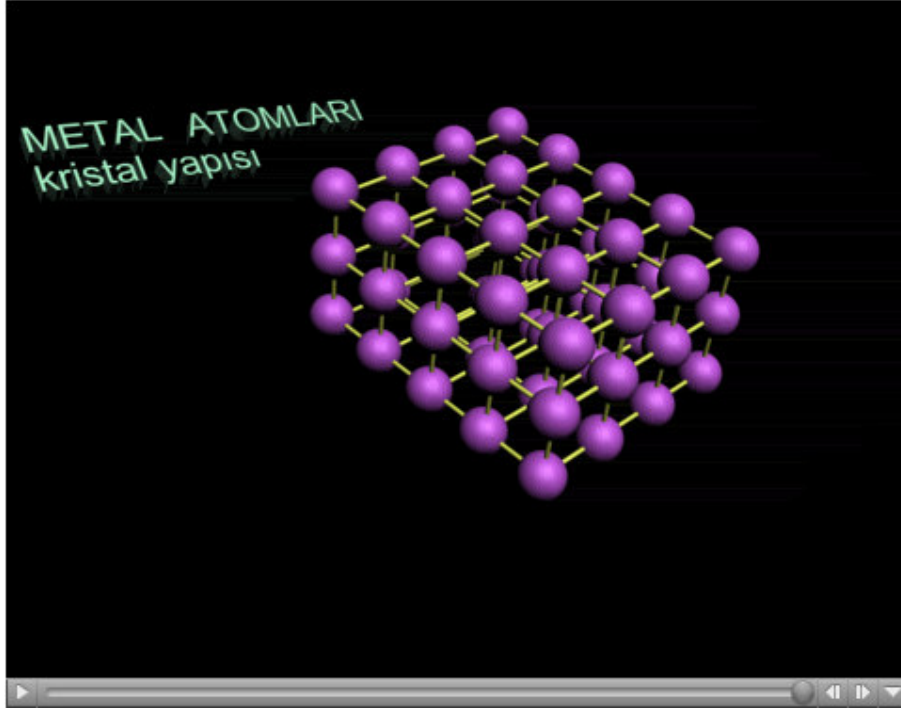


Şekil 4.4.4. Kristal yapının üç boyutlu gösterimi

#### 4.4.1. Kristal Yapısı ve Birim Hücreler

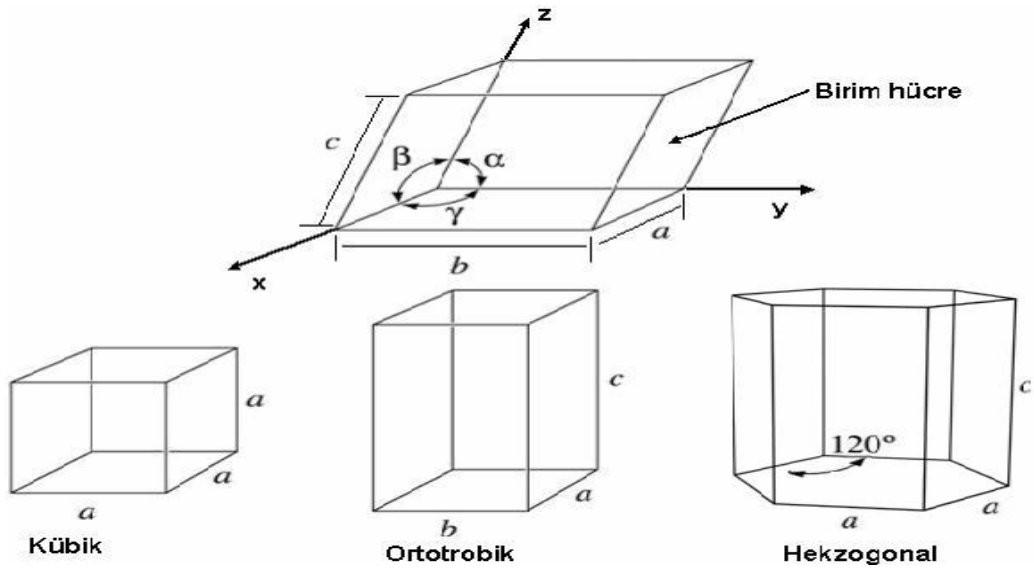
Atomların üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre dizilmeleri sonucu oluşan yapıya kristal yapı veya kristal kafesi adı verilir. Bir malzemenin kristal yapısı, kristal kafesi içerisindeki atomların dizilişi, kafesin boyutu ve kafesin şekline bağlı olarak belirlenir. Metalleri ergittiğimiz zaman sıvı haldeki metal atomları düzensiz bir biçimde dağılmışlardır. Sıvı haldeki metal soğutularak katılaştırıldığında ise, atomlar belirli bir geometrik düzene göre dizilerek kristal yapıyı meydana getirirler.

Kristal yapının tekrarlanan en küçük hacimsel birimine birim hücre adı verilir. Kristal kafesi birim hücrelerin yan yana ve üst üste gelmeleriyle meydana gelir. Birim hücre kristal kafesin bütün geometrik özelliklerini taşıdığı için, eğer birim hücrenin yapı düzenini bilirsek, kristal kafesinin de yapı düzenini kolayca tarif edebiliriz.



Şekil 4.4.1.1. Metal kristal kafesi birim hücresi ve kafes noktaları animasyonu

Kristal kafesi içerisinde atomların bulunduğu yerlere kafes noktaları adı verilir. Atomlar birim hücrenin köşelerinde, merkezinde her bir yüzeyinde veya yüzey kenarlarında bulunabilir. Birim hücrenin boyut ve şeklini tarifeden bu parametrelere, kafes parametreleri adı verilir.



Şekil 4.4.1.2. X, y ve z koordinat eksenlerine sahip bir birim hücrenin, kafes parametrelerinin (kenar uzunlukları ve eksenler arası açılar) gösterilmesi

#### 4.4.2. Basit Kübik Kafes ve Atomlarının Sayısı

Basit kübik (BK) kafeste atomlar küpün her bir köşesinde yerleşir. Dolayısıyla her bir köşede bir atom olursa, birim hücrede toplam sekiz atom vardır. Basit kübik kafeste birim hücredeki tüm kenarların uzunluğu birbirine eşit olup, eksenleri arasındaki bütün açılar  $90^\circ$  dir.

$$N_T = \frac{N_{KÖŞE}}{8} + \frac{N_{YÜZEY}}{2} + N_{iç} + \frac{N_{KENAR}}{4}$$

$N_T$  = Birim hücredeki toplam atom sayısı

$N_{Köşe}$  = Birim hücrenin köşelerinde bulunan atom sayısı

$N_{Yüzey}$  = Birim hücrenin yüzeylerinde bulunan atom sayısı

$N_{iç}$  = Birim hücrenin iç kısmında bulunan atom sayısı

$N_{Kenar}$  = Birim hücrenin kenarlarında bulunan atom sayısı

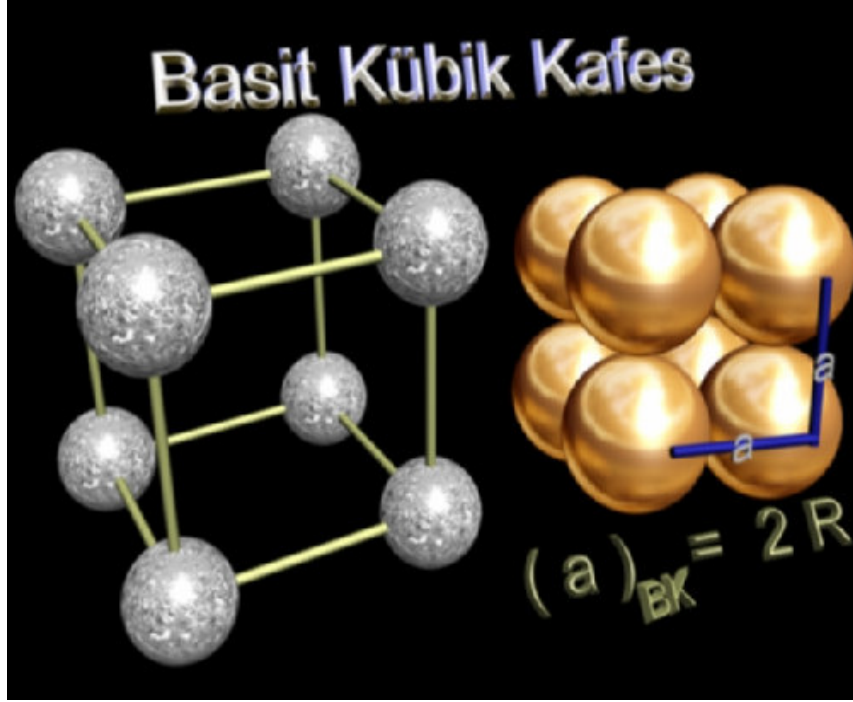
Basit kübik kafesin birim hücresinin her bir köşesindeki atom, 8 komşu birim hücre arasında paylaşılır. Dolayısıyla köşedeki her bir atomun  $1/8$  i bir tane birim hücreye aittir. Basit kübik kafesin birim hücresinde sekiz köşe olduğuna göre ve her bir köşede birer atom bulunduğuna göre, birim hücredeki atomların toplamı  $8 \times 1/8 = 1$  dir.

$$N_T = \left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(0 \times \frac{1}{2}\right) + \left(0 \times \frac{1}{1}\right) + \left(0 \times \frac{1}{4}\right) = 1$$

Birim hücredeki toplam atom sayısı 1 olarak bulunur.

Birim hücredeki a kenar uzunluğu (kafes sabiti) ile atom yarıçapı (R) arasındaki bağıntı vardır. Kafes sabiti a ile atom yarıçapı arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir:

$$(a)_{BK} = 2R$$



Şekil 4.4.2.1. Basit kübik kafes sistemindeki atomların üç boyutlu gösterimi

#### 4.4.3. Hacim Merkezli Kübik (HMK Kafes ve Atomlarının Sayısı)

Hacim merkezli kübik (HMK) kafeste, kübün her bir köşesinde birer atom bulunduğu gibi kübün merkezinde de bir tane atom yerleşir. HMK kafeste de birim hücre kenarlarının uzunluğa eşit ve eksenler arasındaki bütün açılar  $90^\circ$  dir. Demir oda sıcaklığında HMK yapıya sahiptir. Ayrıca krom, tantalum ve tungsten de HMK yapıya sahiptir.

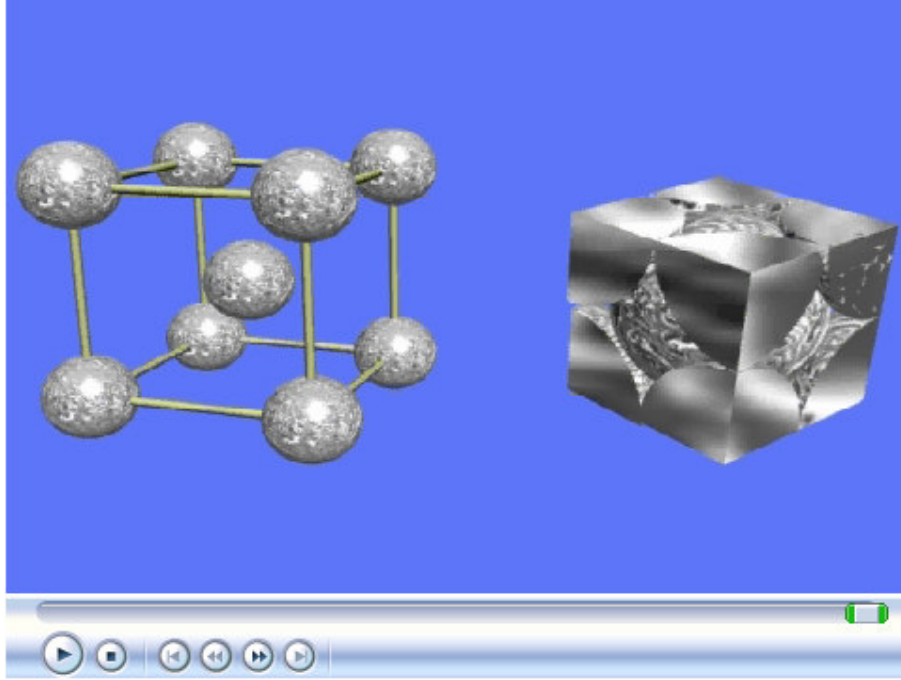
HMK kafeste birim hücrenin her bir köşesindeki atom, 8 komşu birim hücre arasında paylaşılır. Dolayısıyla köşedeki her bir atomun  $1/8$  i bir tane birim hücreye aittir. Birim hücrede 8 köşe olduğuna göre, köşe atomlarının toplamı  $8 \times 1/8 = 1$  dir. Kübün merkezinde de bir tane atom olduğuna göre, HMK kafeste toplam 2 atom vardır.

$$N_T = \left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(0 \times \frac{1}{2}\right) + \left(1 \times \frac{1}{1}\right) + \left(0 \times \frac{1}{4}\right) = 2$$

Birim hücredeki toplam atom sayısı 2 olarak bulunur.

Aşağıdaki animasyonda görüleceği gibi, birim hücrenin alt tabanından üst taban arasındaki köşegen uzunluğu  $\sqrt{3}a$  dır. Bu köşegen uzunluğu atom yarıçaplarına göre ifade edilirse  $4R = \sqrt{3}a$  olduğu görülecektir.

$$(a)_{\text{HMK}} = 4R / \sqrt{3}$$



Şekil 4.4.3.1. Hacim merkezli kübik kafes yapısı, atomların yerleştiği yerlerin, birim hücrede bulunabilecek atom sayısının animasyonu

#### 4.4.4. Sıkı Düzenli Hegzagonal (SDH) Yapılar

SDH kafes, merkezde 1 atom ve bunu çevreleyen düzenli altıgen şeklindeki 6 atomdan meydana gelir. Birim hücrenin ortasında bulunan düzlemde (c eksenine) ise 3 tane ek atom daha bulunmaktadır. Mg, Cd, Be, Zn, Ti, Zr bu tip kristal yapıya sahiptir. Bu tip kristal yapıların koordinasyon sayısı 12'dir. Atomal dolgu faktörü 0,74'tür. Birim hücrenin a ve c olmak üzere iki kafes parametresi vardır. c/a 'nın ideal oranı 1,633'dür.

$$(a)_{\text{SDH}} = 2R$$

#### 4.4.5. Yüzey Merkezli Kübik (YMK)

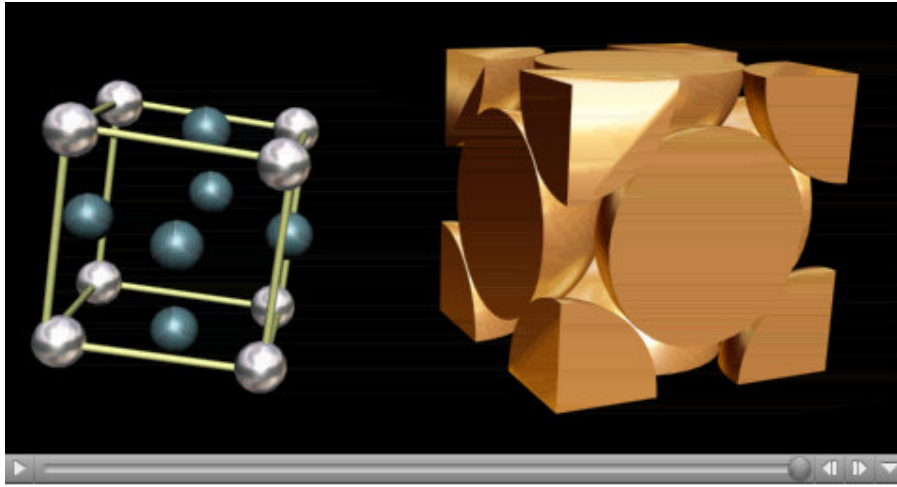
Çoğu metallerde bulunan yüzey merkezli kübik (YMK) kafes yapısının birim hücresi de kübik geometriye sahiptir. Birim hücrenin her bir köşesinde ve her bir küp yüzeyi merkezinde birer atom yerleşmiştir. Bakır, gümüş, altın ve alüminyum YMK kafes yapısına sahip metallerdir.

YMK kafes birim hücresinde bulunabilecek atom sayısı gösterilmektedir. YMK kafeste birim hücrenin her bir köşesindeki atom 8 komşu birim hücre arasında paylaşılır. Birim hücredeki köşe atomlarının toplamı  $8 \times 1/8 = 1$  dir. Birim hücrenin yüzey merkezlerindeki atomların yarısı bir birim hücreye, diğer yarısı ise komşu birim hücreye aittir. Altı tane yüzeydeki birim hücreye ait atom sayısı  $6 \times 1/2 = 3$  tür. Sonuç olarak YMK kafesin birim hücresinde 1 adet köşelerde ve 3 adet yüzeylerde olmak üzere toplam 4 adet atom vardır.

$$N_T = (8)(1/8) + (6)(1/2) + (0)(1/1) + (0)(1/4) = 4 \text{ atom bulunur.}$$

YMK, kafesinde birim hücrenin yüzey köşegeni arasındaki uzaklık  $\sqrt{2}$  a dır. Yüzey köşegen uzunluğu atom yarıçaplarına göre ifade edilirse,  $4R = \sqrt{2}$  a olduğu bulunacaktır.

$$(a)_{YMK} = 4R / \sqrt{2}$$



Şekil 4.4.5.1. Yüzey merkezli kübik kafes yapısında atomların yerleştiği yerler ve birim hücrede bulunabilecek atom sayısının animasyonu



**KYM kafeste Atomal Dolgu Faktörü:**

ADF = Birim kafesteki atomların hacmi / Birim kafesin hacmi

Kaç tane atom vardır? **4 atom/küp**

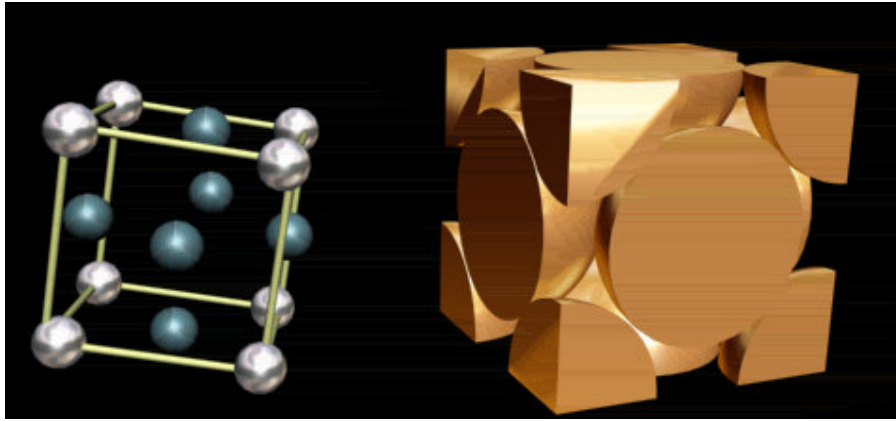
Atomların hacmi nedir? **4 x  $4\pi R^3/3$**

Kübün hacmi ne kadardır?  **$a^3$**

“R” ile “a” arasındaki ilişki nedir? **ADF =  $(16\pi R^3/3)/a^3 = 0.74$**

ADF, R'den bağımsızdır.

$$a = (2\sqrt{2})R$$



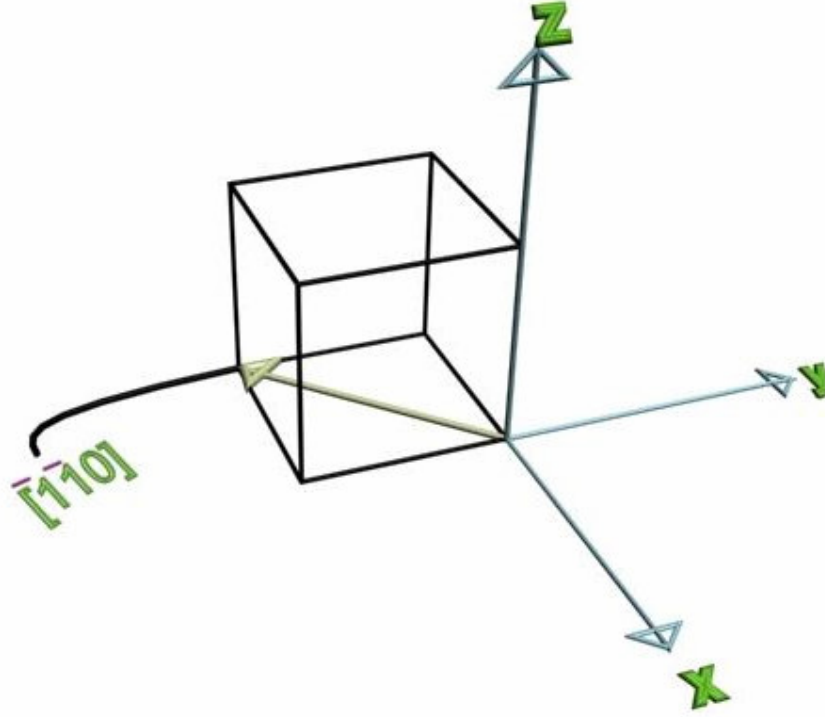
Şekil 4.4.5.2. KYM kafeste atomların dizilişi

**4.4.6. Miller İndisleri**

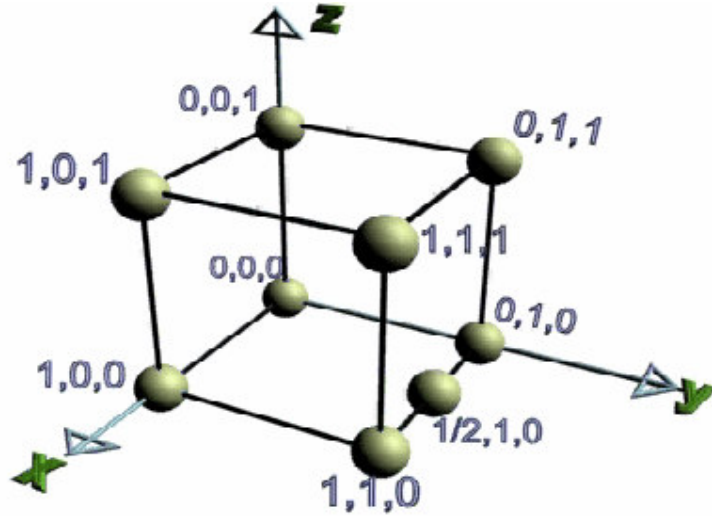
Miller indisleri yardımı ile kristal doğrultuları aşağıdaki adımlar takip edilerek bulunur.

- I. Adım :Doğrultu vektörünün, başlangıç ve bitiş noktalarının noktasal koordinatları belirlenir,
- II. Adım :Bitiş noktası koordinatlarından, başlangıç noktası koordinatları çıkartılır.
- III: Adımı : Eğer çıkartma işlemi sonucunda kesirli bir rakam bulunursa, uygun bir tam sayı ile çarpılarak paydalar eşit hale getirilir ve paydaları eşit olan kesrin paylarındaki rakamlar alınır.
- IV. Adım :Bulunan rakamlar köşeli parantez içine aralarına virgül koymadan [xyz] düzeninde yazılır.

Eğer doğru vektörü Şekil 4.4.6.1’de gösterildiği gibi eksi bölgede bileşen verirse, eksi işareti (-) indisin üzerine yerleştirilerek kristal doğrultusu tanımlanır. Şekil 4.4.6.1’deki kristal doğrultusu  $[\bar{1}\bar{1}0]$  dir.



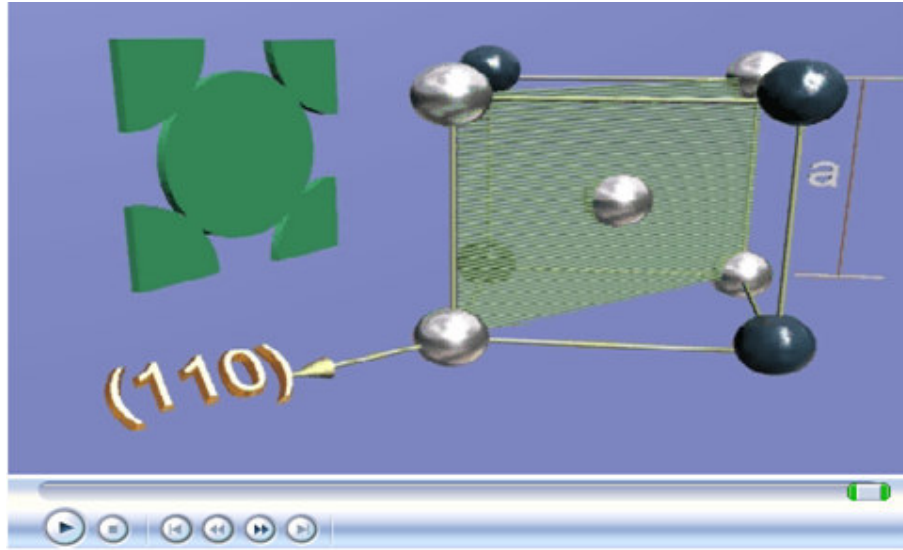
Şekil 4.4.6.1. Eksi bölgede bileşen veren kristal doğrultusu



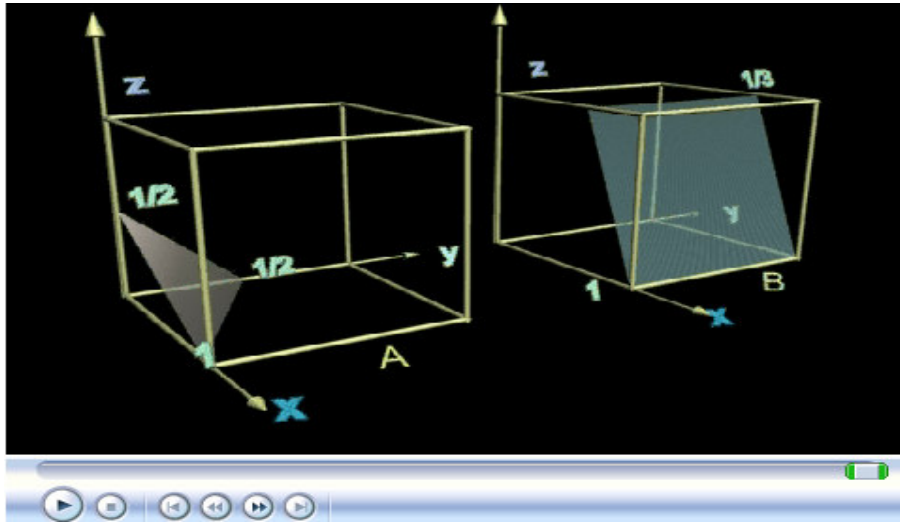
Şekil 4.4.6.2. Kristal kafes noktalarının koordinatlarının animasyonu

#### 4.4.7. Kristal Düzlemleri

Kafes içerisinde atomlar kristal düzlemleri boyunca dizilirler. Atom dizilişlerinin sıklık veya seyrekliğine göre, malzeme özellikleri değişir. Şekil 4.4.7.1’de hacim merkezli kübik kafeste (110) kristal düzlemi ve bu düzlem içerisinde bulunan atomlar gösterilmektedir.



Şekil 4.4.7.1. Hacim merkezli kübik kafeste (110) kristal düzlemi ve düzlem içerisinde bulunan atomların animasyonu



Şekil 4.4.7.2. Kübik kristal kafeste gösterilen A ve B kristal düzlemlerinin animasyonu

Şekil 4.4.7.2'de gösterilen A kristal düzleminin Miller indislerini şu şekilde bulabiliriz:

**I. Adım:** Kristal düzleminin  $x, y, z$  eksenlerini kestiği noktalar:  $1, 1/2, 1/2$

**II. Adım:** Belirlenen bu noktaların tersi alınır:  $1/1, 2/1, 2/1$

**III. Adım:** Elde edilen kesirli sayılar ortak bir çarpanla çarpılarak, en küçük tam sayılar elde edilir:

$$1 \times (1/1, 2/1, 2/1) = 1, 2, 2$$

**IV. Adım:** Kristal düzleminin gösterilişi:  $(1\ 2\ 2)$

Şekil 4.4.7.2'de gösterilen B kristal düzleminin Miller indisini şu şekilde bulabiliriz:

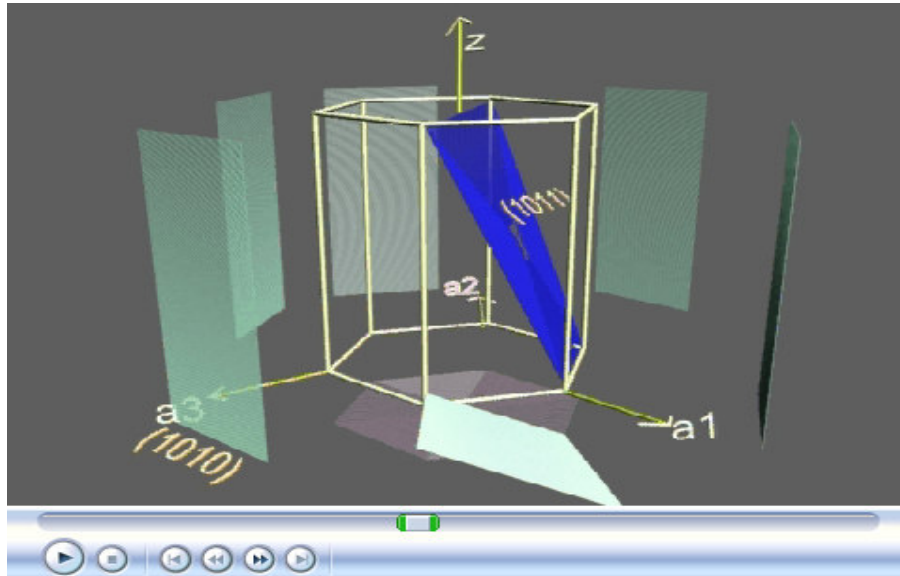
**I. Adım:** Kristal düzleminin  $x, y, z$  eksenlerini kestiği noktalar:  $1/3, \infty, 1$

**II. Adım:** Belirlenen bu noktaların tersi alınır:  $3/1, 1/\infty, 1/1$

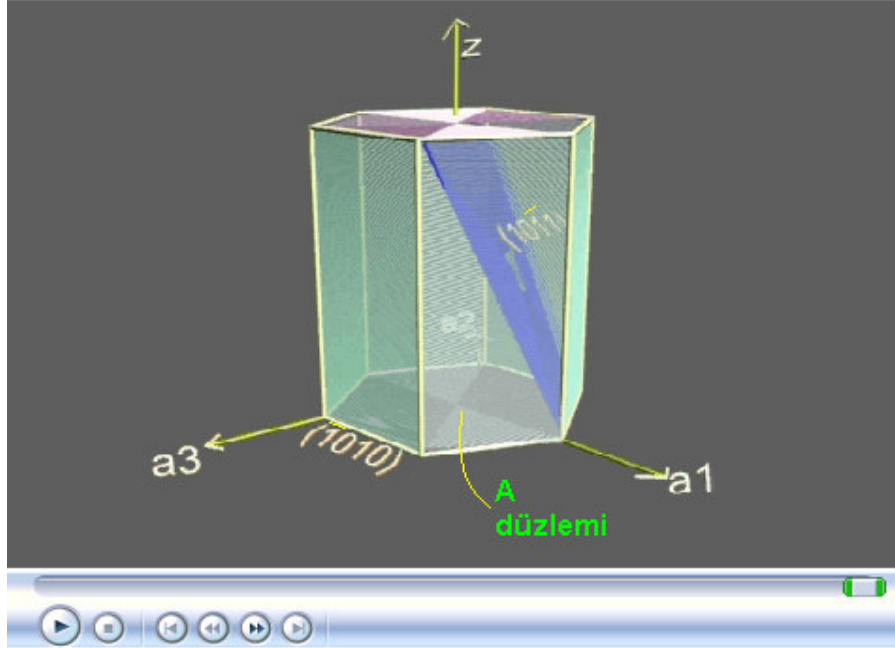
**III. Adım:** Kaldırılacak kesir olmadığı için şu şekilde ifade edilir:  $3, 0, 1$

**IV. Adım:** Kristal düzleminin gösterilişi:  $(3\ 0\ 1)$

Hegzagonal kafesin Miller indislerini bulurken  $x, y, z$ , üç eksen takımı yerine,  $a_1, a_2, a_3, z$  olmak üzere dört eksen takımı kullanılır. Dolayısıyla kristal düzlemler üç rakamla değil, dört rakamla ifade edilir. Şekil 4.4.7.2'de hegzaonal kristal kafesinde örnek kristal düzlemleri gösterilmektedir. Hegzagonal kafesin Miller indislerini bulurken takip edilen adımlar önceden ifade edildiği adımların aynısıdır.



Şekil 4.4.7.3. Hegzagonal kristal kafesinde gösterilen örnek kristal düzlemlerin animasyonu (1. adım)



Şekil 4.4.7.4. Hekzogonal kristal kafesinde gösterilen örnek kristal düzlemlerin animasyonu (2. adım)

Şekil 4.4.7.4'de gösterilen hegzagonal kristal kafesin A kristal düzleminin Miller indislerini şu şekilde bulabiliriz;

A kristal düzlemi için:

**I. Adım:** Kristal düzleminin  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $z$  eksenlerini kestiği noktalar:  $\infty, \infty, \infty, 1$

**II. Adım:** Belirlenen bu noktaların tersi alınır:  $1/\infty, 1/\infty, 1/\infty, 1/1$

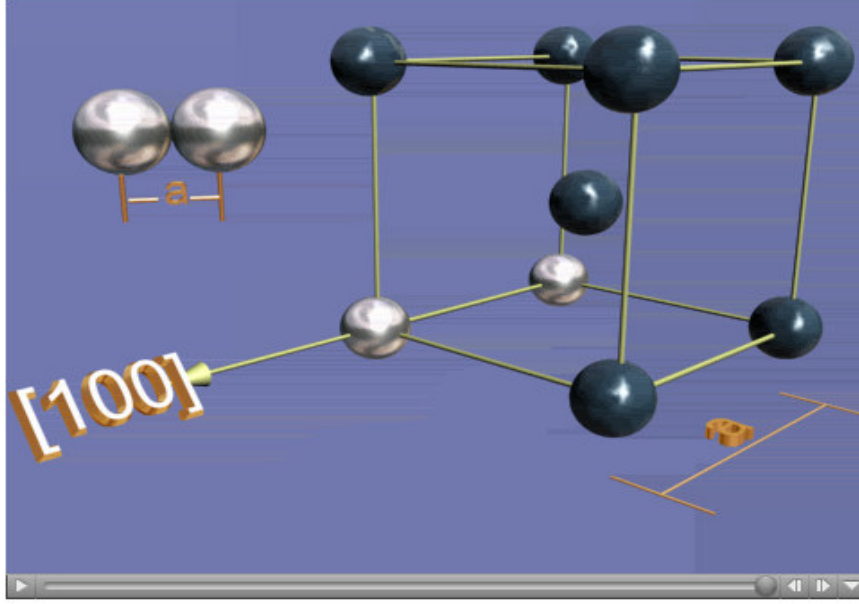
**III. Adım:** Elde edilen kesirli sayılar ortak bir çarpanla çarpılarak, en küçük tam sayılar elde edilir.  $1 \times (1/\infty, 1/\infty, 1/\infty, 1/1) = 0, 0, 0, 1$

**IV. Adım:** Kristal düzleminin gösterilişi: **(0001)**

#### 4.4.8. Doğrusal Atom Yoğunluğu

Metaller en sık dizilen atom düzlemleri doğrultusunda plastik şekil değişimine uğrar. Bu kristal düzlemler üzerindeki atom diziliş sıklığına Doğrusal atom yoğunluğu denir.

$$\text{Doğrusal atom yoğunluğu} = \frac{\text{Seçilen doğru üzerindeki atomların toplam uzunluğu}}{\text{Seçilen doğrunun uzunluğu}}$$



Şekil 4.4.8.1. Hacim merkezli kübik kafeste [100] kristal doğrultusu ve atomlar arası mesafe animasyonu

Şekil 4.4.8.1'de gösterilen HMK kafesin [100] kristal doğrultusunun doğrusal atom yoğunluğunu şu şekilde hesaplanır;

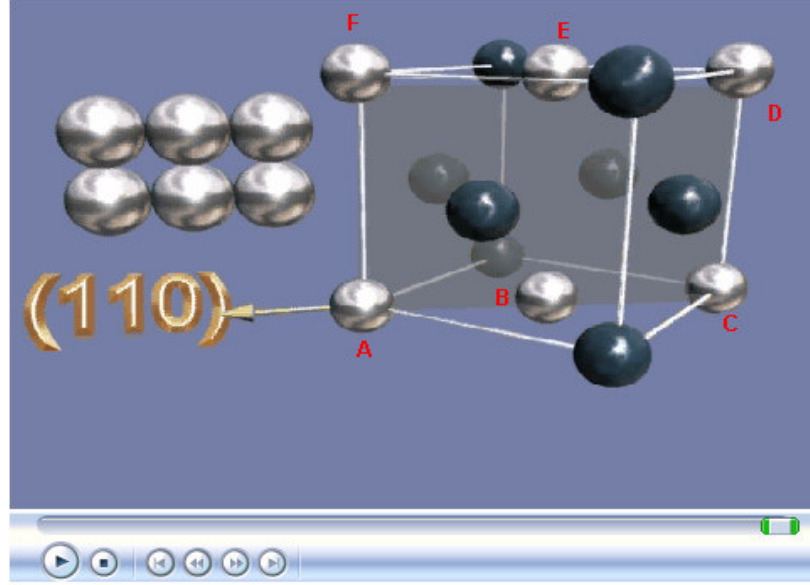
HMK yapısının kafes sabiti  $a$  ile atomların yarı çapları arasındaki ilişki  $a = 4R / \sqrt{3}$  dür. Şekil 4.4.8.1'de [100] doğrultusu ve içerisindeki atomlar gösterilmektedir. Bu düzlem üzerindeki atomların toplam uzunluğu  $2R$  dir.

$$(\text{Doğrusal atom yoğunluğu})_{[100]} = \frac{2R}{4R / \sqrt{3}} = 0,866$$

#### 4.4.9. Düzlemsel (Planar) Atom Yoğunluğu

Kristal düzleminde bulunan atomların alanının, kristal düzlemi alanına oranı olarak tanımlanır.

$$(\text{Doğrusal atom yoğunluğu}) = \frac{\text{Kristal düzlemindeki atomların alanı}}{\text{Kristal düzleminin alanı}}$$



Şekil 4.4.9.1. YMK kafesi içerisinde (110) kristal düzlemi animasyonu

Şekil 4.4.9.1’de gösterilen YMK kafesin (110) düzlemindeki düzlemsel atom yoğunluğunu şu şekilde bulunur.

İlk olarak (110) kristal düzleminin YMK kafesi içerisindeki yerini belirlemek gerekir. (110) düzlemini dikdörtgen şeklinde olduğu için AC ve AF uzunluklarını bularak, kristal düzleminin alanı hesaplanır.

$$AC = 4R \quad \text{ve} \quad AF = 2R / \sqrt{2}$$

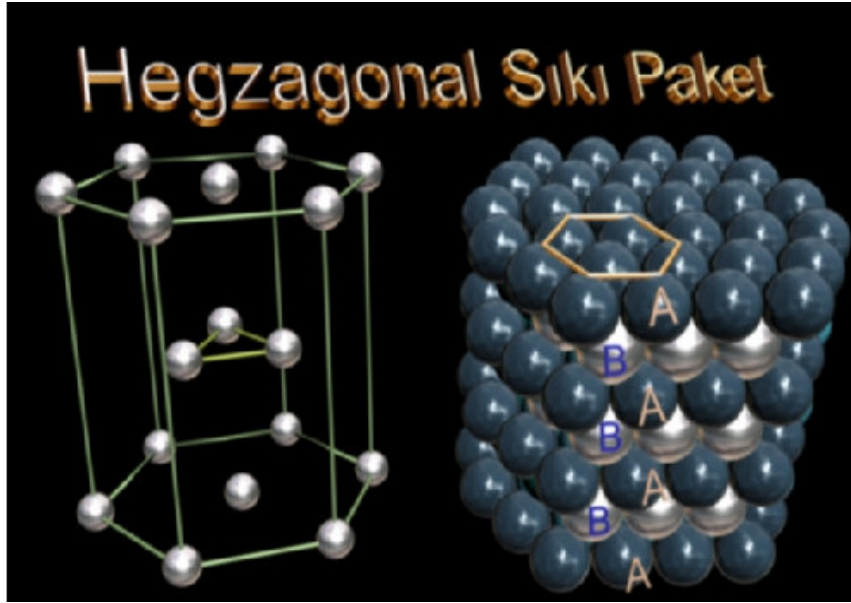
$$\text{Kristal düzlem alanı} = (4R) (2R/\sqrt{2}) = 8R^2 \sqrt{2}$$

Kristal düzlemindeki atomların alanını hesaplayabilmek için, bu düzlem içerisindeki atom sayısının da bilinmesi gereklidir. Şekil 4.4.9.1’de de görüleceği gibi, (110) düzleminin dört köşesinde atomun 1/4 dilimi ve iki yüzeyde ise atomun 1/2 dilimi vardır. Bu kristal düzleminin toplam  $(4 \times 1/4) + (2 \times 1/2) = 2$  atomu vardır. Atomları daire olarak düşünürsek bu düzlemdeki atomların alanı;  $2 (\pi R^2)$  dir.

$$\text{(Düzlemsel atom yoğunluğu)}_{(110)} = \frac{2\pi R^2}{8R^2 \sqrt{2}} = 0,155$$

#### 4.4.10. Sıkı Paket Kristal Yapıları

Atomlar daima en sıkı paket oluşturacak şekilde dizilme eğilimi taşırlar. Sıkı paket HSP ve sıkı paket YMK birim hücreleri tanımlanırken harf sistemi kullanılır. Şekil 4.4.10.1.'de HSP sıkı paket düzlemleri gösterilmektedir. HSP yapının üstteki ve tabandaki (0001) düzlemleri A harfiyle adlandırılmıştır. Bu iki düzlem ortasında B harfiyle adlandırılan (0002) düzlemi yer alır. A ve B düzlemleri birbirlerine paralel ve sürekli birbirini takip edecek şekilde dizilirler HSP de sıkı paket düzlemleri AB AB AB ..... şeklinde tarif edilir.



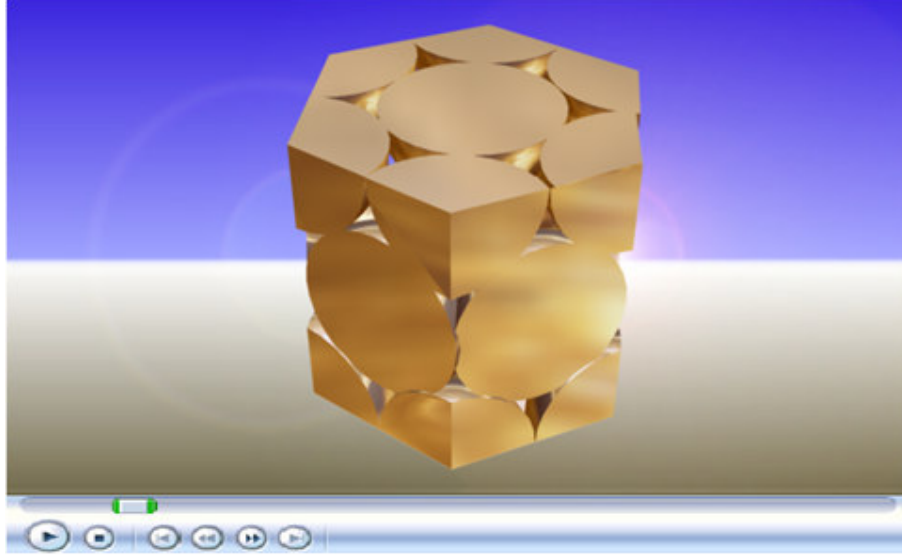
Şekil 4.4.10.1. Hegzagonal Sıkı Paket Kafeste AB AB ..... düzlemlerinin üç boyutlu gösterilmesi

Şekil 4.4.10.1'de gösterilen tek bir HSP kafesinde birim hücredeki atom sayısı 6'dır. 3 atom orta tabakada bir üçgen oluşturmaktadır. Hem alt hem de üst tabakalarda mevcut bulunan 6'şar adet  $\frac{1}{6}$  atom toplandığında 2 adet atom oluşturmaktadırlar.

$$6 \times 2 \times \frac{1}{6} = 2 \quad (\text{alt ve üst tabakalardaki atom sayısı})$$

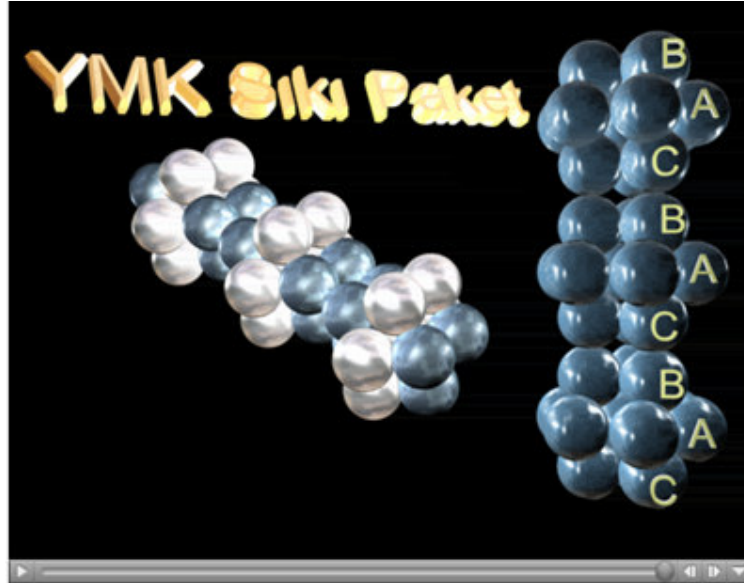
Yine hem alt hem de üst tabakada yarım atom bulunmaktadır. Bunlarda toplandığında 1 atom eder. Böylece tek bir HSP kafesinde  $3 + 2 + 1 = 6$  atom bulunur.





Şekil 4.4.10.2. HSP kafesinde birim hücre animasyonu

Şekil 4.4.10.3'deki animasyonda YMK kristalinin sıkı paket dizilisi göstermektedir. YMK sisteminde sıkı paket istiflenmesi fiili düzlemlerine paralel olacak şekilde gerçekleşir. B düzlemindeki atomlar A düzleminin üstündeki boşluklara yerleşir. C düzlemindeki atomlar B düzleminin üstündeki boşluklara yerleşir. A düzlemindeki atomlar C üzerindeki boşluklara uyar. A, B, C düzlemleri birbiri üzerinde sürekli olacak şekilde istiflenerek dizildikleri için, YMK kristali sıkı paket ABC ABC ABC ..... şeklinde tarif edilir.



Şekil 4.4.10.3. YMK sıkı paket kafeste ABC ABC ..... Düzlemlerinin animasyonu

## 4.5. Kristal Yapı Hataları

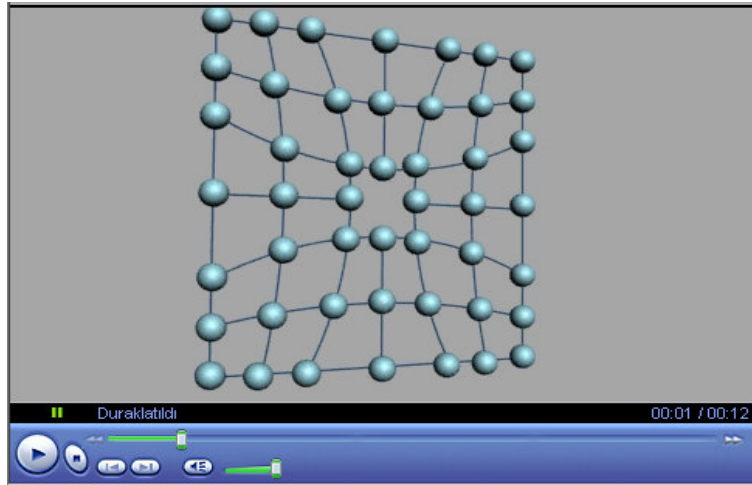
Malzemelerin kristal yapısı teorik olarak ne kadar düzenli ve tekrar edilen yapılar olarak kabul edilseler de gerçekte kristal yapıları bir takım hatalar veya kusurlar içermektedirler. Çünkü kristal kafesi içerisindeki bazı atomlar yerinden kaymış olabilir, kristal kafesinin birim hücre köşelerinde (kafes köşeleri) atom olmayabilir, büyük veya küçük çaplı yabancı atomlar ana kafes atomları arasında bulunabilir. Dolayısıyla bu gibi etkenler kristal kafesi içerisindeki atomların düzensiz bir şekilde dizilmesine sebep olmaktadır. Malzemelerde kristal yapı hatalarının varlığı, malzemelerin mekanik, elektrik, yoğunluk ve plastik şekil değiştirme gibi özelliklerini etkilemektedir.

### 4.5.1. Noktasal Hatalar

Bir veya birkaç atomun sebep olduğu bölgesel kafes düzensizliklerine noktasal hatalar adı verilir. Tek boyutlu olan noktasal hatalar atom boşlukları, ara yer atomları, yer alan atomları, Frenkel ve Schottky hataları olmak üzere beş çeşittir.

#### 4.5.1.1. Atom Boşluğu

Eğer bir atom kristal kafesinde bulunması gereken yerde bulunmuyorsa, o kafes bölgesinde eksik bir atom var demektir. İşte bu eksik atom sebebi ile oluşan boş kafes köşesine atom boşluğu adı verilir.

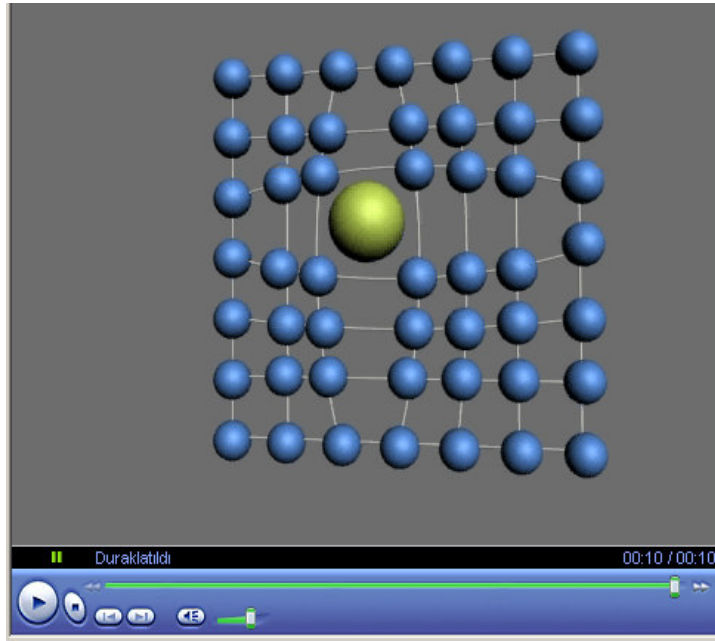


Şekil 4.5.1.1.1. Atom boşluğu animasyonu

Atom boşlukları katılma esnasında, yüksek sıcaklıklarda ve radyasyon etkenlerine bağlı olarak oluşabilirler. Metallerin katılması esnasında, atomların hatalı olarak yerleşmelerinden dolayı kafes noktalarında atom boşlukları meydana gelebilir. Yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan metalin atomları titreşmeye başlar ve atomlar arası mesafeler büyür. Titreşmeye başlayan bazı atomlar buldukları kafes noktalarından başka kafes noktalarına fırlamaları sonucu atom boşlukları oluşabilir.

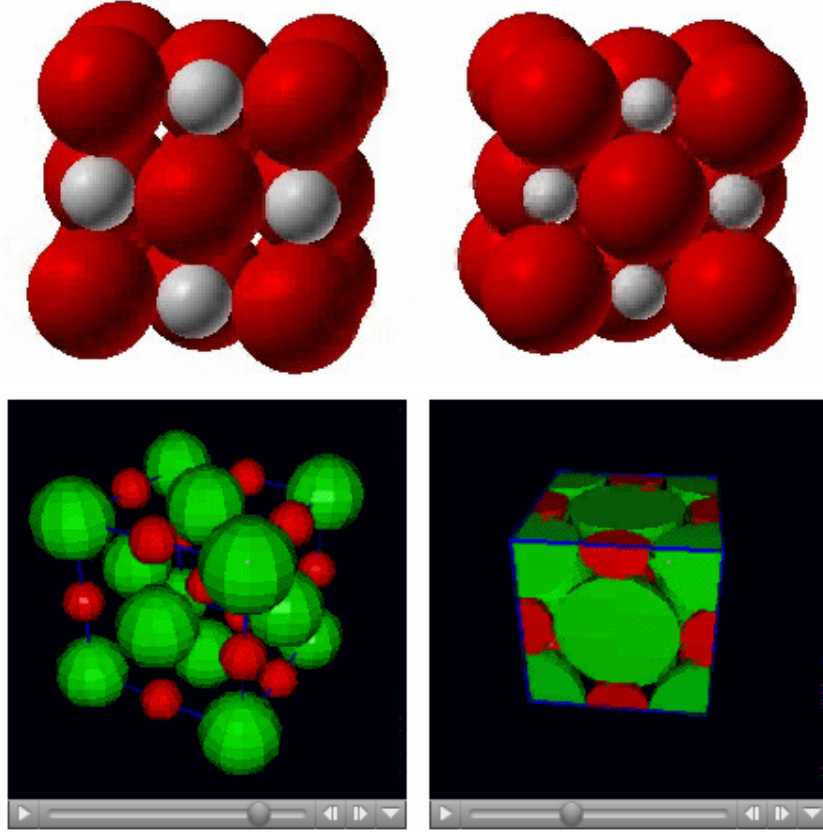
#### 4.5.1.2. Yer Alan ve Ara Yer Atom Hataları

Ara yer ve yer alan atom hataları, kristal kafesi içerisindeki fazladan yabancı bir atomun varlığını bizlere ifade eder. Eğer yabancı atomlar ana kristal kafes atomlarının yerlerini alırlarsa buna yer alan atomlar adı verilir.



Şekil 4.5.1.2.1. Arayer atomu animasyonu

Eğer yabancı atomlar, ana kafes atomlarının aralarına yerleşirlerse buna ara yer atom hatası denir. Ara yer atom boyutları ana kafes atom aralıklarından çok küçük olduğu zaman, ana atomlar arasındaki boşluklara rahatlıkla yerleşebilirler. Örneğin, demir kafesi içerisinde çok küçük atom yarıçaplarına sahip hidrojen atomları, ara yer atomu olarak bulunabilir.



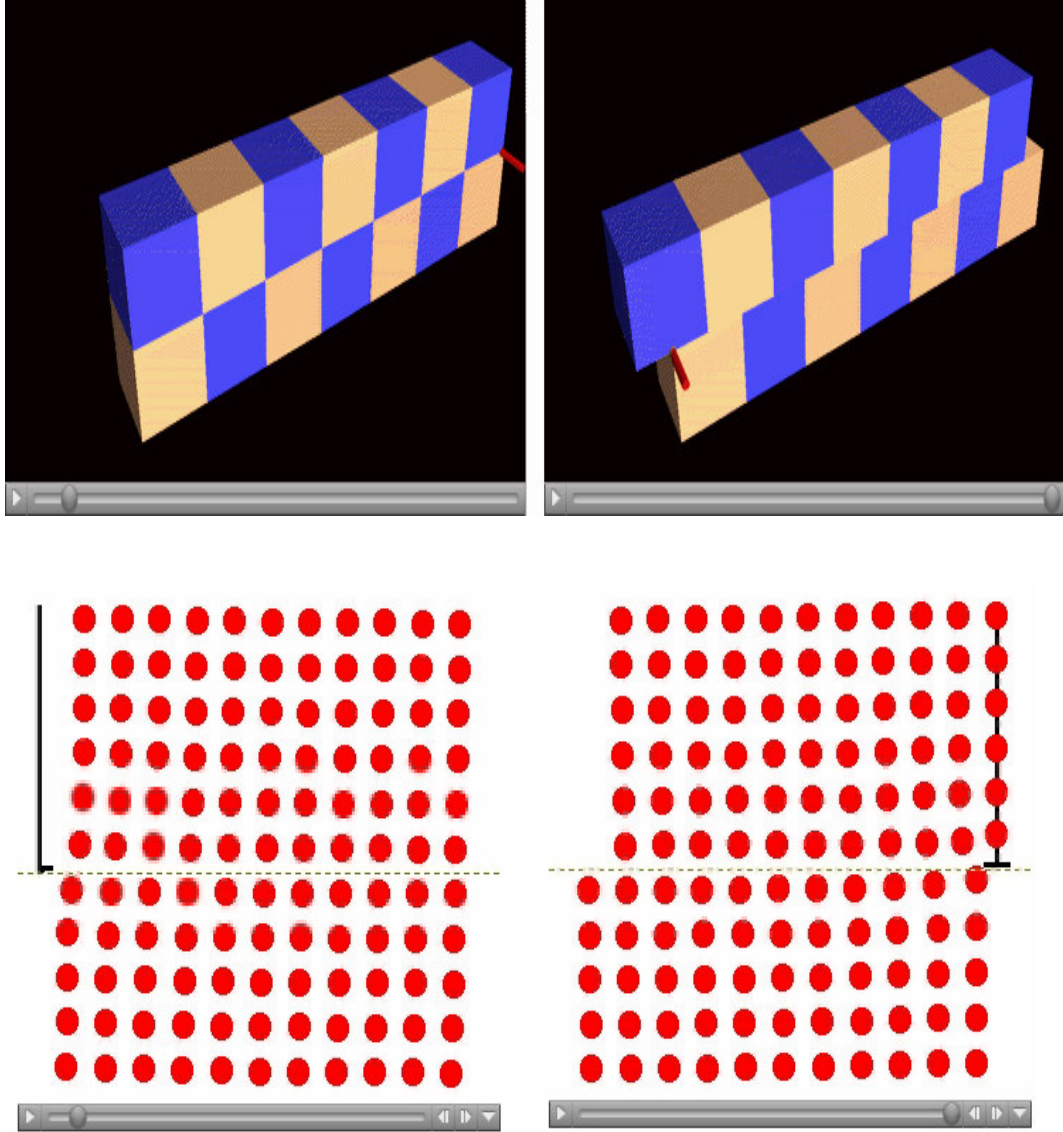
Şekil 4.5.1.2.2. Arayer atom hatası çeşitli animasyonları (<http://www.succeed.ufl.edu/content/Russ%20VIMS/>, 2004)

## 4.5.2. Çizgisel Hatalar

Bir kristal yapısındaki çizgisel hatalara dislokasyon adı verilir. Dislokasyon, bir kristalin mükemmel iki bölümü arasında yapı düzeni bozulmuş bir bölge anlamına gelir ve kristalin kaymış bölgesiyle kaymamış bölgesi arasında sınır oluşturan çizgisel hata olarak tanımlanır.

### 4.5.2.1. Kenar Dislokasyonu

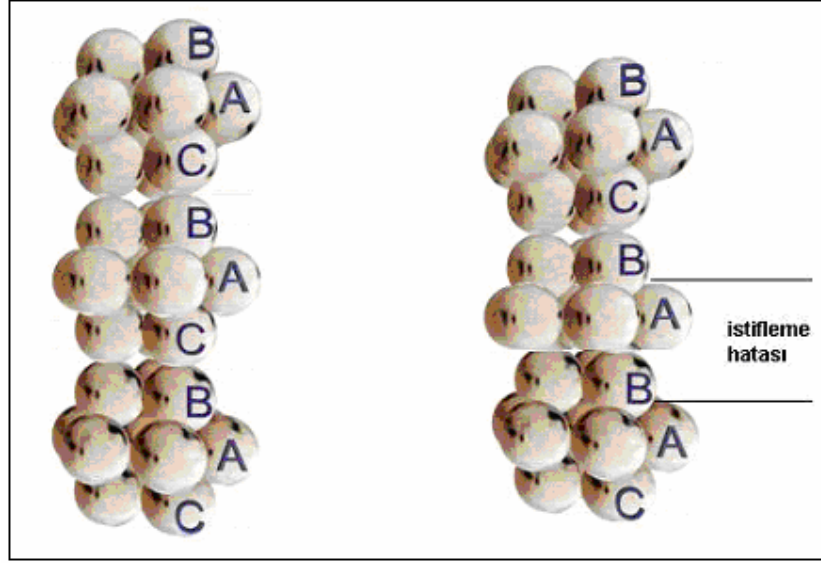
Kenar dislokasyonu kristal kafesi içerisindeki atom düzlemleri arasında oluşan eksik bir düzlemin kenarı biçimindedir. Mükemmel bir kristalden bir veya iki sıra atom tabakasının çıkarılması ile de oluşabilir. Kenar dislokasyonu  $\perp$  simgesiyle gösterilir.



Şekil 4.5.2.1.1. Kenar dislokasyonu animasyonları (<http://www.succeed.ufl.edu/content/Russ%20VIMS/>, 2004)

#### 4.5.2.2. İstifleme Hatası

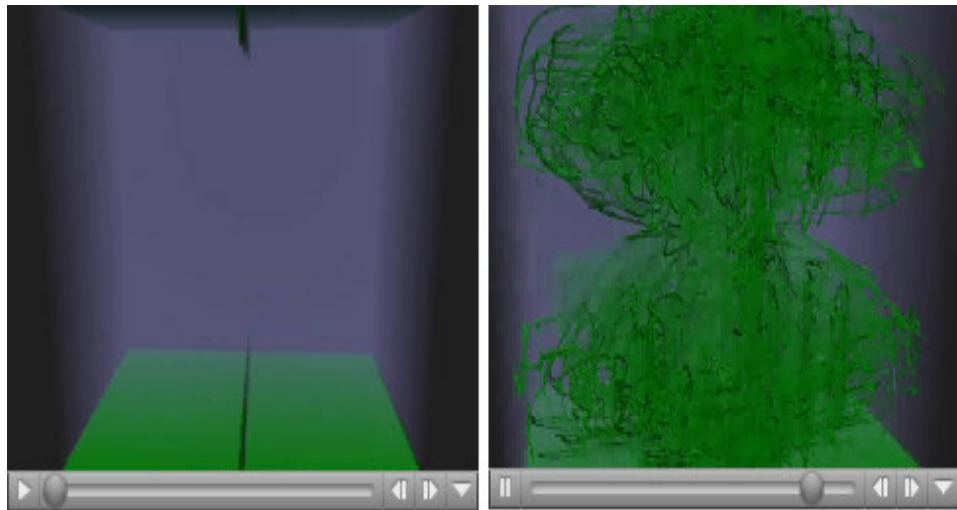
Yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip metallerde istifleme hatası meydana gelir ve sıkı düzenli düzlemlerin diziliş sırasını değiştirir. Mükemmel bir YMK kafes yapısında normalde ABCABCABC düzeninde sıralanması gerekirken düzlemlerin, herhangi bir nedenle ABCABABCABC düzeninde sıralanması sonucunda istifleme kusuru oluşmuş olur.



Şekil 4.5.2.2.1. Sıkıpaket YMK istifleme, Sıkı paket YMK istifleme hatası

#### 4.6. Difüzyon

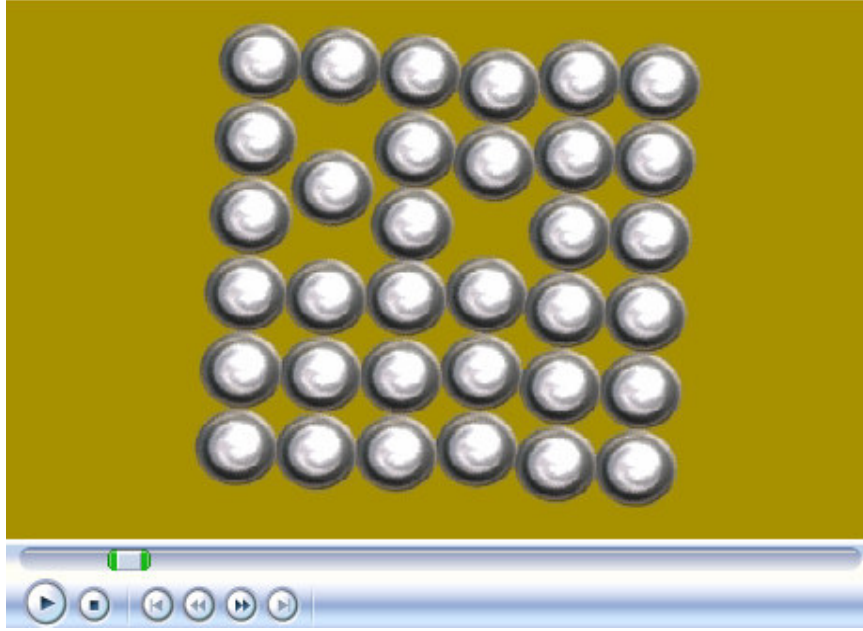
Difüzyon maddelerin yoğun oldukları ortamdan az yoğun oldukları ortama doğru yayılmalarıdır. Difüzyon için moleküllerin hareketli olması gerekir. Difüzyon iki ortamın yoğunlukları eşit oluncaya kadar devam eder. 0 °C ve daha düşük sıcaklıkta difüzyon durur. Difüzyon hızına konsantrasyon farkı, sıcaklık ve molekül büyüklüğü etkilidir.



Şekil 4.6.1. Sudaki difüzyon olayı

#### 4.6.1. Boşluk Difüzyonu

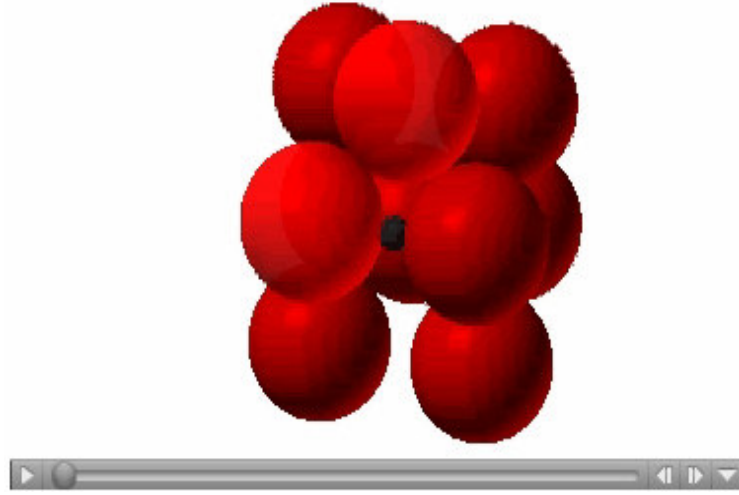
Bir kristal kafes içerisinde atom boşluğu varsa, boşluk etrafındaki atomlardan bir tanesi kendi yerini terk ederek bu boşluğu doldurur. Bu esnada ise hareket eden atomun kendi yeri boş kalır. Bu boşluğa ise diğer bir atom yerleşir ve bu olay devreder bir şekilde sürer. Atomların bu şekildeki hareketlerine boşluk difüzyonu denir. Kristal kafesi içerisinde ne kadar atom boşluğu varsa, boşluk difüzyonu o kadar çok etkilidir. Metaller yüksek sıcaklıklara çıkartıldıkları zaman, atom boşlukları artmaktadır. Dolayısıyla metallerin yüksek sıcaklıklardaki difüzyonunda, bu mekanizma oldukça önemli bir rol oynar.



Şekil 4.6.1.1. Boşluk difüzyonu animasyonu

#### 4.6.2. Ara Yer Difüzyonu

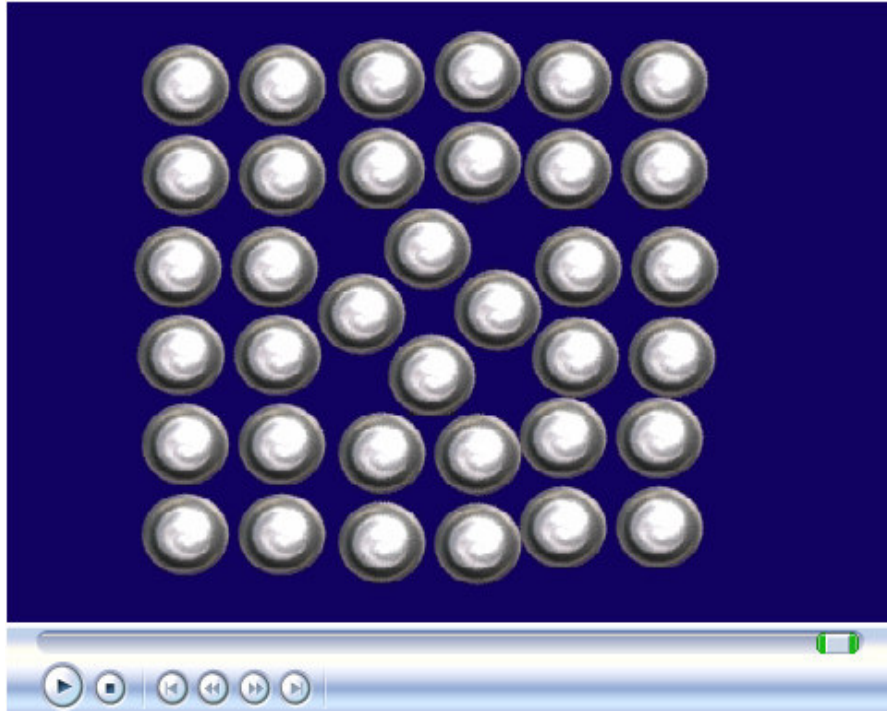
Ara yer mekanizmasında kristal kafesi içerisinde mevcut olan küçük çaplı bir ara yer atomunun, kafes ana atomları arasından geçmesi sonucu meydana gelen atom hareketine ara yer difüzyon mekanizması denir. Hidrojen, karbon, azot ve oksijen gibi ara yer boşluklarına girebilecek kadar küçük atomlar, bazı metaller içerisinde ara yer difüzyon mekanizması ile hareket ederler.



Şekil 4.6.2.1. HMK kafese sahip demir içerisinde ara yer difüzyonu ile hareket eden karbon atomu animasyonu

#### 4.6.3. Halka Difüzyonu

Bazı metallerin kristal kafesleri içerisinde birbirlerine değerek halka şeklinde bulunan atomlar aynı yönde beraberce hareket ederek birbirlerinin yerini alırlar.



Şekil 4.6.3.1. Halka difüzyonu animasyonu



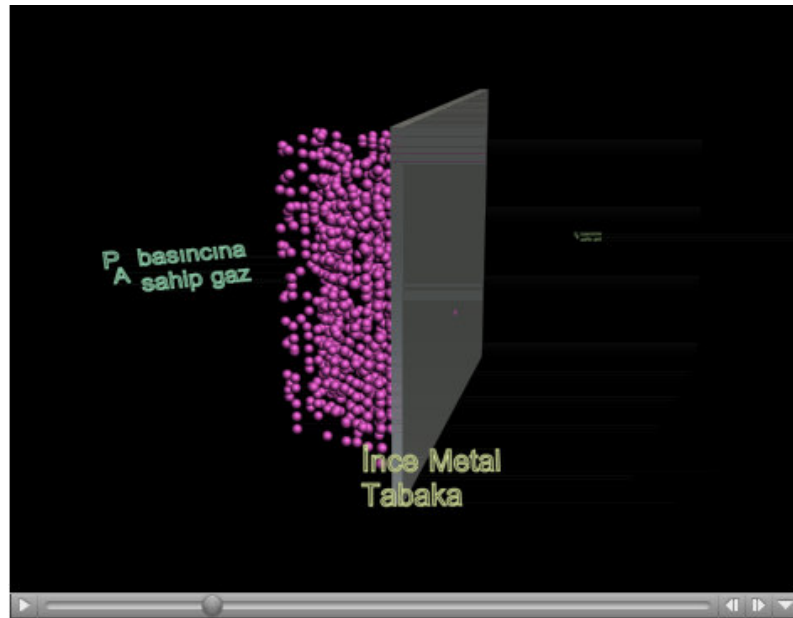
#### 4.6.4. Kararlı Durum Difüzyonu (I. Fick Kanunu)

Difüzyon olayında bir taraftan diğer tarafa doğru geçen atomların sayısı oldukça önemlidir. Birim zamanda birim alandan geçen atom sayısına, atomsal yayılım akışı adı verilir. Atomlar arası yayılım akışının ( $J$ ) genel matematiksel ifadesi şu şekildedir:

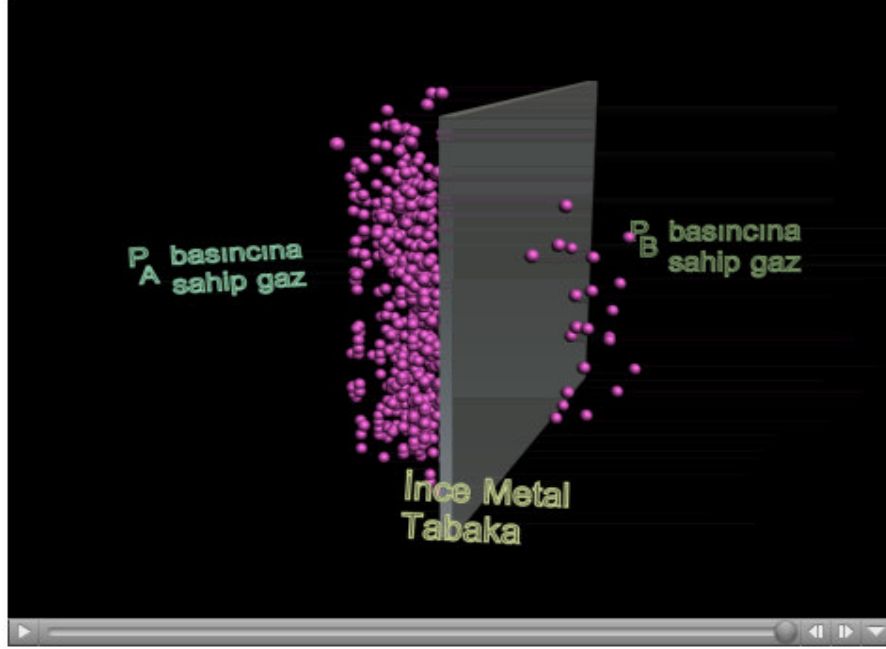
$$J = \frac{N}{A \times t}$$

- $J$  = Atomsal yayılım akışı (atom/m<sup>2</sup> saniye)
- $N$  = Belirli bir zaman aralığında geçen atom sayısı (atom)
- $A$  = Atomların geçtiği alan (m<sup>2</sup>)
- $T$  = Atomların  $A$  alanı içerisinde geçme zamanı (saniye)

Eğer atomsal yayılım akışı, zamana bağlı olarak değişmiyor ise, kararlı hal difüzyonu söz konusudur. Fick kanunu; “ $x$  yönü boyunca difüzyon akışı konsantrasyon gradyanı ile orantılıdır” olarak tanımlanır.



Şekil 4.6.4.1. Kararlı durum difüzyonu animasyonu (1.adım)



Şekil 4.6.4.2. Kararlı durum difüzyonu animasyonu

#### 4.7. Mekanik Özellikler

Malzeme seçiminde sertlik, mukavemet ve süneklik gibi temel mekanik özelliklere bakılır. Bu mekanik özelliklerde malzemelerin içyapılarına bağlıdır. Bu nedenle malzemelerin yapı ve özelliklerinin iyi saptanması gerekir.

Malzemelerin kesilmeye, delinmeye ve aşınmaya, kısacası plastik deformasyona karşı direnci sertlik deneyleri ile ölçülür. Malzemelerin statik yük altındaki davranışı ve statik yüke dayanımı çekme ya da basma deneyleri ile belirlenir. Malzemelerin darbeli yük altındaki davranışları darbe veya çarpma deneyleri ile incelenir ve bu deneyler değişik sıcaklıklarda yapılarak malzemelerin sünek-gevrek geçiş sıcaklıkları belirlenir. Malzemelerin tekrarlı gerilme altındaki davranışları ve kullanım ömürleri yorulma deneyleri ile yüksek sıcaklık ve sabit yük altındaki davranışları ise sürünme deneyleri ile incelenir.

Yapılan bu deneylerden elde edilen sonuçlar mühendislik hesaplarından başka, kalite kontrolü ve araştırma geliştirme amacıyla da kullanılır.

#### 4.7.1. Sertlik Deneyi

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Bilimsel anlamda bakılacak olursa bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir.

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti arttıkça sertlikte artmakta, mukavemet azaldıkça sertliğinde azaldığı gözlemlenmektedir; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti ve mikro yapısı hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

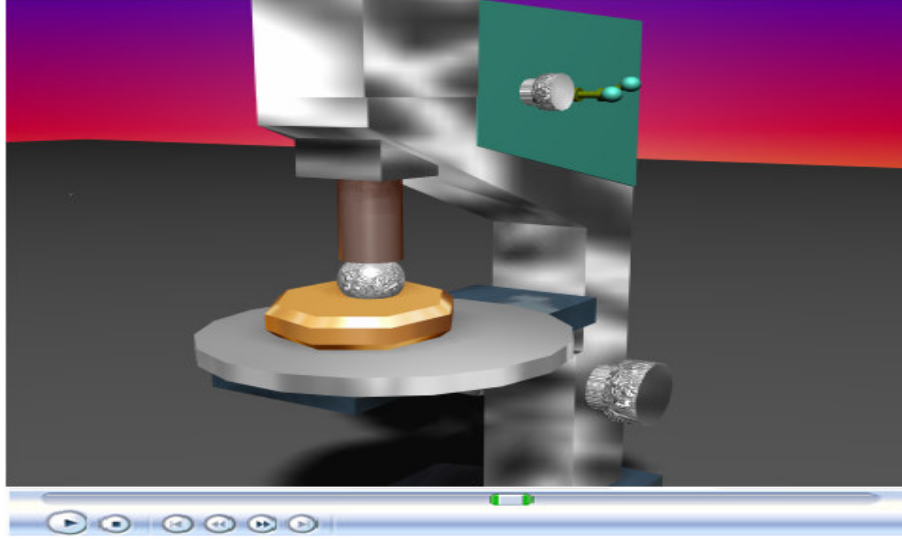
Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Uygun olarak seçilen sert uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Yükün uygulanma süresi malzemenin yapısına ve muayene usulüne bağlı olmakla birlikte 2-30 sn arasında değişmektedir.

Bugün laboratuvarlarda uygulanan sertlik ölçme yöntemleri şunlardır:

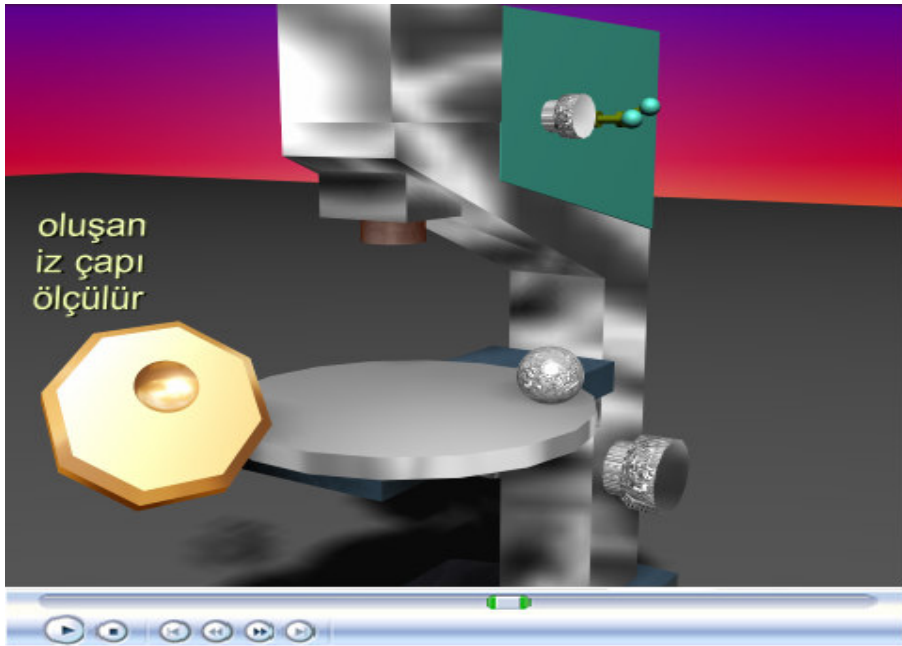
- Brinell sertlik ölçme deneyi,
- Rockwell sertlik ölçme deneyi,
- Vickers sertlik ölçme deneyi,
- Mikro - sertlik deneyi,

#### 4.7.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Deneyi

Bu deneyde, Şekil 4.7.1.1.1'deki animasyonda da gösterildiği gibi sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bir bilye, kalibrasyonu yapılmış bir cihaz kullanılarak, belirli bir yük ile malzemenin yüzeyine batırılır ve malzeme yüzeyinde meydana gelen iz çapı ölçülür.



Şekil 4.7.1.1.1. Brinell sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum



Şekil 4.7.1.1.2. Brinell sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum

Genellikle 10 mm çapında bir bilye ile malzemenin yüzeyine yük uygulanarak meydana getirilen izin küresel yüzey alanı, izin çapı ile bilyenin çapı kullanılarak bulunur. Brinell sertlik değeri (BSD), bilye üzerindeki yükü bu küresel yüzey alanına bölerek hesaplanır.

$$BSD = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Burada;

- **P**= Kg cinsinden uygulana yük
- **D**= Milimetre cinsinden bilye çapı
- **d**= Milimetre cinsinden izin çapı

Standart deney şartlarında bilye çapı 10 mm, uygulanan yük 3000 kg, tatbik süresi 10-15 sn kadardır.

Standart olarak kullanılan yükler ( 500, 1500 veya 3000 ) numuneye yavaş yavaş artacak şekilde uygulanmalı darbeli yüklenmeler önlenmelidir. Ayrıca yük numuneye dik gelecek şekilde uygulanmalıdır. Yükün uygulama süresi yumuşak metaller dışında 10 -15 sn dir. Yumuşak metallerde bu süre 30 sn veya daha fazla olabilir. Meydana gelen izin çapı en az bilye çapının %25 i kadar olmalıdır. Çünkü iz çapı küçüldükçe deneydeki hata oranı artacaktır.

Belirli malzemenin farklı sertliklerini mukayese edebilmek için o malzemeye ait sertlik değerlerinin, çizelge 4.7.1.1.1'de tavsiye edilen sınırlar içerisinde olabilecek şekilde, tek bir yük kullanarak ölçülmesi önerilir.

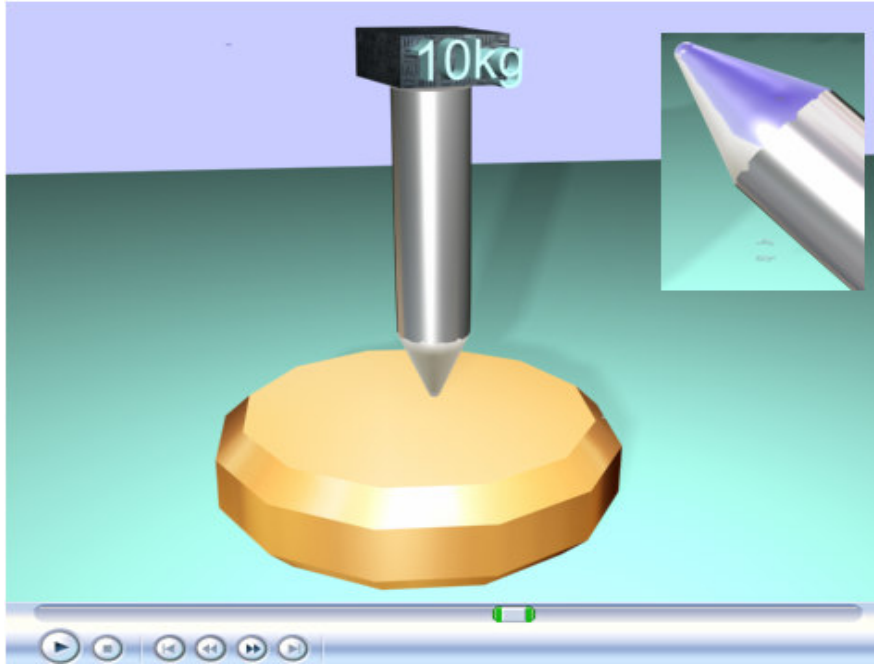
Çizelge 4.7.1.1.1. Standart brinell deneyinde uygulanan yüke göre tavsiye edilen sınır değerler

Bilye çapı (mm)	Yük (Kg)	Tavsiye Edilen Sınır Brinell Sertlik Değeri
10	3000	96 ile 600
10	1500	48 ile 300
10	500	16 ile 100

#### 4.7.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Deneyi

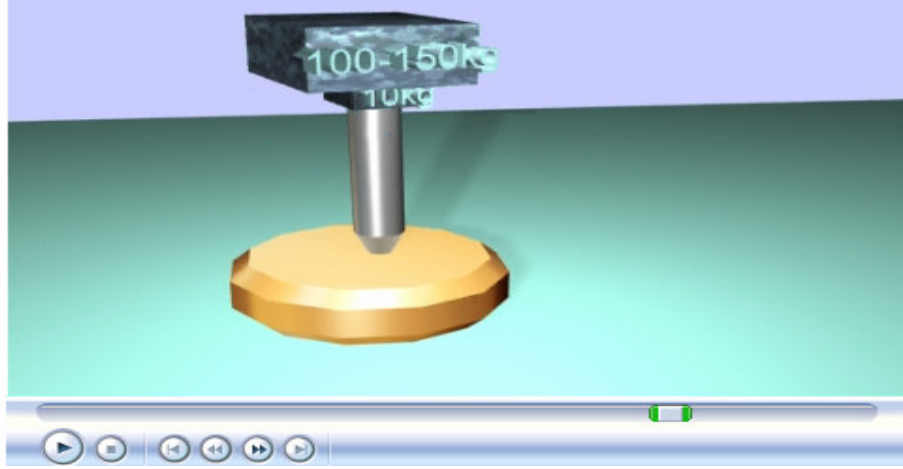
Rockwell sertlik değeri, malzeme üzerine, batıcı bir uç yardımıyla önce sabit belirli küçük bir yükü bastırıldığında meydana gelen izin dip kısmı, başlangıç noktası olarak alınır. Yük daha yüksek belirli bir derecede artırılıp daha sonra tekrar önceki yüke dönmek suretiyle elde edilen derinlik farkı ölçülür. Sertlik, başlangıçtaki ize nazaran büyük yükün uygulanmasıyla meydana gelen iz derinliğindeki net artışla ters orantılı bir sayıdır.

Bu yöntemde basık bir elmas koni kullanılır. Tepe açısı  $120^0$  olan koninin sivri ucu 0,2mm çapında yuvarlatılmıştır.



Şekil 4.7.1.2.1. Rockwell sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum

Şekil 4.7.1.2.1’de gösterilen animasyonda ilk olarak 10 kg lık küçük bir yük ile ilk yükleme yapılır. Böylece batıcı uç, malzeme üzerine sabitlenir ve onu yerinde tutar. Daha sonra büyük yük (100-150kg) uygulanır. Ölçülmesi gereken derinlik küçük yükten büyük yüke kadar artıştan ileri gelen derinliktir. Büyük yük uygulandıktan ve kaldırıldıktan sonra, küçük yük hala uygulanır ve bu durumda iken derinlik değeri ölçülür.



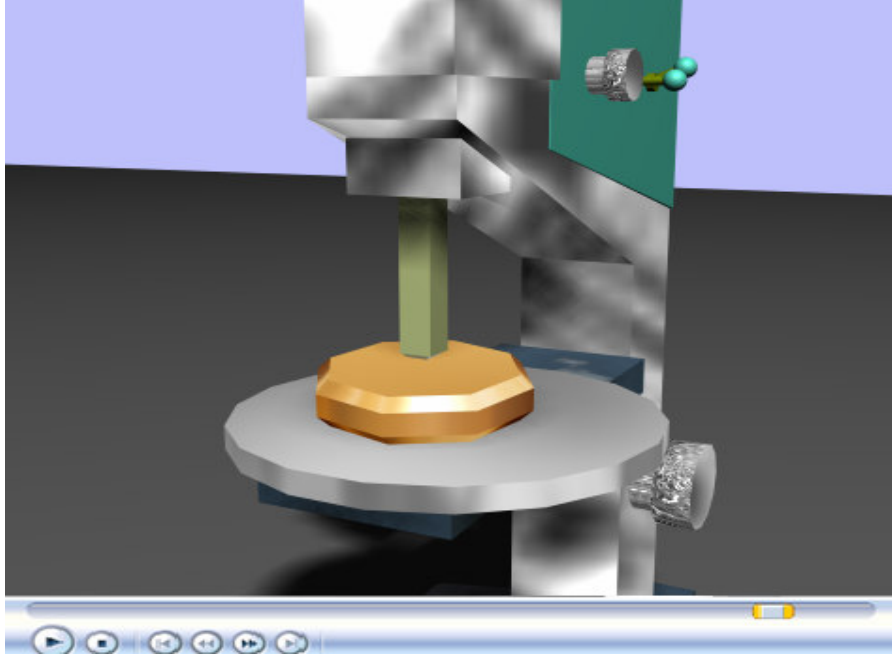
Şekil 4.7.1.2.2. Rockwell sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum

Rockwell sertlik deneyinde kullanılan numuneler biçim bakımından çok çeşitli olabilir. İz, asıl parçadan çıkarılmış numune üzerinde olabileceği gibi kullanılmaya hazır parçanın kendisi üzerinde de meydana getirilebilir. Rockwell deneyleri yeteri derecede kalın parçalar üzerinde yapılarak en yüksek doğruluk elde edilebilir. Numunenin yeterli kalınlıkta olmaması, izin aksi tarafında kabarıklık veya başka bir belirtinin bulunmaması ile anlaşılır.

Batıcı uç sertliği ölçülecek yüzeye dik şekilde temas etmelidir. Meydana getirilen iz, kenara çok yakın olmayacağı gibi iki izde birbirine yakın bulunmamalıdır. İzin merkezinin numune kenarından uzaklığı en az 2,5 bilye çapı, bir izin merkezi ile ona en yakın izin merkezi arasındaki uzaklık en az 3 bilye çapı kadar olmalıdır.

#### 4.7.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Deneyi

Piramit şeklindeki dalcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili niceliğe Vickers sertlik değeri denir. Şekil 4.7.1.3.1'deki animasyonda Vickers sertlik ölçme yöntemi anlatılmıştır. Burada sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegen uzunluklarının belirtilmesiyle animasyon tamamlanmaktadır.



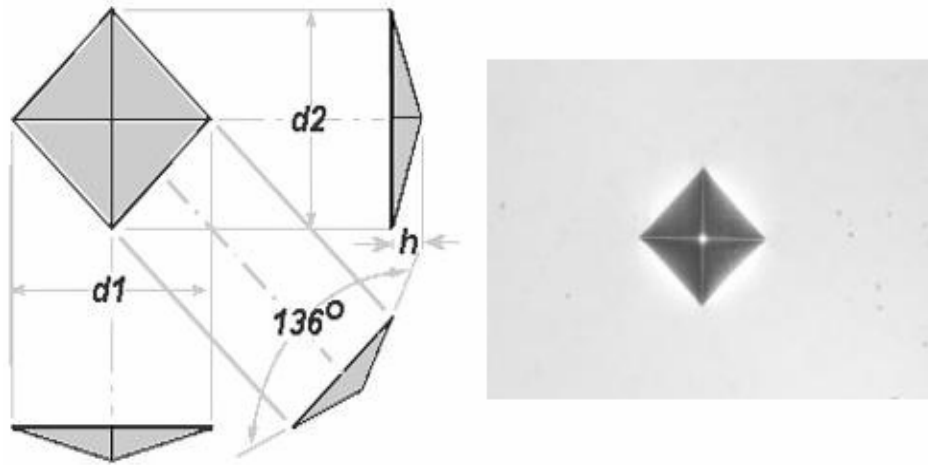
Şekil 4.7.1.3.1. Vickers sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk durum



Şekil 4.7.1.3.2. Vickers sertlik ölçme deneyi animasyonu son durum

Meydana gelen iz taban köşegeni ( $d$ ) olan kare bir piramittir ve tepe açısı dalıcı ucun tepe açısının aynıdır  $= (136^\circ)$ . VSD, kg olarak ifade edilen deney yükünün ( $\text{mm}^2$ ) olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.





Şekil 4.7.1.3.3. Vickers izinin şematik gösterimi ve mikroskoptan alınmış resmi

Geometrik yol ile yapılan hesap neticesinde Vickers sertlik ölçme deneyi için aşağıdaki formül bulunur.

$$VSD = \frac{2P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2}$$

Burada;

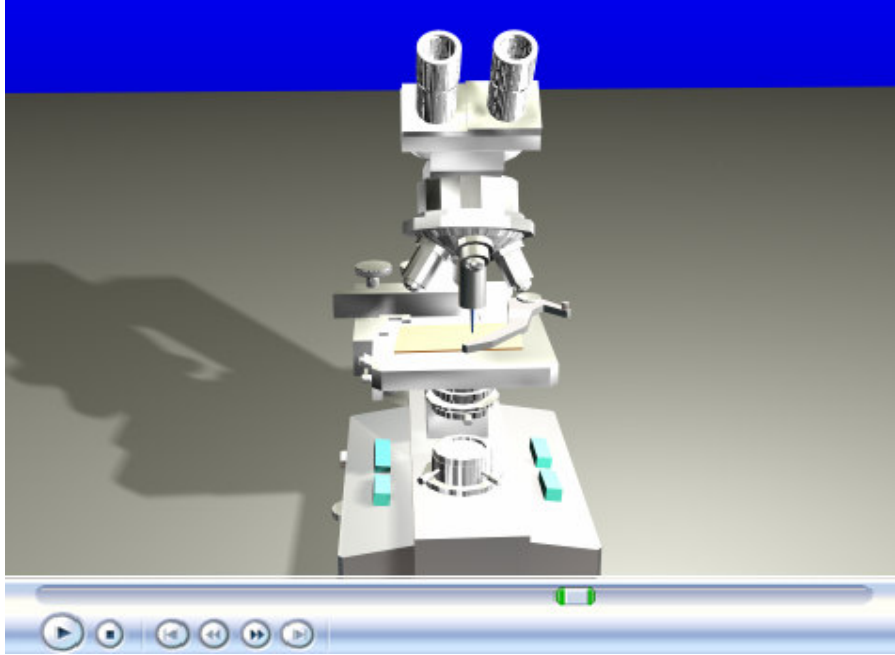
- **d**= Taban köşegeni (izin)
- **P**= kgf cinsinden uygulanan yük
- **$\alpha$**  = Tepe açısı =  $136^\circ$  (iz veya dalıcı uç) dir.

Vickers sertliği ölçüsü, geniş çubuklardan saçlara kadar her ölçüde malzeme çeşidine uygulanabilir. Bununla birlikte en sert metaller bile bu yöntemle muayene edilebilir. Genel olarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri, yük bindiği zaman numune hareket etmeyecek veya kaymayacak şekilde düz olmalıdır. İzin bulunduğu yüzeyin, köşegenlerin uçlarının tam olarak görünebileceği şekilde parlatılmış olması gerekir. Metalografik parlaklık tavsiye edilir. Aksi takdirde bombeli yüzeylerde okuma doğrulukla yapılamaz.

Bu yöntemle en doğru sonuçlar elde edilebilmekle birlikte, geniş bir ölçme skalasının kullanılması sonuçların hassasiyetlik derecesini yükseltmektedir.

#### 4.7.1.4. Mikro Sertlik Ölçme Deneyi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlilikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman 1 mikronu geçmez.



Şekil 4.7.1.4.1. Mikro sertlik ölçme deneyi animasyonu ilk adım

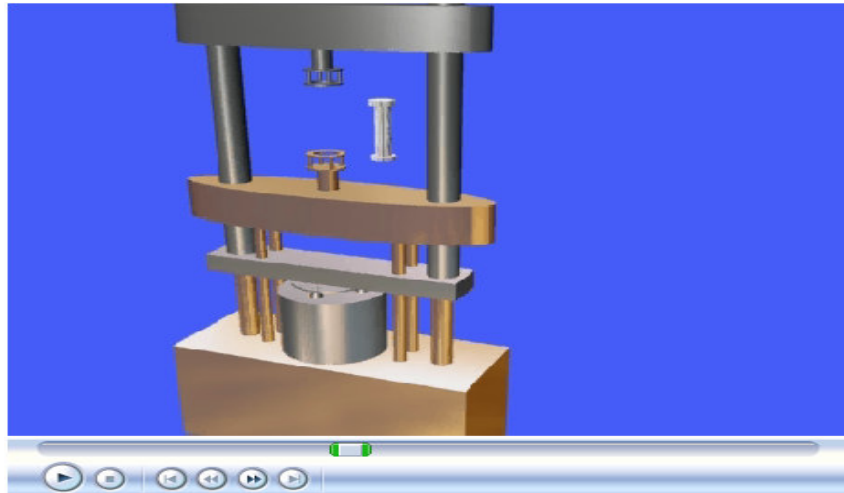
Şekil 4.7.1.4.1'deki animasyonda sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerde net görüntü elde edinceye kadar mikroskop tablası hareket ettirilir. Bundan sonra mikroskop tablası elle, sertlik ölçen kısmın altına getirilir ve düğmeye basarak sertlik ölçen ucun hareketi sağlanır. Uç, otomatik olarak numuneye batar ve 20 saniye sonra yine otomatik olarak geriye döner. Böylece numunenin üzerinde bir iz elde edilir. İzin boyutlarını ölçmek için mikroskobun tablası yine elle objektifin altına getirilir ve okülerden iz gözlenir (Şekil 4.7.1.4.2). Oküler üzerindeki özel taksimat ile izin boyutları tespit edilir.



Şekil 4.7.1.4.2. Mikro sertlik ölçme deneyi animasyonu son adım

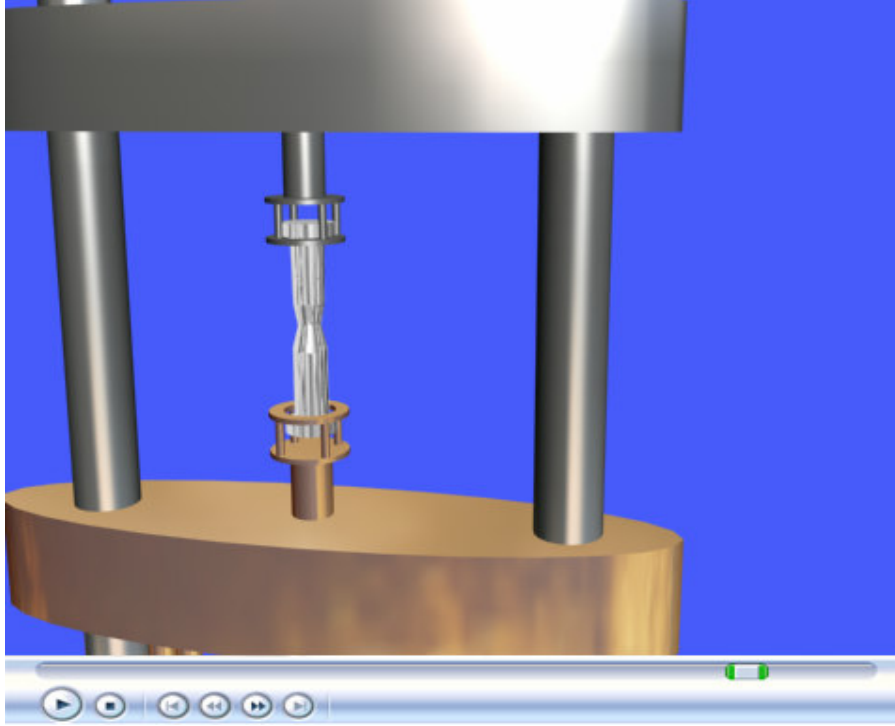
#### 4.7.2. Çekme Deneyi

Malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemenin özelliklerine göre sınıflandırılmalarını sağlamak amacı ile, çekme deneyi yaygın olarak yapılmaktadır. Çekme deneyi standart olarak hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde belirli bir hızda ve sabit bir sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir.



Şekil 4.7.2.1. Çekme deneyi animasyonu (1.adım)

Deneyin yapılabilmesi için önce, incelenmesi istenen malzemeden, talaşlı işlem metotları kullanılarak standartlara uygun numuneler hazırlanır. Türk Standartlarında TS 138 A,B,C,D,E ve F olmak üzere 6 örnek tipi bulunur. Genellikle daire kesitli silindirik başlı bir numune hazırlanır.



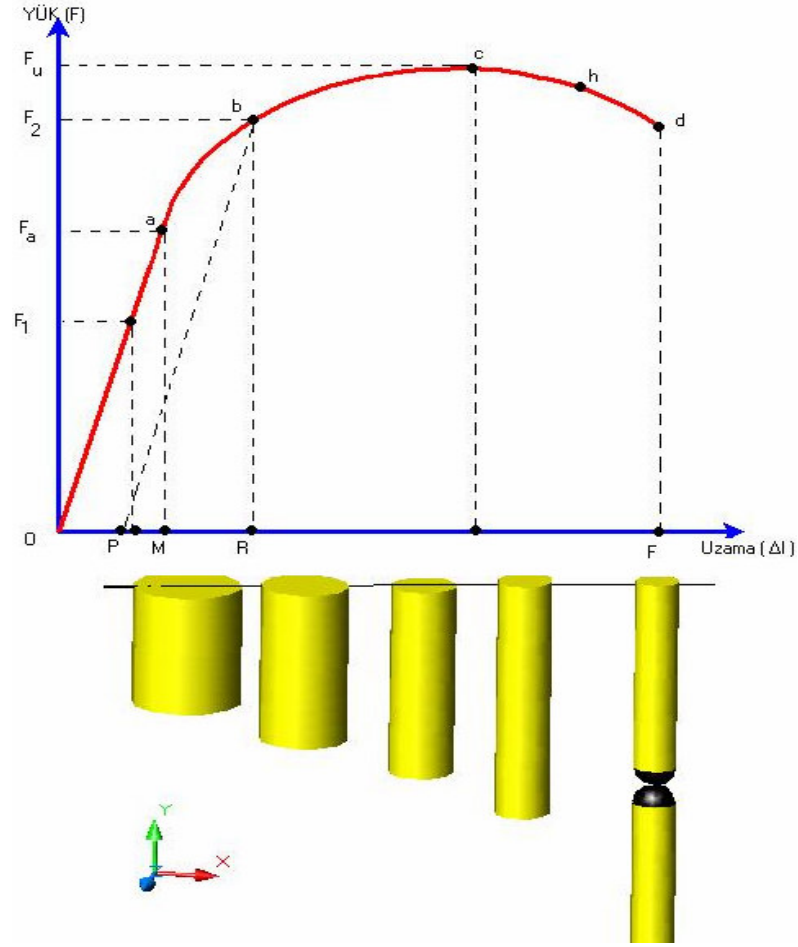
Şekil 4.7.2.2. Çekme deneyi animasyonu

#### 4.7.2.1. Gerilme Birim Şekil Değiştirme Eğrileri

Çekme deneyi sonuçları, belli bir miktar deformasyona veya uzamaya sebep olan kuvvet cinsinden bulunur. Çekme deneyi ile elde edilen kuvvet–uzama (yük–uzama) eğrisini incelemek, malzemelerin deformasyon özelliklerini anlama açısından oldukça faydalıdır. Numune şekline bağlı kalmaksızın, deney ölçümleri gerilmenin tek eksenli halde olduğu kabul edilen bölgede yapılır. Bu bölgenin ilk ölçü uzunluğu  $L_0$  ve ilk kesit alanı  $A_0$  olarak kabul edilirse, malzemenin ilk veya yük uygulanmış durumdaki hacmi;

$$V_0 = A_0 + L_0$$

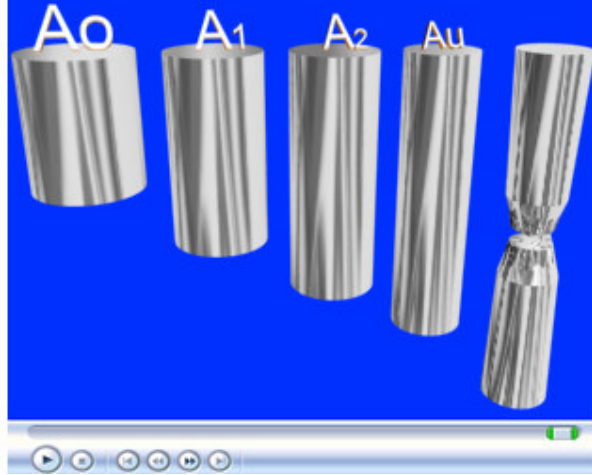
olarak bulunur. Numunenin  $V_0$  hacmi dışındaki kısmına önem verilmemektedir.



Şekil 4.7.2.1.1. Çekme deneyi kuvvet-uzama diyagramı

Belirli bir yük seviyesine kadar numune elastik deformasyona uğradığından, kuvvetin kaldırılmasıyla birlikte numune orijinal boyutlarına döner. Bu kuvvet değeri genellikle elastik sınır olarak tanımlanır. Söz konusu kuvvetin yani elastik sınırın aşılması durumunda, malzemenin plastik deformasyona uğraması sonucu kalıcı bir şekil değişikliği meydana gelir.

Elastik deformasyon esnasında deney bölgesinin hacmi sabit kalmaz, poisson etkisi nedeniyle hacim değişimi meydana gelmektedir. Poisson oranı bir malzeme sabitidir. Çoğu metaller için poisson oranı  $\nu \approx 0,3$ ' dür. Plastik deformasyon esnasında hacmin sabit kalması için poisson oranının 0,5 olması gereklidir. Genel mühendislik uygulamalarında elastik deformasyondan kaynaklanan hacim değişimi ihmal edilebilecek seviyededir.

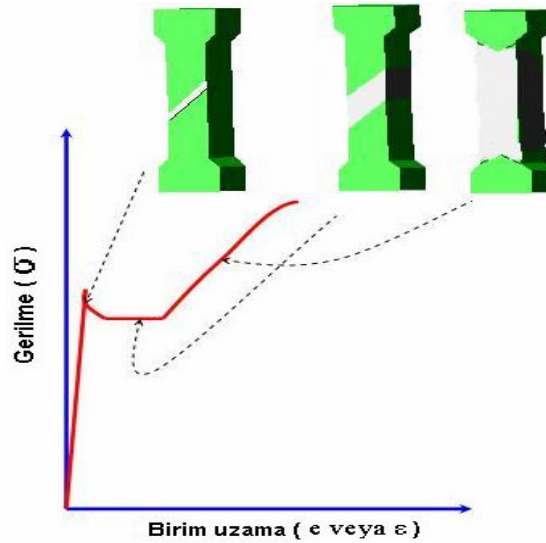


Şekil 4.7.2.1.2. Çekme deney numunesinde meydana gelen deformasyon animasyonu

#### 4.7.2.2. Elastik Deformasyondan Plastik Deformasyona Geçiş

Plastik deformasyon genellikle kayma ile meydana gelmektedir. Dislokasyonlar, kayma düzlemindeki kayma gerilmesi, tek kristalin akma mukavemetinden büyük olduğunda hareket ederler. Çok kristalli malzemelerde kayma öncelikle, kayma gerilmesine paralel düzlemlerde başlar.

Bir malzemedeki maksimum kayma gerilmesi çekme eksenine  $45^\circ$  lik açı yapan düzlemdir. Çok kristalli malzemelerde, tanelerin her biri  $45^\circ$  ye en yakın kayma düzlemleri üzerinde akma gösterirler.



Şekil 4.7.2.2.1. Tavlanmış az karbonlu çeliğin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi

Çok kristalli demirde belirgin olarak görülen akma uzaması bölgesindeki homojen olmayan plastik deformasyon, çekme yönünde yaklaşık 45° eğimle oluşan Lüders bantlarının numune boyunca ilerlemesi sonucu meydana gelmektedir.

### 4.7.3. Basma Deneyi

Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak kabul edilebilir ve genelde çekme-basma makinelerinde basma kuvveti uygulanarak yapılır. Basma kuvvetinin etkin olduğu uygulamalarda kullanılan gevrek malzemelerin mukavemet değerleri basma deneyi ile belirlenir.

Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik ve tuğla, beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğundan, bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma deneyi ile muayene edilirler. Basma deneyinde genelde silindirik veya daire kesitli örnekler kullanılır. Ancak bazı durumlarda kare veya dikdörtgen kesitli örneklerde kullanılabilir.

Basma makinelerinde basma plakaları aracılığı ile numuneye yük uygulanır. Yük uygulanan plakaların alt ve üst yüzeyleri düşey eksene dik ve birbirine paralel



Şekil 4.7.3.1. Kesit görünüşteki numuneye uygulanan basma deneyi başlangıcı (<http://www.deform.com/frame.htm> adresinden değiştirilerek alınmıştır, 2004)

olmalıdır. Basma deneyinde numune kesiti sürekli arttığından çekme deneyinde görülen boyun verme olayı meydana gelmez.

Basma deneyinin diğer bir avantajı ise çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Bu sayede az miktarda numune ile deney gerçekleştirilebilir. Bu avantaj, bilhassa çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az miktarda malzeme bulunduğu durumlarda çok faydalıdır.

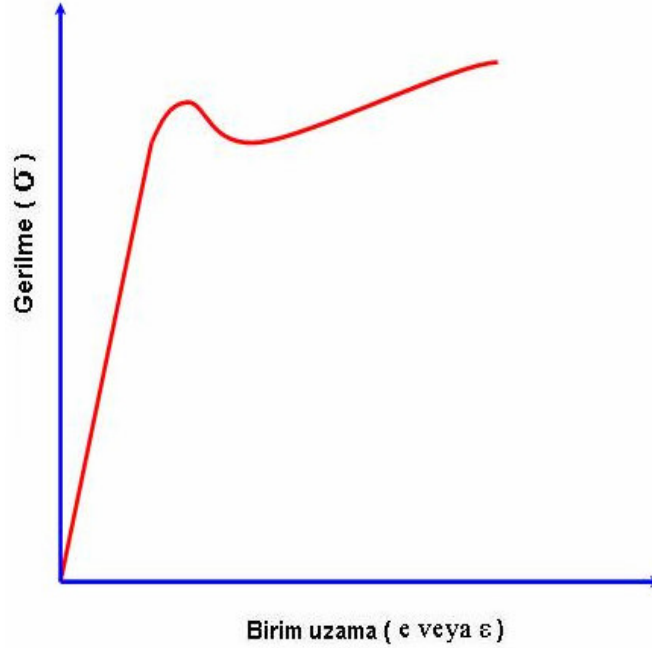


Şekil 4.7.3.2. Kesit görünüşteki numuneye uygulanan basma deneyi bitişi

Şekil 4.7.3.1’de basma deneyine tabi tutulacak turuncu renkteki silindirik numunenin kesit görüntüsü gösterilmiştir. Deneye başladıktan sonra numunede meydana gelen deformasyon, numunenin kesit görüntüsü bozulmadan Şekil 4.7.3.2’de gösterilmiştir. Bu animasyondaki metal plakalar ve kesit hali gösterilen silindirik numunenin tasarımı 3D Studio Max programında yapılmış olup, bu tasarımların hareketlendirilmesi ve istenildiğinde tekrar çalıştırılabilmesi (Oral, 2005) Macromedia Flash programında yapılmıştır.

Basma deneyi sonucunda malzemelerin, Şekil 4.7.3.3’de görülen basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramında plastik deformasyonu gösteren kısmın maximum noktasından sonra gerilme değerinde artış görülür. Yani basma eğiminde artış meydana gelir. Bu durum basma sırasında numune kesitinin sürekli artmasından kaynaklanır.



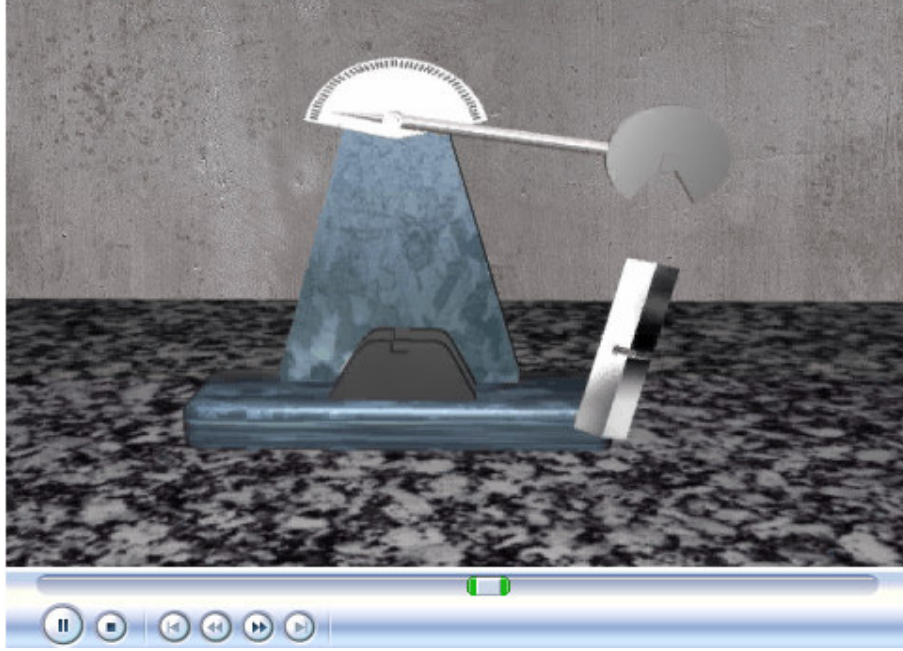


Şekil 4.7.3.3. Basma deneyi diyagramı

#### 4.7.4. Darbe Deneyi

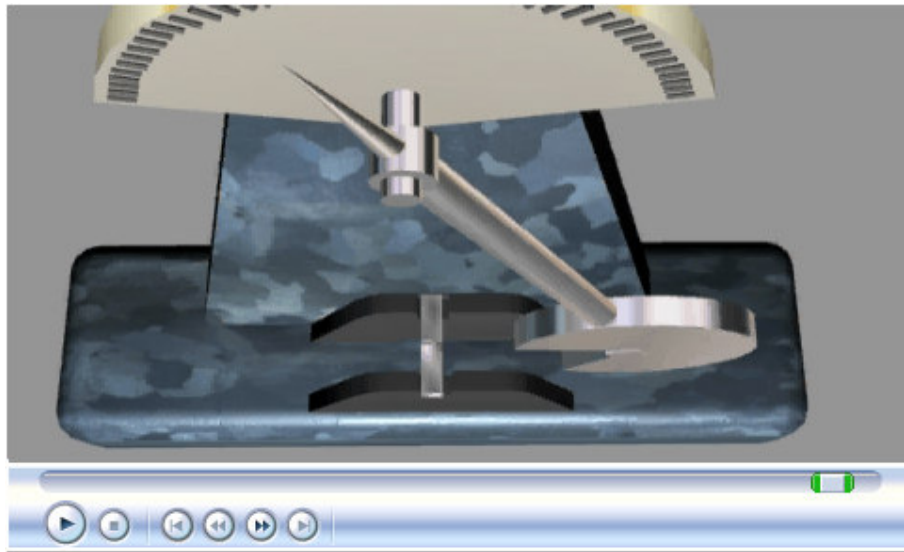
Ani darbelere karşı direnci iyi olan malzeme seçmek için, malzemenin kopmaya karşı direnci, darbe testi uygulanarak ölçülür. Numuneler çentikli veya çentiksiz olarak iki farklı şekilde ifade edilirler. V çentikli numuneler, malzemedeki çatlağının büyümesine karşı direncini ölçmek için genellikle tercih edilirler. Bunun sebebi çatlağın diğer numunelere göre daha dar bir bölgede meydana gelmesi ve daha doğru sonuçların elde edilmesidir. Gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit levhacıklar çentik gibi etki yaparlar. Bu sebepten gri dökme demir numunelerine ayrıca çentik açmaya lüzum yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanında dik bir gerilme meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilmenin malzemenin dayanımını aşması ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan kırılma olayı meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz pürüzsüz bir ayrılma yüzeyi şeklinde görülür.



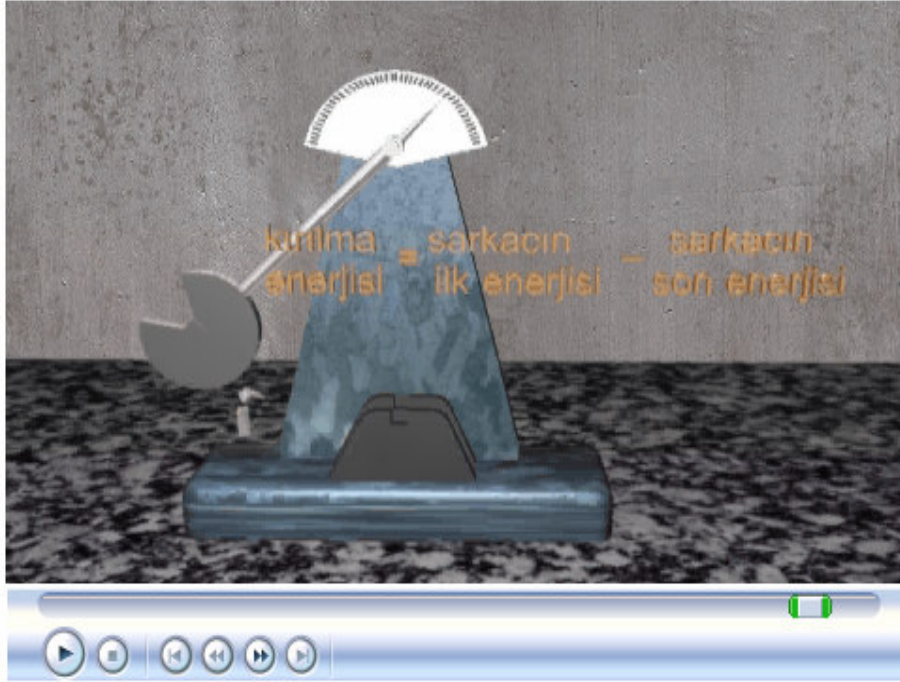
Şekil 4.7.4.1. Bir darbe deneyi cihazının animasyonu

Uygulamada yaygın olan iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlardan biri Charpy diğeri de Izod deneyidir. Charpy deneyinde, iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmenin etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerji ( genelde joule cinsinden) ölçülür.



Şekil 4.7.4.2. Charpy deneyinde kullanılan numunenin yerleştirilmesi animasyonu

Ağırlığı  $G$  olan bir sarkaç  $h_1$  yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi  $G \times h_1$  olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında düşey bir düzlem içerisinde numuneye çarparak onu kırar ve diğer yönde  $h_2$  yüksekliğine kadar çıkar. Numunenin kırılmasından sonra sarkacın sahip olduğu potansiyel enerji  $G \times h_2$  olur. Sarkacın ilk durumdaki potansiyel enerjisi ile son durumdaki potansiyel enerjisi arasındaki fark, numunenin kırılması için gereken enerjiyi yani darbe direncini verir.



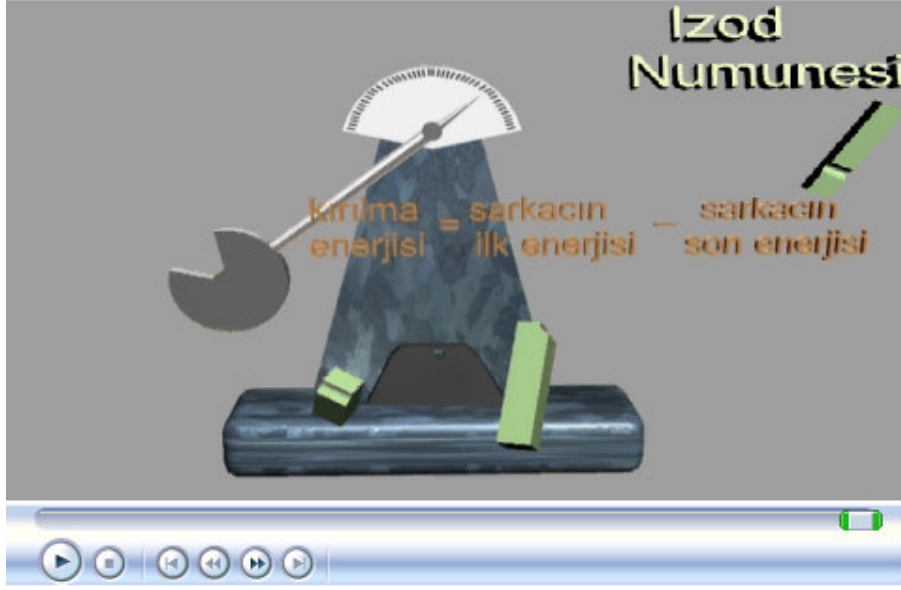
Şekil 4.7.4.3. Charpy deneyinin çalışma prensibi animasyonu

Sürtünme kayıplarını ihmal edecek olursak kırılma enerjisi;

$$\begin{aligned} \text{Kırılma Enerjisi} &= \text{Sarkacın ilk enerjisi} - \text{Sarkacın son enerjisi} \\ \text{Kırılma Enerjisi} &= G \times h_1 - G \times h_2 = G \times l \times (\cos \beta - \cos \alpha) \end{aligned}$$

**Not** = Kırılma enerjisi yüksek olan malzemelerin çentik tokluğu da yüksek olur.

Izod darbe deneyinde ise numune kavrama çenesine dikey olarak yerleştirilir ve yüzeyine kavrama çenesinden belirli bir yükseklikte bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanır.

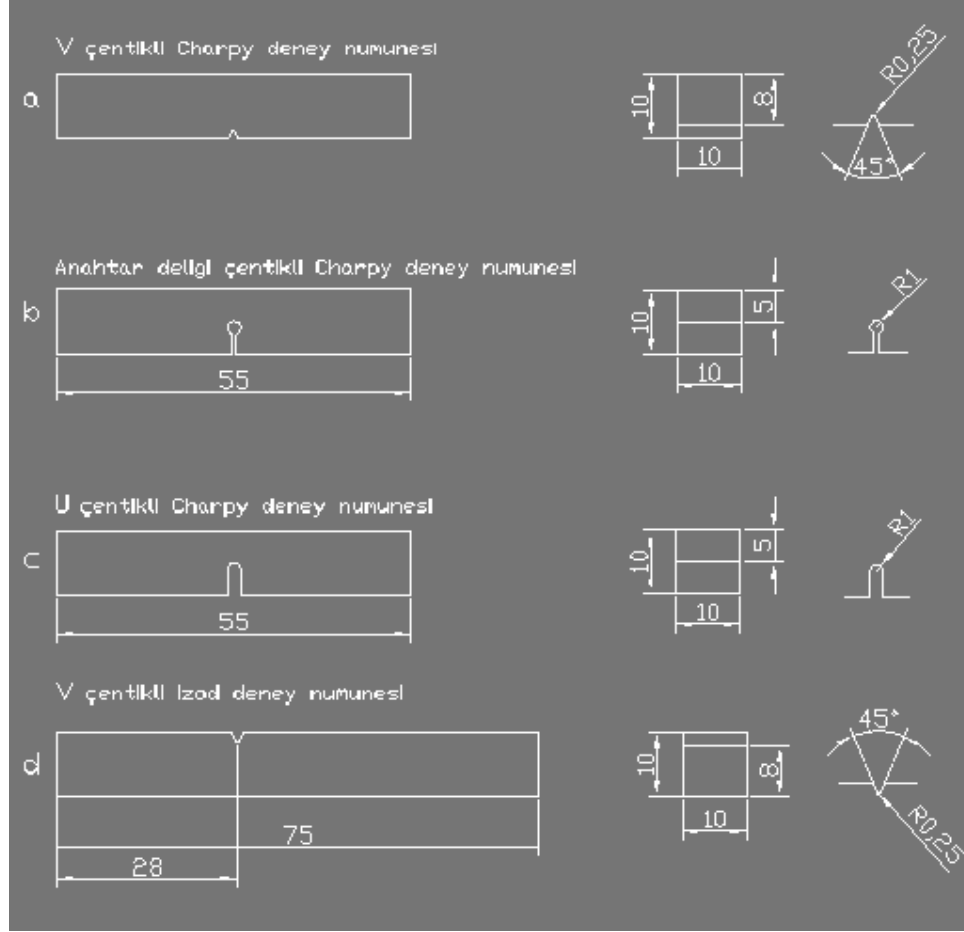


Şekil 4.7.4.4. İzod numunesi ve deneyin çalışma prensibi animasyonu



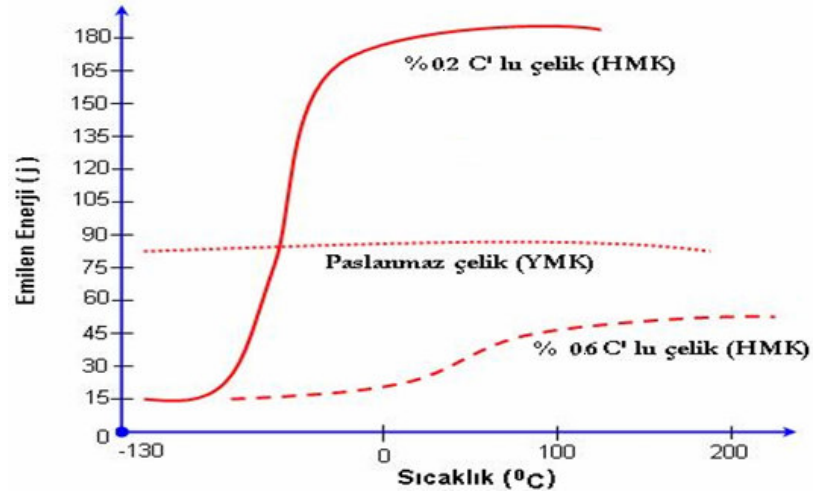
Şekil 4.7.4.5. İzod deneyinde kullanılan numunenin yerleştirilişi ve deneyin üstten görünüş animasyonu

Şekil 4.7.4.6'da Charpy ve Izod deneylerinde kullanılan standart numuneler AutoCad programı kullanılarak iki boyutlu halde hazırlanmıştır.



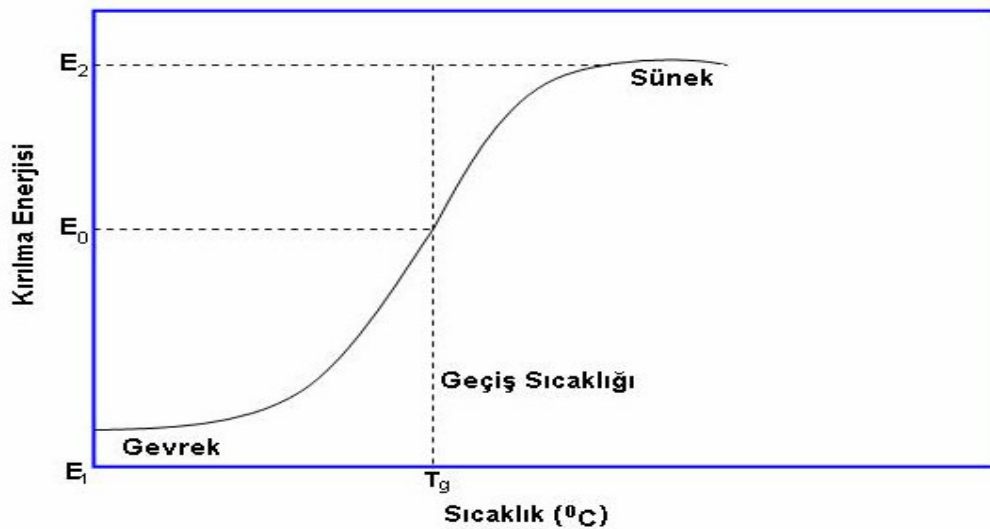
Şekil 4.7.4.6. Charpy ve Izod deneylerinde kullanılan çentikli numuneler a) V çentikli Charpy deney numunesi, b) U çentikli Charpy deney numunesi, c) Anahtar deliği çentikli Charpy deney numunesi, d) Izod deney numunesi

Sıcaklığın darbe deneyine bariz etkisi vardır. Yüksek sıcaklıklarda numunenin kopmasını sağlamak için büyük bir emilme (absorbsion) enerjisine gerek duyulmaktadır. Diğer taraftan düşük sıcaklıklarda malzemeye daha az bir enerji uygulanarak kopma olayı gerçekleştirilmek mümkündür. Yüksek sıcaklıklarda malzeme yoğun şekil değiştirme eğilimi göstererek sünek bir davranış sergiler ve numune kopmadan önce gerilir. Düşük sıcaklıklarda ise malzeme gevrekleşme eğilimindedir ve kopma noktasına gelindiğinde çok az bir şekil değişimi gösterir. Bu sıcaklıklara bakılarak malzemelerin kırılma enerjisinin sıcaklığa göre değişimini gösteren eğriler Şekil 4.7.4.7'deki gibi belirlenir. Bu eğrilerden faydalanılarak aynı veya farklı yapıdaki malzemeler arasında sıcaklıkta göz önünde bulundurulmak suretiyle mukayeseler yapılabilir.



Şekil 4.7.4.7. İki sade karbonlu ve paslanmaz çelik için Charpy V- çentik özellikleri

Geçiş sıcaklığı ise malzemenin sünek kopmadan gevrek kopmaya geçtiği sıcaklıktır. Metallerde mutlak ergime sıcaklığının %10-20 si arasında, seramiklerde ise mutlak ergime sıcaklığının %50-70 i arasında yer alır. Bu sıcaklık; malzemelerin kimyasal bileşimine, uygulanan ısıtma işlemi, metalografik yapıya, tane boyutuna ve yüzey işleme yöntemine bağlıdır. Geçiş sıcaklığı düşük olan malzemenin tokluğu yüksek olduğundan, uygulamalarda geçiş sıcaklığı düşük olan malzemeler tercih edilir. Sünek-Gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesini gösteren diyagram Şekil 4.7.4.8'de verilmiştir.

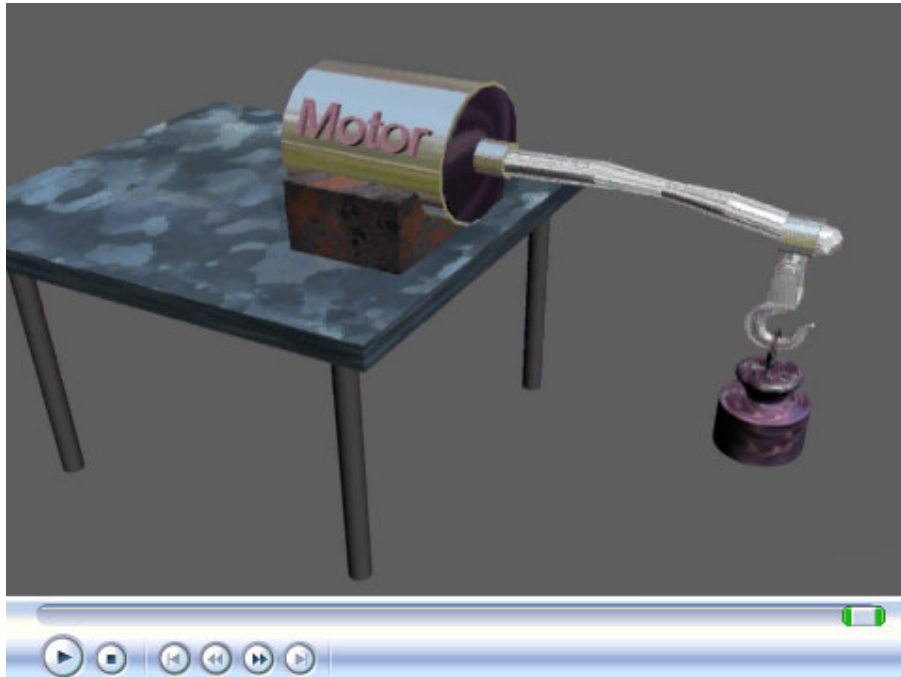


Şekil 4.7.4.8. Sünek – Gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesi

#### 4.7.5. Yorulma Deneyi

Uygulamada tekrar eden veya çevrimli yüklere maruz kalan parçalar, tek bir statik gerilme uygulanması halinde dayanabilecekleri gerilmenin çok daha altındaki bir gerilmeye koparlar. Bu tekrarlı gerilim dönme, eğilme veya titreşimin bir sonucu olabilir. Tekrar eden veya çevrimli gerilme altında meydana gelen bu kopmalar veya hasarlara yorulma kopması adı verilir. Yorulma, uygulamalarda çok sık rastlanan bir hasar mekanizmasıdır. Makine elemanlarında meydana gelen hasarların %80'i yorulmadan kaynaklanır.

Örneğin; uçak motorlarındaki piston koluna yaklaşık 200 saatlik uçuş süresi içinde 25 milyon tekrarlı gerilme etki eder. Miller, yataklar, cıvatalar, yaylar, dişliler, türbin kanatları, motor parçaları ve raylı sistem tekerlekleri tekrarlı gerilmeler altında çalışırlar. Bu elemanların tasarımında yorulmanın göz önünde bulunması hayati önem arz eder.

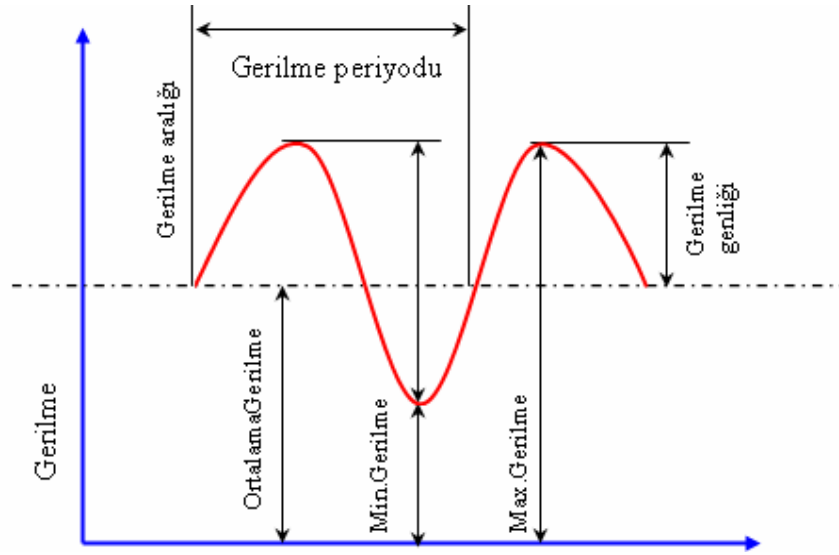


Şekil 4.7.5.1. Yorulma deney mekanizması animasyonu

Standartlara göre hazırlanmış numunelerle laboratuvar deneyleri yaparak yorulma davranışları hakkında bilgi edinilebilir. Şekil 4.7.5.1'deki animasyonda yorulma

deney mekanizması anlatılmıştır. Burada silindirik numunenin işlenmiş bir ucu, motor tarafındaki bağlama aparatına (ayna veya pense) bağlanır. Diğer uçtan bir ağırlık asılır. Başlangıçta numune üst yüzeyine çekme gerilmesi etki ederken alt yüzey basma gerilimine maruz kalır. Numune 90 derece döndükten sonra normal olarak çekme ve basmada bulunan bölgelerin üzerine gerilim etkimez. Toplam 180 derece döndükten sonra çekme etkisi altındaki bölge basma etkisi altına girer. Böylece herhangi bir noktadaki gerilim sıfır geriliminden maksimum çekme gerilimine ve sıfır geriliminden maksimum basma gerilimine giderek bir devir tamamlanır.

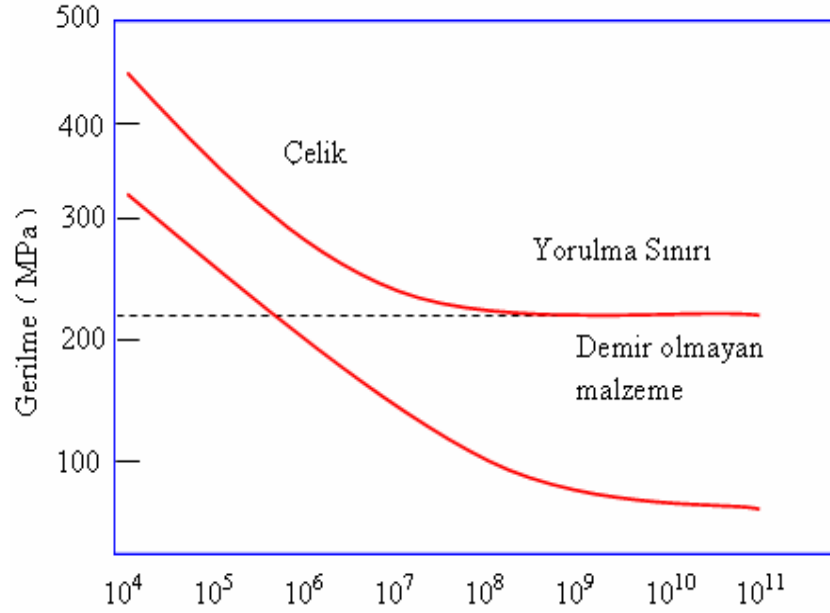
Yorulma makinelerinin çekme-basma, çarpma, burma, eğme ve eğme-burma gerilmeleri uygulayan çeşitleri de mevcuttur. Yorulma deneyinde her örneğin kırılması için gerekli çevrim sayısı ölçülür. Uygulanan tekrarlı gerilmeler zamana göre sinüsoidal değişim gösterir. Şekil 4.7.5.2’de bir yorulma gerilmesi periyodu görülmektedir.



Şekil 4.7.5.2. Yorulma gerilmesi periyodu

Şekil 4.7.5.2’de elde edilen sonuçlardan yararlanılarak uygulanan gerilmenin çevrim sayısına göre değişimini gösteren eğriler çizilir. Bu eğrileri içeren diyagrama Wöhler diyagramı denir. Demir, çelik ve demir dışı malzemelerin Wöhler eğrileri aşağıdaki Şekil 4.7.5.3’de verilmiştir.





Şekil 4.7.5.3. Çelik ve demir olmayan malzemelerin Wöhler diyagramları

Demir çelik grubuna giren malzemelerin yorulma eğrisi, oda sıcaklığında belirli bir gerilme değerinde belirli bir çevrim sayısından sonra yatay hale gelir. Yorulma diyagramında eğrinin yatay duruma geldiği gerilmeye yorulma sınırı denir ve bu gerilmenin altındaki tekrarlı gerilmelerde malzemenin sonsuz çevrime dayanabileceği kabul edilir.

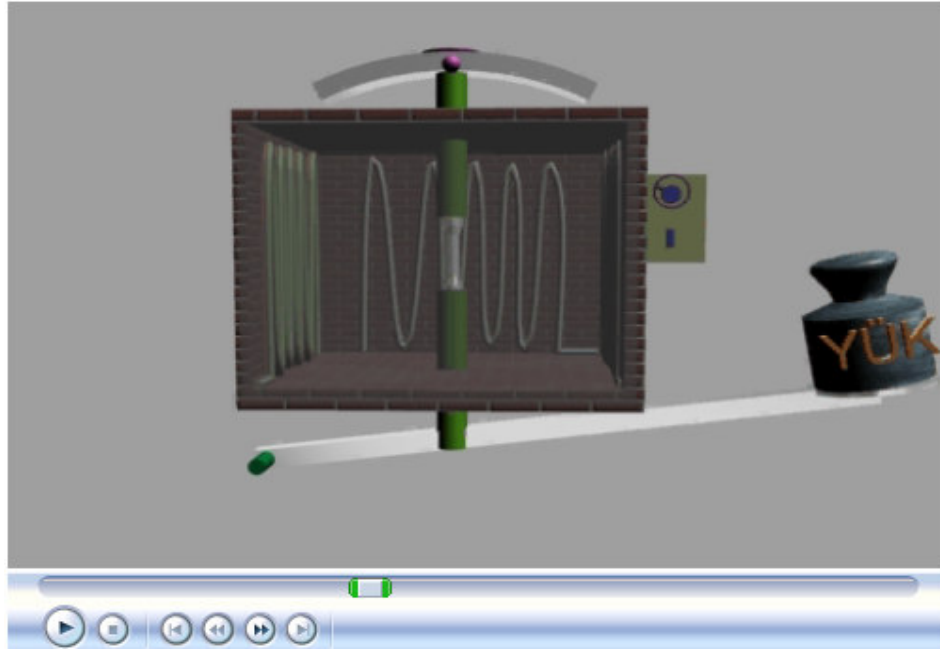
#### Yorulma özelliklerini etkileyen faktörler

- Çentik Hassasiyeti
- Yorulma Oranı ( yaklaşık 0,5 )
- Malzeme Cinsinin, Bileşiminin ve Yapısı
- Sıcaklık Etkisi
- Korozyonun Etkisi,
- Frekansın (Deney Hızının) Etkisi
- Yüzey Özelliklerinin Etkisi

#### 4.7.6. Sürünme Deneyi

Sürünme, sabit basınç veya kuvvet altında genellikle çok küçük hızlarda malzemelerin göstermiş oldukları deformasyona verilen isimdir. Sürünme özelliği nedeni ile pratik olarak tüm malzemeler sıcaklık artışı ile birlikte dayanımlarında düşüş görülür.

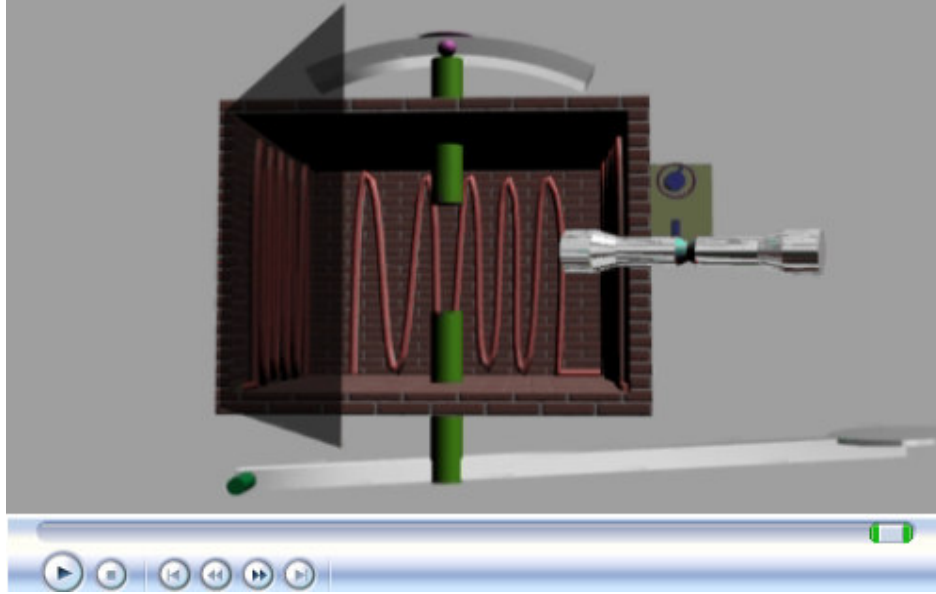
Metallerde ergime sıcaklığının % 30'unun, seramiklerde ise ergime sıcaklığının % 40'ının üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelir. Sürünme deneyi, yüksek sıcaklık deneyi olarak kabul edilir ve birçok pratik uygulamalarda malzemeye uygulanan kuvvet sabit tutulur. Gaz türbinleri, fırınlar, buhar türbinleri ve benzeri yüksek sıcaklıklarda çalışan mühendislik malzemeleri için sürünme yüksek önem arz eder ve hesaplamalarda dikkate alınır.



Şekil 4.7.6.1. Sürünme deneyi animasyonu 1.adım

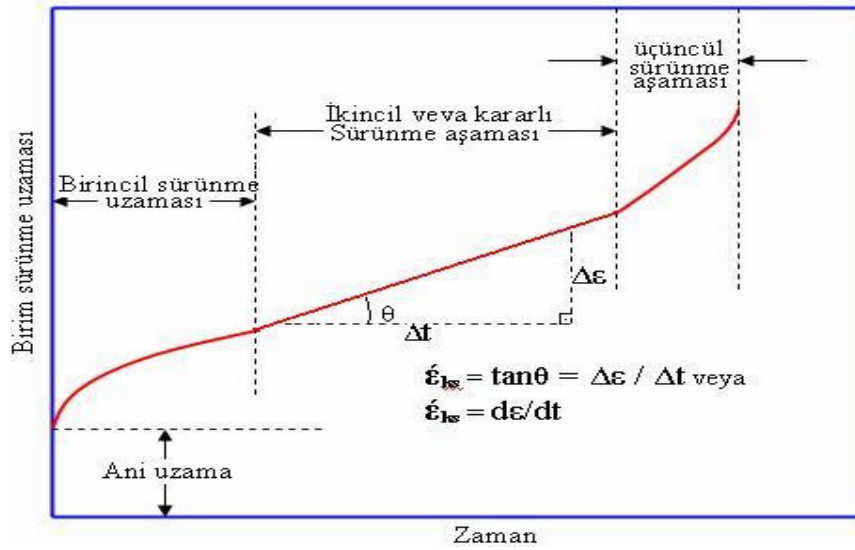
Bu animasyonda sürünme deneyi test malzemesinin her iki yanı, sürünmeye dayanıklı özel malzemelerden yapılmış test çenelerine vidalanır. Sıcaklık ve gerinim ölçmek üzere termo elemanlar ve genişlemeölçerler test edilecek numunenin üzerine bağlanır. Tüm sistem elektrik fırını içerisine alınır ve sistem arzu edilen sıcaklığa

kadar ısıtılır. İstenen sıcaklığa ulaşıldığında numunenin bir ucuna sabit yük uygulanır ve zaman bağılı olarak gerilme değerleri ölçülür. Sistemin hassas sıcaklık kontrollü olması önemlidir. Bu nedenle genellikle tüm sistem sıcaklık kontrolü mümkün bir odada bulundurulur.



Şekil 4.7.6.2. Sürünme deneyi animasyonu sonu

Sürünme testi sırasında gerilim veya uzama, zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür ve Şekil 4.7.6.3’de gösterilen sürünme eğrisinin çiziminde kullanılır.

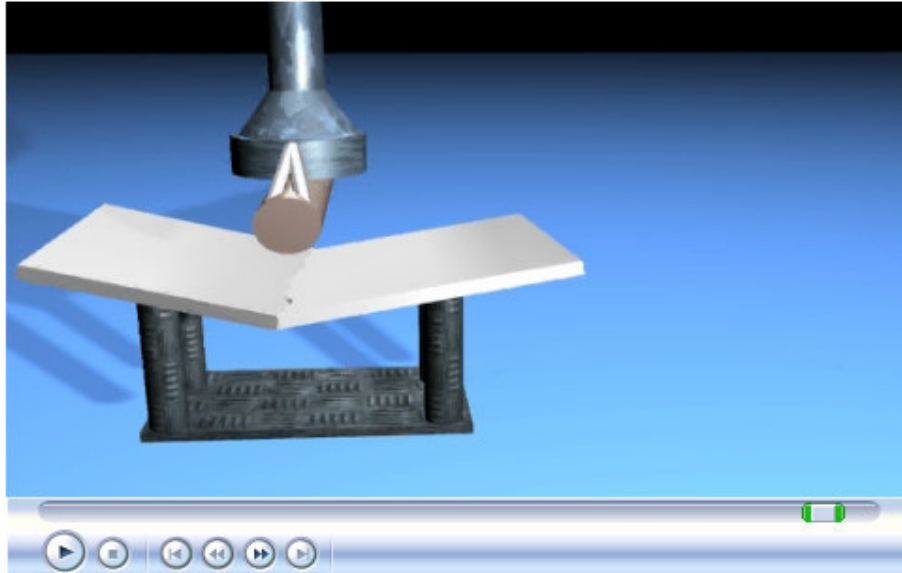


Şekil 4.7.6.3. Tipik sürünme eğrisi

#### 4.7.7. Eğme Deneyi

Eğme momenti şeklinde etkiyen dış zorlamalar malzeme içinde çekme, basma ve kayma gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmelerden biri kritik değere ulaşınca malzemenin dayanımı sona erer. Bu kritik değerler sünek malzemelerde akma sınırı, gevrek malzemelerde çekme mukavemeti olabilir.

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimine eğme denir. Eğme deneylerinde iki ucundan mesnetlenmiş dikdörtgen veya dairesel kesitli çubuklar veya kirişler kullanılır. Numunenin orta noktasından düşey doğrultuda etkiyen P kuvvetinin meydana getirdiği eğme momenti kiriş kesitine yayılmış gerilmeler oluşturur. Başlangıçta düşük yükler altında gerilmeler lineerdir. Kirişin en alt lifinde maksimum çekme gerilmesi ( $\sigma_{max}$ ), üst lifinde maksimum basınç gerilmesi ortaya çıkar. Eğme deneyindeki numunede meydana gelen bu kırılma olayı Şekil 4.7.7.1'deki animasyonda gösterilmektedir.



Şekil 4.7.7.1. Eğme deneyi animasyonu

Bu yükleme altında, eğer deney parçası kırılmazsa 180 derecelik eğilme için gerekli kuvvet ölçülür. Deney parçası kırılırsa, kırılmanın meydana geldiği andaki eğilme açısı ile uygulanan yük ölçülür.

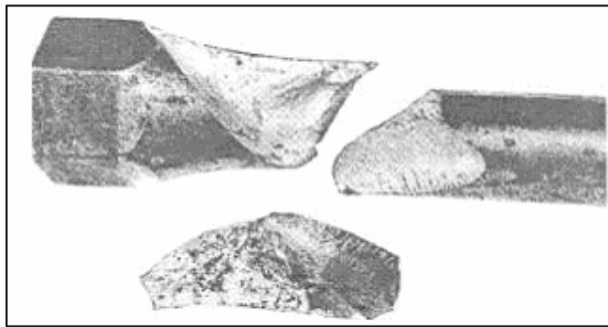
#### 4.7.8. Burulma Deneyi

Burulma deneyi metalik malzemelerin kayma elastik modülü, kayma akma modülü ve kırılma modülü gibi özelliklerin belirlenmesi için yapılır. Tam anlamıyla standartlaştırılmış olan bu deneyin kullanım alanı çok geniş değildir.

Burulma deneyi; biri sabit diğeri hareketli olan iki çeneye sahip, özel olarak tasarlanmış makineler yardımı ile yapılır. Hazırlanan numuneler her iki çeneye sıkıca tutturulur ve hareketli olan çene, numune kırılıncaya kadar döndürülür.

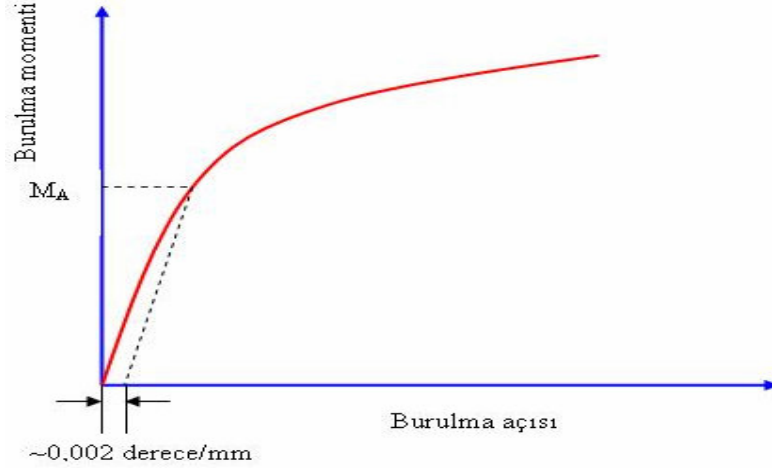


Şekil 4.7.8.1. Burulmaya maruz kalan bir numune animasyonu



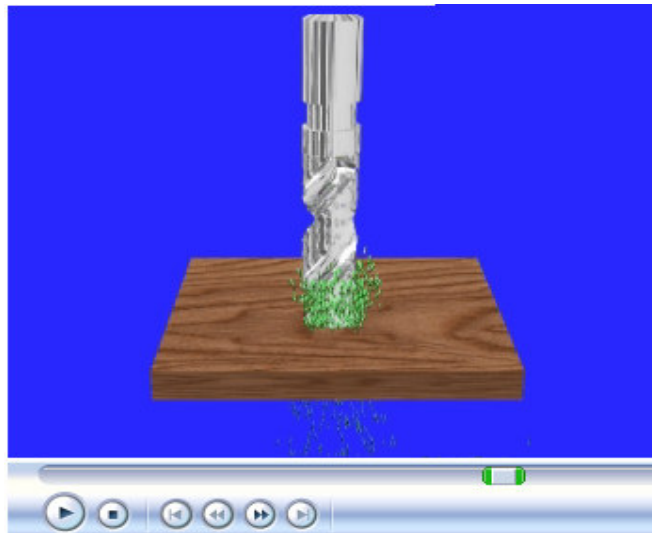
Şekil 4.7.8.2. Burulma sonucunda kırılan gevrek bir malzemenin kırılma biçiminin görünümü

Böylece burulma açısı ve deney örneğinin bir ucuna etkiyen burulma momenti deney süresince kaydedilir. Elde edilen değerlerden yararlanılarak Şekil 4.7.8.3'de görülen burulma diyagramı olarak adlandırılan burulma momenti - burulma açısı eğrisi çizilir.

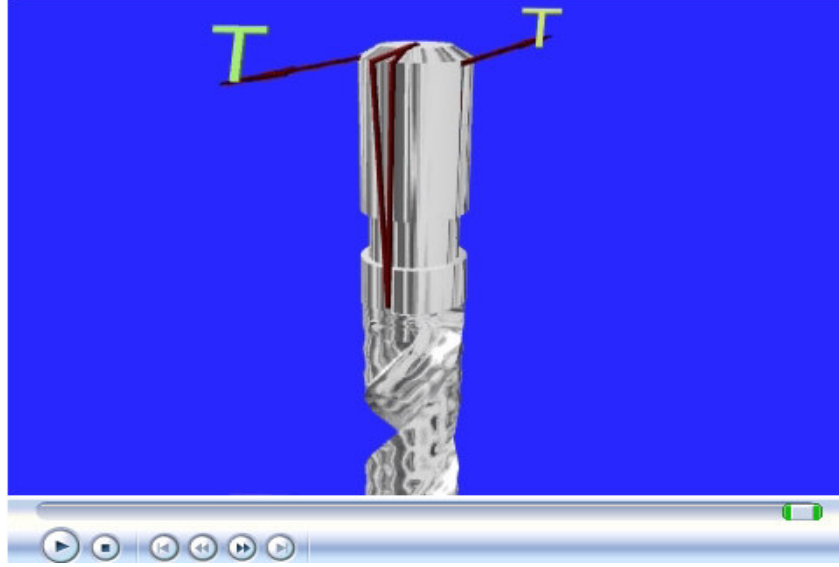


Şekil 4.7.8.3. Metal malzemeler için burulma diyagramı

Burulma deneyinde gerilmenin kolayca hesaplanabilmesi için genellikle Şekil 4.7.8.4'deki animasyonda olduğu gibi daire kesitli numuneler kullanılır. Numunedeki kayma gerilmeleri merkezden yüze doğru artar. Kayma gerilmesi merkezde sıfır iken yüzeyde maksimum değerdedir. Bu durum Şekil 4.7.8.5'deki animasyonda gösterilmiştir. Burulma deneyinde tüp ya da boru kullanılması durumunda ezilmenin önlenmesi için numune uçlarının güvenli bir biçimde tutturulması gerekir.

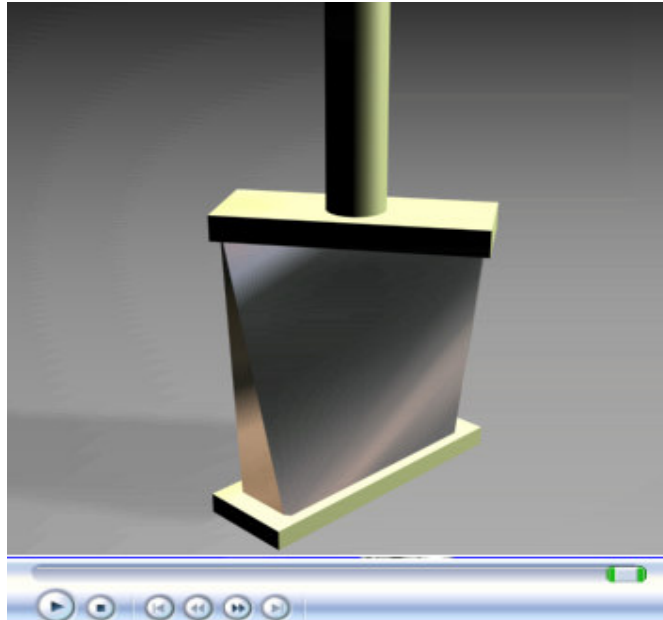


Şekil 4.7.8.4. Burulmaya maruz kalan bir malzeme animasyonu 1.adım



Şekil 4.7.8.5. Burulmaya maruz kalan bir malzemede kayma gerilmelerinin gösterimi

Kesiti dolu daire veya içi boş daire olmayan millerin burulmasında eksene dik kesitler düzlem olarak kalmazlar. Eğrisel bir yüzey haline gelirler. Bu durum Şekil 4.7.8.6'daki animasyonda gösterilmiştir. Burulmadan evvel dikdörtgen olan yüzeyi burulduğu zaman düzlemlikten çıkmaktadır. Dikdörtgen kesitte gerilmelerin dağılışı kuvvet çizgilerinin durumu Şekil 4.7.8.6'da görülmektedir. Köşe noktalarda gerilme sıfırdır.



Şekil 4.7.8.6. Daire kesitli olmayan bir profilin burulma animasyonu

## 4.8. Isıl İşlemler

Genel anlamda ısıl işlem, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Isıl işlemin Türk Standartlarındaki (TS 1112) tanımı ise; katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir (Savaşkan, 1999). Bütün ısıl işlemlerin amacı, malzemelerin özelliklerini arzu edilen biçimde iyileştirmektir. Çeşitli işlem basamaklarından geçirilerek şekil verilmiş parçaların, ısıl işleme tabi tutulmaları sonucunda mikro yapı haricinde fiziksel yapılarında herhangi bir değişim olmamalıdır. Isıl işlem usulleri şu maddelere göre incelenir;

- Usulün amacı, istenilen özellik değişimi
- Malzemenin içerisinde gerçekleşen olaylar
- Isıl işlemin yapılış şekli
- Uygulama alanları (Weissbach, 2000)

### 4.8.1. Jominy (Sertleşebilirlik) Deneyi

Sertleşebilirlik, demir karbon alaşımlarının martenzit biçimlendirilmesiyle sertleştirilebilme yeteneğidir. Sertleşebilirlik sertlik değildir. Yüksek sertleştirilebilirliğin anlamı; numune hacminin başından sonuna yüksek martenzitli ürün için alaşımların yeteneğidir (Aydoğan, 2003).

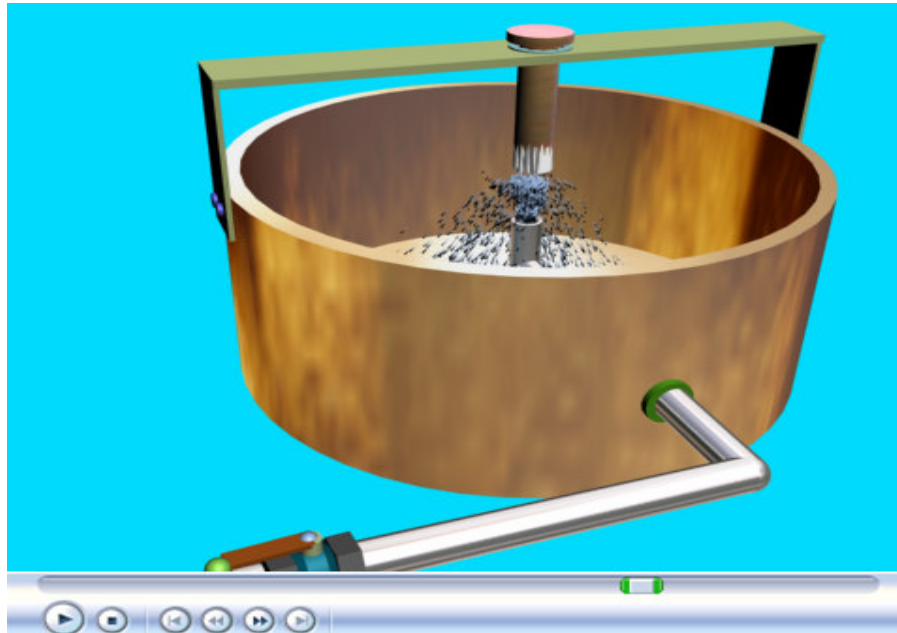
Çelik seçiminde genel olarak kimyasal bileşim esas alınır. Ancak, bu yöntem çeliğin karbon ve alaşım elementi oranının önemli ölçüde değişimine izin verir. Kimyasal bileşimdeki bu değişim, aynı standarda sahip olan çeliklerin bile farklı kritik soğuma hızlarına sahip olmalarına ve dolayısı ile bu çeliklerin ısıl işlem özelliklerinin değişmesine neden olur. Malzeme seçiminde en önemli özellik olarak mukavemet alındığında, malzemelerin sertleşebilirliklerine göre sınıflandırılması daha yararlı ve ekonomik olur. Bu nedenle malzemelerin sertleşebilirliklerini standart bir deney yöntemi ile belirlemek gerekir.





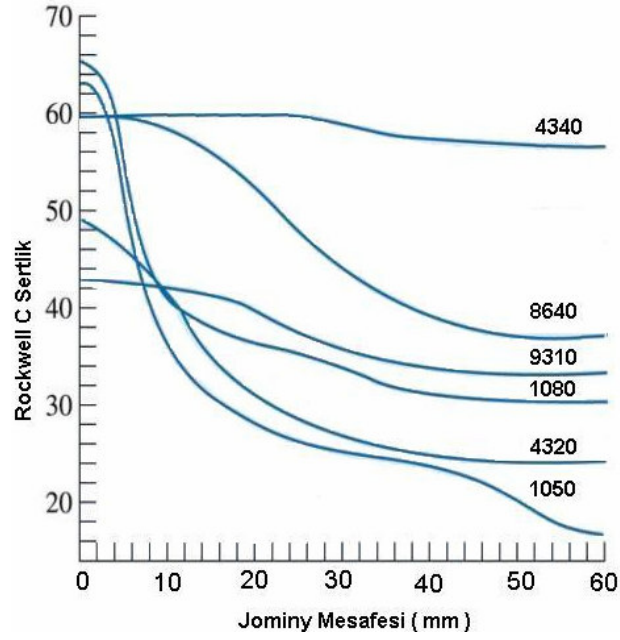
Şekil 4.8.1.1. Jominy (Sertleşebilirlik) deneyi animasyonu ilk adım

Malzemelerin sertleşebilirliklerini belirlemek için en yaygın olarak uygulanan yöntem jominy deneyidir. Şekil 4.8.1.1’de görülen animasyonda jominy deneyi anlatılmaktadır. Bu animasyonda, 25 mm çapında ve 100 mm uzunluğundaki numune ostenitleme sıcaklığına kadar ısıtılarak tavllanır (Şekil 4.8.1.1).



Şekil 4.8.1.2. Jominy (Sertleşebilirlik) deneyi animasyonu ikinci adım

Şekil 4.8.1.2’de ikinci adım olarak gösterilen animasyonda fırından alınan numuneye, bir ucundan özel bir püskürtme aleti ile su verilir. Su vermek için kullanılan alet standartlaştırılmıştır. Su verme işleminden 10 dk sonra numune alınır ve taşlanarak birbirine paralel iki yüzey elde edilir. Numunenin Rocwell – C cinsinden sertliği belirli aralıklarla ölçülür. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak numunenin sertliğinin, su verilen uçtan uzaklığa göre değişimini gösteren eğri çizilir.



Şekil 4.8.1.3. Farklı çelikler için sertleşebilirlik eğrileri

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte bütün bilimsel alanlarda büyük gelişmeler görülmektedir. Özellikle bilginin görsel olarak ifade edilmesinde her geçen gün bir başka yenilik ortaya çıkmakta ve bu süreç ivmeli bir artışla devam etmektedir. Yaşanan bu gelişmeler eğitim alanına da olumlu yönde yansımakta, kısıtlı eğitim ortamlarından ve personel eksikliğinden kaynaklanan sınırlılıklar teknoloji kullanılarak en alt düzeylere çekilmektedir.

Şüphesiz ki malzeme bilimi eğitiminde de eldeki bilgilerin öğrenciye aktarılmasında çeşitli zorluklar vardır. Bunları şu şekilde gruplamak mümkündür;

1. Öğrencilerin çoğunun malzeme bilimi ile ilgili terimlere yabancı olmaları
2. Ders için gerekli altyapılarının zayıf olması
3. Malzeme bilimi dersindeki pek çok konu sabit gösterimlerle anlatım tekniğinin yerine üç boyutlu gösterimleri gerektirmektedir.
4. Özellikle kristal kafesler, atomların yapıları, faz diyagramı vb. gibi konuların tahtaya çizilerek anlatılması ve öğrencinin bunları zihninde canlandırması oldukça zor olmaktadır.
5. Genelde öğrenciler derslerde anlatılan konular zihinlerine tam yerleşmeden derslerden çıkmaktadırlar (Aydoğan vd., 2005).

Bu maddelere ek olarak malzeme laboratuvarlarının olmaması, olsa bile donanım bakımından eksik olması, kalabalık sınıf ortamları gibi çeşitli fiziksel sınırlılıklar sayılabilir.

Bu çalışmanın da temelinde sözü edilen bu sınırlılıkları en alt düzeye indirme çabaları yer almaktadır. Bu günün şartları içinde bunu gerçekleştirmenin en kullanışlı yolu bilgisayardan ve onun getirdiği yeniliklerden faydalanmaktır. Günümüzde bilgisayar yardımıyla yapılan üç boyutlu animasyonlar son derece ilgi çekici ve gerçeğe çok yakın niteliktedir. Üç boyutlu animasyonların getirdiği kolaylıklar ve faydalar bu çalışma kapsamında malzeme bilimine adapte edilmeye çalışılmıştır.

Teorik bilgilerin hazırlanış safhasında bütün bu kitaplardan, makale ve bildirilerden faydalanılmaya çalışılmış, biraz da empati yapılarak nasıl daha iyi anlayabilirim ve nasıl daha iyi anlatabilirim mantığı güdülmüştür.

Böylece animasyonlarla birbirlerini tamamlar nitelikte bilgiler seçilip, bazı kısımları yeniden yorumlanarak malzeme bilimine faydalı olacağını düşündüğümüz bu çalışma ve “malzeme bilimi eğitim CD’si” elde edilmiştir.

Eğitim CD’sinde yer alan iki ve üç boyutlu animasyonlar, materyal ve laboratuvar eksikliği duyulan fakültelerde öğrencinin birebir kullanımına sunulabilmekle beraber ders esnasında eğitim materyali olarak da kullanılabilir. Malzeme laboratuvarı imkânlarına sahip olan fakültelerde ise öğrencinin laboratuvar hakkında bir ön bilgiye sahip olması ve laboratuvara daha bilinçli bir şekilde gitmesi içinde eğitim CD’sinden yararlanılabilir. İlk aşamada öğrenciye bilgisayar ortamında teorik bilgiler ve animasyonlar aktarılır. İkinci aşamada ise gerçek uygulamalarla cihazlar ve çalışma prensipleri tanıtılmak üzere laboratuvara gidilebilir.

Ayrıca eğitim CD’sinin web formatında hazırlanmış olması, internet ortamında yayınlanma olanağını doğurmuştur. Böylece daha geniş kitlelere ulaşılarak bilginin paylaşılması sağlanabilir.

Yurt dışındaki Virginia, Tennessee, Ohio State, Budapeşte, British Columbia, Florida, Texas, Kansas, Pennsylvania, North Carolina State, Notre Dame, Oxford, Cambridge, Monash, National Chung Hsing üniversitelerinin web sitelerinde malzeme bilimi ile ilgili bazı ders notlarının, iki ve üç boyutlu animasyonların yer aldığı görülmüştür. Fakat bu sitelerden bilgi almak isteyen kişilerin yabancı dil düzeylerinin oldukça yüksek olması gerekmektedir. Bu durum da yabancı dilde yayınlanan internet sitelerinden, lisans düzeyinde eğitim gören öğrencilerin bilgi edinmelerini oldukça sınırlamaktadır. Yeterli yabancı dil seviyesi yakalansa bile farklı ülkelerde farklı müfredatın izlenmesi ve bazı yerel terimlerin kullanılması oldukça fazla zaman sarfiyatına neden olmaktadır. Ayrıca internet ortamına her bilgisayarda rahatlıkla ulaşılamaması, zayıf internet bağlantılarının görsel öğeleri

sergilemekte son derece yetersiz kalması sıkıntı yaratmaktadır. Bu bakımdan çalışmanın CD olarak hazırlanması, çoğaltılmasının da son derece kolay olması bahsedilen bu sınırlılıkları ortadan kaldırmaktadır.

Giriş kısmında da belirtildiği gibi bu çalışma bir bütünün iki ayrı parçasından birini oluşturmaktadır. Her iki çalışma da kendi içerisinde bütünlük teşkil etmektedir. Fakat çalışmaların eşgüdüm çerçevesinde yürütülerek bir araya getirilmeleri sonucunda kendine özgü bir eser meydana gelmiştir. Diğer çalışmada web tasarımına ve programlama dillerine ağırlık verilmesi bilgilerin konu başlıkları halinde web dizaynında sunulmasına olanak sağlamıştır.

Sonuç olarak malzeme bilimi eğitiminde de olduğu gibi tüm bilim dallarının eğitiminde teknolojiden faydalanılarak ders içeriğinin ve anlatım tekniklerinin geliştirilmesi, bilginin kavranması ve zamanın kullanılması bakımından verimi artıracaktır. Bu tip çalışmaların her alanda artmasıyla, daha nitelikli eğitim faaliyetleri uygulamalarda yerlerini alacaklardır.

## 6. KAYNAKLAR

- Arıcı, N., 2005. Mesleki ve Teknik Eğitimde Çoklu Ortam Araçları Kullanılmış Web Tabanlı Öğretimin Öğrenci Başarısına Etkisi. <http://www.ttef.gazi.edu.tr/dergi/makaleler/2005/Sayi1/170-180.pdf>. Alındığı Tarih: 13.01.2006.
- Arslan, B., 2003. Uzaktan Bilgisayar Destekli Eğitime Tabi Tutulan Ortaöğretim Öğrencileriyle Bu Süreçte Eğitici Olarak Rol Alan Öğretmenlerin BDE'e İlişkin Görüşleri. <http://www.tojet.net/articles/2410.htm>. Alındığı Tarih: 11.02.2005.
- Askeland, R.D., Çeviri: Erdoğan, M., 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1-2. Nobel Yayınevi, 364 s. Ankara.
- Aydıncal, Ö., 2001. Mechanical Desktop, Atlas Yayınevi, 302 s. İstanbul
- Aydoğan, H., 2003. Malzeme Bilimi Eğitiminde Çoklu Ortamın Kullanılması,. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 193s. Isparta
- Aydoğan, H., Kuş, R., Özsoy, A., 2005. Malzeme Bilimi Öğretiminde Çoklu Ortam Uygulamaları. Selçuk Üniversitesi, Teknik Online Dergi, 4(1), 20-30, Konya.
- Callister, W.D., 2000. Fundamentals Of Materials Science And Engineering/An Interactive. John Wiley And Sons, Inc. 524 p. New York.
- Callister, W.D., 2003. Materials Science And Engineering An Introduction. John Wiley And Sons, Inc. 820 s. New York.
- Çalışkan, S., 2002. Uzaktan Eğitim Web Sitelerinde Animasyon Kullanımı. [http://aof20.anadolu.edu.tr/bildiriler/sabahattin\\_caliskan.doc](http://aof20.anadolu.edu.tr/bildiriler/sabahattin_caliskan.doc). Alındığı Tarih: 03.01.2005.
- Çalışkan, S., 2003. Ayrımlı Öğrenenler İçin Web'e Dayalı Vrm1 Ortamlarının İletişim ve Etkileşim Boyutları: Çavdarhisar Aizonai, Zeus Tapınağı Vrm1 Uygulaması. <http://home.anadolu.edu.tr/~gkurubac/CAVDARHISARAIZONAIZEUS%20TAPINAGIVRMLUYGULAMASI.doc>. Alındığı Tarih: 26.08.2005.
- Çetiner, O., 2006. Mimarlık Eğitiminde Bilgisayar Kullanımı ve Bir Örnek. <http://ab.org.tr/ab06/sunum/32.pdf>. Alındığı Tarih: 26.04.2006.
- Clark, D. J. M., 1998. Developing, Integrating, and Sharing Web-Based Resources for Materials Education. <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9805/Clark/Clark-9805.html#Clark>. Alındığı Tarih: 03. 02. 2005.

- Çınar, A., Arslan. A., 2002. Bulanık Mantık Tabanlı Yüzey Modelleme ve Üç Boyutta Nesne Kaynaştırma İşlemine Uygulaması. Gazi Üniversitesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(4), 23-36, Ankara.
- Çiçek, A., Gülesin. M., 2005. 2 Boyutlu Çizimlerden 3 Boyutlu Katı Modellerin Otomatik Elde Edilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(3), 387-394, Ankara.
- Demirel, Ö., 2000. Eğitimde Program Geliştirme/Kuramdan Uygulamaya. Pagem A Yayıncılık, 314s. Ankara
- Dinç, N., 2000. Kullanıcı Merkezli Çoklu Ortam Tasarım Esaslarına Dayanarak Bir Eğitim CD'sinin Hazırlanması. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Sanatta Yeterlilik Tezi. 74 s. Eskişehir.
- Erkan, E., 2003. Java ve WEB Tabanlı Uzaktan Eğitim: e-Eğitim için Sanal Sınıf ve Sanal Laboratuvar Projesi. [www.emo.org.tr/eski/merkez/sempozyumlar/programson1.htm](http://www.emo.org.tr/eski/merkez/sempozyumlar/programson1.htm) - 150k -. Alındığı Tarih: 17.07.2005.
- Ertürk, S., 1986. Eğitimde Program Geliştirme. Yelkentepe Yayınları, 170s. Ankara
- Flemings. M.C., Cahn. R.W., 2000. Organization and trends in materials science and engineering education in the US and Europe. Acta Materialia, 48(1), 371-383, USA.
- Firmerdesigns, <http://www.firmerdesigns.com/3dders/solidworks/00.htm>. Alındığı Tarih: 12. 09. 2005.
- Gençkinli, E., A., 2001. Metalografi. Nobel Yayınevi, 291 s. İstanbul.
- Gökçe, B., Taşgetiren. S., 2004. Malzeme Bilimi Eğitiminde E-Eğitim Desteği ve Bir Örnek Uygulama. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi. 10, 1048-1055, Denizli.
- Gümüştepe, Y., 1999. Temel Animasyon Mantığı ve Macromedia Flash. Türkmen Kitapevi, 301s. İstanbul.
- Güven, S., Atom nedir?. Antrak Gazetesi. [www.antrak.org.tr/gazete/041999/sinan.htm](http://www.antrak.org.tr/gazete/041999/sinan.htm). Alındığı Tarih: 03. 01. 2005.
- I-deas ile Katı Modelleme ve Teknik Çizim. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayını No: 310, İzmir -2004
- İşman, A., 2001. Bilgisayar ve Eğitim. Sakarya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi Dergisi, 2, 1-34, Sakarya.

- Karagülle, H., Karakuzu. R., Varol. K., 2001. Endüstriye Yönelik Bilgisayar Destekli Tasarım Eğitimi. MMO Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi. 19(279), 233-240, Konya
- Kanbur, N., 2002. 3D Studio Max. Pusula Yayıncılık, 830 s. İstanbul.
- Kayacan, C., Çelik, A., Aydoğdu. N., 2002. AutoCAD Bilgisayar Destekli Yazılım. 451 s. Isparta.
- Kayalı, E., S., Ensari, C., Dikeç, F., 1983. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 179 s. İstanbul.
- Kocacıbağ, Ü., Kocacıbağ. G., 1998. AutoCAD R14 ile Bilgisayar Destekli Çizim ve Tasarım. Değişim Yayınları, 380 s. Adapazarı.
- Kök, K., 2003. Pro/Engineer, Atlas Yayınevi, 340 s. İstanbul.
- Onaran, K., 1995. Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, 383 s. İstanbul.
- Onk, S. K., 2002. Development of an Interactive Multimedia Teaching Package for a Course on Metalworking. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/102524858/> ABSTRACT. Alındığı Tarih: 11. 01. 2006.
- Özdemir, A, H., 2004. Photoshop Cs Version 8.0 Konu Bazında Anlatım ve Örnek Çalışmalar. Türkmen Kitabevi, 189s. İstanbul.
- Öztopçu, A., 2003. Okul Öncesi Ve İlköğretim Sürecindeki Eğitimde Bilişim Teknolojilerinin Önemi. <http://inet-tr.org.tr/inetconf9/bildiri/97.doc>. Alındığı Tarih: 07.09.2005.
- Rıza, E. T., 2000. Eğitim Teknolojileri Uygulamaları ve Materyal Geliştirme. Anadolu Matbaası, 289s. İzmir.
- Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitabevi, 284 s. Trabzon.
- Smith, F.W., Çeviri:Kınıkoğlu. N., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık, 855s. İstanbul.
- Şahin, H., Gülesin. M., Güllü. A., Gültaş. A., Uluer. O., 2006. SolidWorks İle Modelleme. Asil Yayın Dağıtım, 480s. İstanbul.
- Şahin, İ., Börklü. H., 2002. 2B Görünüş Verilerinden Bilgisayar Destekli 3b Modeller Oluşturulması: Kaynak Araştırması. Mühendis ve Makina Dergisi, 43(507), 20-30.
- Uğur. A., 2003. İnternet Üzerinde Üç Boyut ve Web3d Teknolojileri. <http://akgul.nom.tr/yazilar/tmp/lkd/54.html>. Alındığı Tarih: 19.11.2005.



Universal Malzeme Testi Makineleri. [http://www.instron.com.tr/wa/products/universal\\_material/](http://www.instron.com.tr/wa/products/universal_material/) Alındığı Tarih: 11.12.2005.

Uzun, H., Fındık, F., Salman, S., 2003. Malzeme Biliminin Temelleri I. Değişim yayınları, 247s. İstanbul.

Vektörofis., Vitra., Artema., Eczacıbaşı., 2004. 3 boyutlu ürün kütüphane CD'si 2004. Vektör ofis.A.Ş. İstanbul.

Weissbach, W., Çeviri:Anık, S., Anık E., Vural, M., 2000. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, 348 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer Erkan ÖZALTIN

Doğum Yeri : ŞARKIKARAAĞAÇ

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1993-1996 Isparta Gazi Lisesi

Lisans 1997-2001 SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Tesisat Öğretmenliği

Yabancı Dil: İngilizce

### İş Deneyimi:

2002-2006 SDÜ Isparta Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi

2006- SDÜ Gönen Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi