

Şahin, Altan  
Yapı malzeme bilgisi (2007)  
IX, 316 s. : çiz., şek. ; 24 sm.

Yalçın, Hayri  
Malzeme bilgisi (2002)

**Malzeme Bilimi ve  
Mühendisliği ( William F.  
Smith) 2012**

Malzeme Bilimi ve  
Mühendisliği  
William D. Callister  
David G. Rethwisch Çeviri:  
Kenan Genel (2011)

**Malzeme Bilimine Giriş**

Lawrence H. Van Vlack (2005)

**Malzeme Bilimi  
Kaşif Onaran (2000)**

**Malzeme Bilgisi  
Ahmet Çetin Can (2010)**

**Malzeme Bilgisi  
Yasin Güngör (2005)**

**Yapı Malzemesi I  
Osman Şimşek (2005)**

# MALZEME BİLGİSİ

## İÇİNDEKİLER

1. Atom yapısı ve özellikleri
2. Atomlar arası bağlar
3. Atomların dizilişleri
4. Kristal Yapı hataları
5. Malzemelerin özellikleri
6. Demir ve çelik
7. Paslanmaz çelik
8. Metallerin korozyonu
9. Plastik maddeler
10. Refrakter maddeler
11. Çimento ve beton
12. Kireç ve alçı
13. Malzeme yapımında kullanılan endüstriyel mineraller ve özellikleri

## MADDENİN TEMEL YAPISI

Malzemeler atomların farklı düzenlerde bir araya gelmesiyle meydana gelirler. Atomlar farklı düzenlerde ve yapılarda birbirlerine bağlanmalarına göre malzemeleri metal, seramik, polimer veya yarı iletken olarak sınıflandırılır. Atomik yapının özelliklerine bağlı olarak malzemelerin mekanik, elektrik, ısı, yalıtkan, manyetik davranış ve optik özellikleri de belirlenir. Bir malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, o malzemeyi oluşturan atomların cinsine, bağ türüne ve atomların dizilişine yani atomların kristal yapısına bağlıdır. Atomlar arası bağlar uygulanan dış kuvvetlere karşı direnç gösterir. Malzemenin şekil değiştirmesini ve kırılmasının önlemeye çalışır. Ayrıca bağ kuvvetleri arttıkça malzemeyi eritmek zorlaşır. Kristal yapı malzemenin yoğunluğu, sertliği ve mekanik dayanımı üzerine de etki yapar.

### 1. Atom Yapısı

Doğada bulunan tüm elementler atomlardan meydana gelmiştir. Atomlar arasında çekme kuvveti vardır ve bu kuvvet maddelerin parçalanma ve şekil değiştirmesine etki eden en önemli faktördür. Bohr atom modeline göre bir atom merkezinde  $10^{-11}$  mm çapında bir çekirdek ve bu çekirdeği çepeçevre kuşatan elektronlardan oluşur. Atom yaklaşık  $10^{-7}$  mm'lik bir çapa sahiptir. Atomun yapısını güneş sistemine benzetebiliriz.

#### 1.1. Atom Numarası

Bir elementin atom numarası, her atomun çekirdeğindeki protonların veya elektronların sayısına eşittir. Örneğin demir elementinin atom numarası 26 iken, altın elementinin atom numarası 79'dur.

#### 1.2. Atom Kütlesi

Bir elementin atom kütlesi, o atomun çekirdeğini oluşturan proton ve nötron sayıları toplamına eşittir. Bir mol (bir gram-atom) elementte Avagadro sayısı kadar atom bulunur. Avagadro sayısı  $6.02 \times 10^{23}$  atom/mol olup, bir mol içindeki atom veya moleküllerin sayısını ifade eder. Atom kütle birimi, gram/mol'dür. Atom kütlesi ile avagadro sayısı arasındaki ilişkiye örnek bakır elementini verelim. Bakır atomunun kütlesi 63.54 gram/mol'dür. Yani  $6.02 \times 10^{23}$  adet bakır atomu, 63.54 gram gelmektedir. O zaman bir bakır atomunun ağırlığı ( $63.54 / 6.02 \times 10^{23}$ ),  $10.55 \times 10^{-23}$  gramdır.

#### Şekil 1. Karbon elementinin şematik atom yapısı

Atom çekirdeği, pozitif yüklü proton (+) ve yüksüz (nötr) nötron parçacıklarından oluşur. Elektronlar bir bulut şeklinde atom çekirdeğini sarar. Elektron bulutu negatif, çekirdekteki protonlar pozitif yüklü olduğundan, elektron bulutu ile çekirdek arasında bir çekim kuvveti vardır. Çekirdek etrafında dönen elektronlar ise negatif (-) yüklü olup, elektriksel yükü protona eşit değerdedir. Elektronlar ile protonlar sadece zıt yüklere sahiptirler. Yani elektronun elektrik yükü  $-1.6 \times 10^{-19}$  Coloumb, protonun

elektrik yükü  $-1.6 \times 10^{-19}$  Coloumb'dur. Çekirdek atom kütlelerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Çünkü bir proton veya nötronun kütlesi  $1.67 \times 10^{-27}$  kg olup, her bir elektronun kütlesi ise,  $9.11 \times 10^{-31}$  kg'dır. Bu rakamlara bakıldığı zaman çekirdek ağırlığı elektron ağırlığının 1836 katı kadar olduğu gözükmektedir. Bundan dolayı atomun kütlelerini çekirdek kütlelerinin belirlediğini söyleyebiliriz. Çünkü elektronların sahip olduğu ağırlık genel ağırlık yanında ihmal edilebilir değerdedir. Atomun kütlelerini çekirdek belirlediği halde, atomun hacminin büyük bir kısmını da elektron bulutu belirlemektedir. Çünkü proton ve nötron parçacıklarından oluşan çekirdeğin hacmi atom hacmine göre çok küçüktür.

Bir atomda elektron ve proton sayıları eşit olduğu için, atom elektriksiz olarak nötrdür. Atom çekirdeğindeki proton ve nötron sayıları genelde eşittir. Fakat bazı atomların çekirdek içerisindeki proton sayısı değişmediği halde, nötron sayısı değişebilmektedir. Bu durumda sözkonusu atomun izotopları meydana gelir. Kısacası bir atomun proton sayısı nötron sayısından fazla ise, o atoma **izotop atom** denir.

## 2. Atomlar Arası Bağlar

Atomları bir arada tutan Coulomb çekme kuvvetinin gücüne göre, kuvvetli ve zayıf bağlar olmak üzere iki grup atomsal bağ vardır. **İyonik, kovalent ve metalik bağlar** kuvvetli bağlardır. İyonik bağ için gerekli bağ enerjisi 150-370 kcal/mol iken, kovalent bağ için 125-300 kcal/mol ve metalik bağ için 25-200 kcal/mol'dür. Seramik ve metal atomları kuvvetli bağlarla bağlıdır. Bağ enerjileri kuvvetli bağların onda biri kadar olan **Van der Waals bağı** (1-10 kcal/mol) zayıf bağ olarak adlandırılır. Zayıf bağlar hemen hemen bütün maddelerde bulunur.

Tablo 1. Çeşitli malzemelere ait bağ enerjisi değerleri

Bağ türü	Malzeme	Bağ Enerjisi (kcal/mol)
İyonik bağ	NaCl	153
	MgO	239
Kovalent bağ	Si	108
	C (Elmas)	170
Metalik bağ	Al	77
	Fe	97
Van der Waals bağı	Ar	1.8
	Cl <sub>2</sub>	7.4
Hidrojen bağı	H <sub>2</sub> O	12.2

### 2.1. İyonik Bağ

Bazı atomlar üst elektron sayısına ulaşmak amacıyla çevredeki atomlarla elektron alış veriş yaparlar. Bu alış veriş sonunda bir veya birkaç elektron bir atomdan diğerine verilir. Böylece atom (+) yada (-) yük kazanmış olur. Yüklü atomlar iyon adını alır. Ters yüklü iyonlar birbirini çekme gücüne sahiptir. İyonlar arasındaki bu çekim kuvvetine iyonik bağ adı verilir. İyonik bağa en güzel örnek sodyum (Na) ve klor (Cl) elementlerinin iyonik bağı sonucu meydana gelen bildiğimiz yemek tuzudur.

## Şekil 2. NaCl kristalinde meydana gelen iyonik bağ oluşum mekanizması

İyonik bağla bağlanan atomların meydana getirdiği malzemeler, kırılğan ve gevrek olurlar. Şekil değiştirme özellikleri çok zayıftır. İyonik bağlı malzemelerde elektrik yükü, iyonların hareket etmeleri ile sağlanır. İyonlar elektronlar kadar kolay hareket edemediklerinden, iyonik bağlı malzemelerin elektrik iletkenliği de zayıftır. İyonik bağ genellikle seramiklerde rastlanan bir bağ türüdür.

### 2.2. Kovalent Bağ

Bir atom, komşu bir atomla en dış kabuğundaki valans elektronlarını paylaşarak kararlı hale geçiyorsa, bu tür elektron paylaşımından ortaya çıkan bağa kovalent bağ adı verilir.

## Şekil 3. Hidrojen molekülü kovalent bağ mekanizması

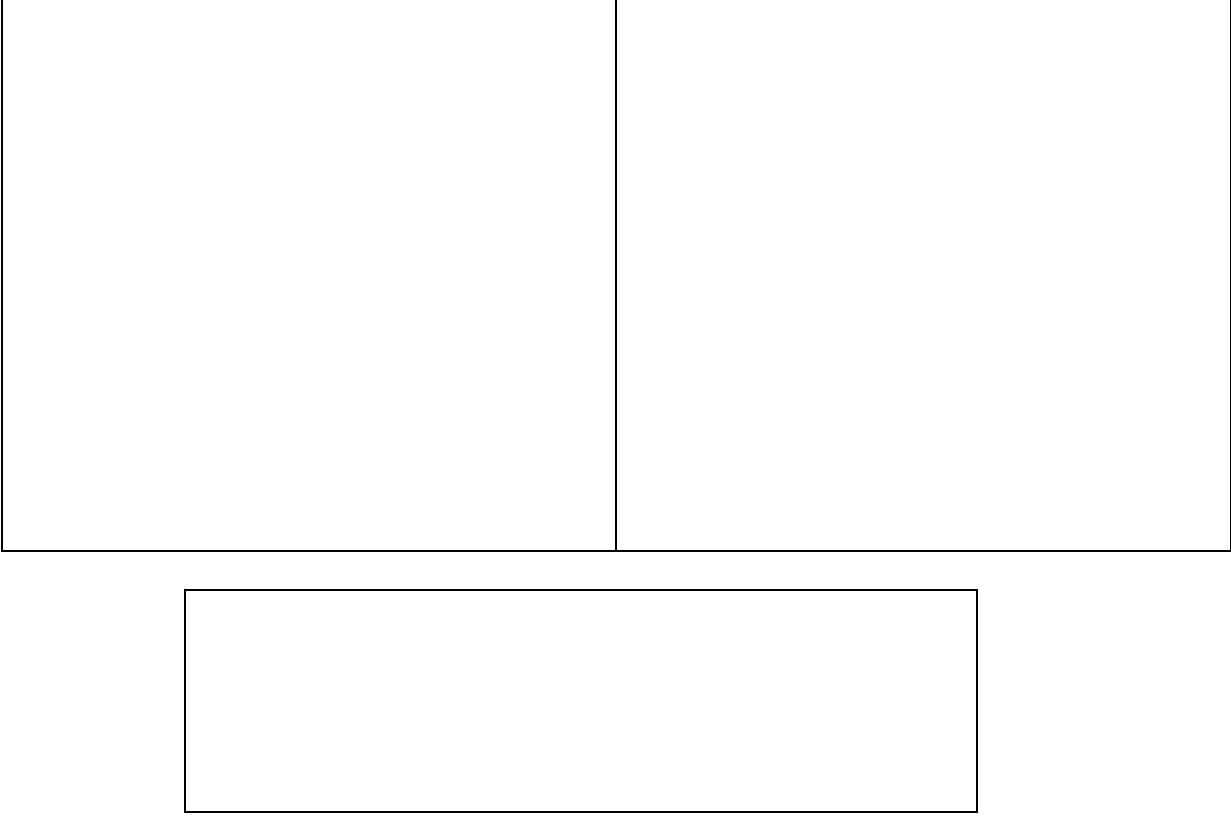
SiO<sub>2</sub> molekülünü örnek verecek olursak. Son yörüngesinde 4 valans elektrona sahip olan silisyum, elektronlarını dört ayrı oksijen atomu ile paylaşır. Bu sayede silisyum atomunun son yörüngesindeki elektron sayısı 8'e tamamlanır. 6 valans elektrona sahip oksijen ise, silisyum atomunun iki elektronunu paylaşarak son yörüngesindeki elektron sayısını o da 8' tamamlar. Atomlar dış kabuğundaki elektronları paylaşarak meydana gelen kovalent bağlar çok kuvvetlidirler. Bu bağları koparabilmek için yüksek enerjilere ihtiyaç duyulur. Fakat kovalent bağlarla bağlanmış moleküllerin dış kabuklarındaki elektron ihtiyacı tamamlanmış olduğundan , komşu molekülleri çekme kuvveti çok zayıftır.

### 2.3. Metalik Bağlar

Metalik bağ metallerde görülen bir bağ çeşididir. Metal atomlarının dış kabuklarındaki elektronları, iç kabuklardaki elektronlara göre, atom çekirdeğine daha zayıf bağlıdır. Dış kabuktaki elektronlar kolaylıkla atomdan ayrılarak serbest kalabilirler ve bir elektron bulutu meydana getirirler. Dış kabuğundaki elektronları bırakan atom, pozitif yüklü iyon haline geçer. Serbest kalan negatif yüklü elektronla, bu iyonlar arasında bir elektron bulutu oluşturacak şekilde hareket ederler. Pozitif yüklü iyonlarla negatif yüklü elektronlar birbirlerini çekerek kuvvetli bir metalik bağ oluştururlar. Metalik bağlı malzemelerin şekil değiştirebilme özellikleri oldukça iyidir. Serbest haldeki elektronlar rahatça hareket edebildikleri için metallerin elektrik ve ısı iletkenliği de yüksektir. Metalik bağlı malzemelerde atomlar düzenli bir biçimde dizildikleri için, kristal yapısı meydana getirirler.

### 2.4. Van der Waals Bağı (Zayıf Bağ)

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 sonucu ortaya çıkar.



Şekil 4. Van der Waals bağı mekanizması oluşumunun şematik gösterilmesi

Elektron ihtiyacı kalmamış moleküller arasındaki van der Waals bağına en güzel örnek sudur. Hidrojen atomları ile oksijen atomları kovalent bağ ile bağlanarak  $H_2O$  molekülünü oluşturmaktadırlar.  $H_2O$  molekülleri ise birbirine Van der Waals bağı ile bağlanarak suyu oluştururlar. Suyun oluşumunda oksijen içerisindeki eksi yüklü elektronlar artı yüklü hidrojenlerden daha uzağa kaymışlardır. Bunun sonucunda bir yük denge farklılığı ortaya çıkar. Eksi kutuplu oksijen kendisine yakın diğer su molekülünün artı kutuplu hidrojenini çeker. Böylece bir su molekülünün diğer bir su molekülü ile van der Waals bağı yaparak su meydana gelir. Buna hidrojen bağı adı da verilir. 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 ayırtmak için çok daha yüksek sıcaklıklara çıkmak gerekir.

Şekil 5. Su molekülleri arasında meydana gelen Van der Waals bağının oluşumu

## 2.5. Karışık Bağlar

Malzemelerde kuvvetli ve zayıf bağlar ayrı ayrı bulunabileceği gibi, tek bir malzemedeki birden fazla bağ türüne de rastlanır. Kalsiyum sülfatta hem iyonik hem de kovalent bağların her ikisi de mevcuttur. Ca ile SO<sub>4</sub> iyonu arasında bir iyonik bağ varken, S ile O arasında da kovalent bağ bulunur. Ayrıca ortama bağlı olarak bazı maddelerde bağ yapısı değişebilir. Örneğin, HCl sıvı çözeltilerde klor hidrojenin elektronunu alarak iyonik bağ yapar. Gaz halinde ise, hidrojen elektronunu klor ile paylaşarak kovalent bağ yaparlar.

## **3. Malzeme Özellikleri ile Atomlar Arası Mesafe ve Bağ Enerjisinin İlişkisi**

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

### 3.1. Ergime Sıcaklığı

Malzemelerin ergime sıcaklıkları şekilde gösterilen bağ enerji çukuru ile ilişkilidir. Mutlak sıfır sıcaklığında (0° K) atomlar arası mesafe dengededir. Bu denge mesafesinde bağ enerjisi minimum seviyede olup, bağ enerji çukurunun en alt noktasını gösterir. Sıcaklık arttıkça atomlar arası mesafe de büyür. Bir malzemeye ait bağ enerji çukuru ne kadar derinse , o malzemenin atomlara arası bağını koparmak için o kadar fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Dolayısıyla malzemenin ergime sıcaklığı da o oranda yüksek olur.

### 3.2. Isıl Genleşme

Malzemelerin ısıl genişleme özelliği, ergime sıcaklığı ile ters orantılıdır. Ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin ısıl genişmeleri daha düşüktür. Yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerde , sıcaklık arttıkça atomlar arası mesafe daha yavaş büyür. Dolayısıyla bu malzemelerin ısıl genişmeleri düşüktür. Ergime sıcaklığı düşük malzemelerde ise, atomlar arası mesafe daha hızlı büyüdüğü için ısıl genişmeleri daha yüksektir. Örneğin, 3410 °C'lik ergime sıcaklığına sahip tungstenin ısıl genişleme katsayısı  $4.5 \times 10^{-6}$  cm/cm.°C olduğu halde, ergime sıcaklığı 660 °C olan alüminyumun ısıl genişleme katsayısı  $25 \times 10^{-6}$  cm/cm.°C'dir.

### 3.3. Elastisite Modülü

Atomlar arası denge mesafesi, çekme ve itme kuvvetlerinin eşit oldukları ve toplam kuvvetin sıfır olduğu noktada meydana gelmektedir. Atomlar arası toplam kuvvet eğrisinin sıfır olduğu noktadaki eğimi, malzemenin elastisite modülünü verir. Toplam kuvvet eğrisi ile bağ enerjisi arasında da bir ilişki söz konusudur. Bağ enerji çukurunun derinliği arttıkça eğrinin eğimi de o oranda artmaktadır. Dolayısıyla malzemenin elastisite modülü de artacaktır.

## ATOMLARIN DİZİLİŞLERİ (KRİSTAL KAFES SİSTEMLERİ)

Atomlar arası çekme kuvvetleri atomları bir arada tutar. Buna karşılık atomların elektron yükleri nedeniyle birbirini itme kuvveti de vardır. Çekme ve itme kuvvetlerinin dengede olduğu uzaklık atomlar arası uzaklığı belirler. Bu uzaklık genellikle 1-2 Å kadardır. Isı enerjisi verilerek atomlar arası uzaklık arttırılabilir ve hatta atomlar birbirinden tamamen ayrılabilir.

Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak, malzemelerin özellikleri ve mikro yapıları değişmektedir. Atomların diziliş şekillerine göre **amorft**, **moleküler** ve **kristal yapı** olmak üzere 3 grupta inceleyebiliriz. Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse böyle bir yapıya **amorft yapı** (düzensiz yapı) adı verilir. Gazlar, sıvılar ve katı maddelerden cam amorf yapılu maddelerdir. Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirleri ile zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorlarsa bu tür yapılara da **moleküler yapı** denir. Su, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve bir çok polimer malzemeler moleküler yapıya sahiptirler.

Mühendislikte kullanılan çoğu malzeme katı haldedir. Katı haldeki malzemelerin atomlarının 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 sahiptir.

### 1. Kristal Yapısı ve Birim Hücreler

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 biçim de 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** denilir. Kristal kafesi birim hücrelerin yan yana gelmesiyle oluşur. Birim hücre kristal kafesin bütün geometrik özelliklerini taşıdığı için, eğer birim hücrenin yapı düzenini bilirsek, kristal kafesinin de yapı düzenini kolayca tarif edebiliriz. Kristal kafesi içerisindeki atomların bulunduğu yerlere **kafes noktaları** adı verilir.



### Şekil 1. Metal kristal kafesi, birim hücresi ve kafes noktaları

Bir Birim hücrenin geometrisi, iki farklı parametrenin etkileşimi sonucu tarif edilir. Bu parametrelerden birincisi x,y,z eksenleri veya birim hücre kenarları arasındaki  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  açılarıdır. İkincisi ise a, b, c harfleri ile ifade edilen birim hücre kenarlarının uzunluğudur. Birim hücrenin boyut ve şeklini tarif eden bu parametrelere, *kafes parametreleri* adı verilir.

### Şekil 2. x, y ve z koordinat eksenlerine sahip birim hücrenin, kafes parametrelerinin gösterilmesi

Kafes parametrelerinin farklı kombinasyonları sonucu ortaya çıkan ve farklı geometrik şekillere sahip kristal sistemleri mevcuttur. Kübik, hegzagonal, tetragonal, rombohedral, ortorombik, monoklinik ve triklinik olmak üzere 7 adet kristal sistemi bulunmaktadır.

Tablo 1. Yedi farklı kristal sistemine ait kafes parametreleri ve aralarındaki ilişkiler

Kristal Sistemi	Kafes Parametreleri	
	Kafes kenarları arasındaki ilişki	Eksenler arası açı değerleri
Kübik kafes	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ\text{C}$
Hegzagonal kafes	$a=b\neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ\text{C} \quad \gamma = 120^\circ\text{C}$
Tetragonal kafes	$a=b\neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ\text{C}$
Ortorombik kafes	$a\neq b\neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ\text{C}$
Triklinik kafes	$a\neq b\neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ\text{C}$
Monoklinik kafes	$a\neq b\neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ\text{C} \neq \beta$
Rombohedral kafes	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ\text{C}$

#### 1.1. Hacim Merkezli Kübik Kristal Kafes

Bu kristal kafeste metal atomları, bir atom merkez noktasından bir diğer atom merkez noktasına giden bağlantı hatları küp biçimi oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca küp merkezinde bir atom daha bulunur. Kristal kafesin bu yapısı, iki kayma yüzeyinin oluşmasına neden olur. Bu nedenle yüzey merkezli kristal kafes tipindeki metallere göre, hacim merkezli kübik kristal kafese sahip metallerin şekil değiştirmesi daha zordur. Hacim merkezli kübik kafese sahip metallere örnek; demir, krom, vanadyum, molibden ve volfram ve tantal verilebilir.

## 1.2. Yüzey Merkezli Kristal Kafes

Hacim merkezli kübik kristal kafese benzer bir yapısı vardır. Fark, yüzey merkezlinin küp merkezinde atom bulunmaması, buna karşılık yan yüzeylerin merkezlerinde birer atom bulunmasıdır. Yüzey merkezli kübik kafese sahip metaller; alüminyum, bakır, nikel, kurşun, gümüş ve altındır. Bu metaller kolay biçimlendirilir. Bu metallerin kristal yapıları en çok kayma ihtimali olan kafes tipidir.

## 2. Metallerin Kristal Yapıları

Bir malzemenin kristal yapısı o malzemenin bütün fiziksel özelliklerini etkiler. Özellikle metallerin mekanik özellikleri kristal yapıya büyük ölçüde bağlıdır. Metal atomları çevresinde bulunan elektron bulutu nedeniyle aralarındaki uzaklığı koruyarak belli bir kafes sistemi içinde kristal yapı oluştururlar. Kristal kafese dışarıdan bir kuvvet etki ettiğinde metal atomlarının konumları karşılıklı olarak kayar. Kuvvetin etkisi az olursa, metal atomları yalnızca kendi kafesteki yerinde sıkışır ve kuvvetin kalkması halinde tekrar başlangıçtaki yerine geri döner. Böylece metal elastik deformasyon gösterir. Kuvvetin tesiri büyük olduğunda, kristalin bir yerinde kayma sonucu metal atomlarının kararlı düzeni bozulabilir. Bu durumda metal malzeme kalıcı olarak biçim değiştirmiştir (plastik deformasyon).

### **Çok iyi şekil değiştirebilir kristal kafes:**

Yüzey merkezli kübik kristal kafes. Örnek Kurşun, alüminyum, bakır

### **İyi şekil değiştirebilir kristal kafes:**

Hacim merkezli kübik kristal kafes: Örnek: demir

### **Az şekil değiştirebilir kristal kafes:**

Hegzagonal kristal kafesi: Örnek: Magnezyum, çinko

Peryodik sistemde bulunan 92 elementin 54'ü metalik özellik gösterir. Metallerin büyük bir kısmının kristal yapısı hacim merkezli kübik, yüzey merkezli kübik ve hegzagonal kafes şeklindedir.

## KRİSTAL YAPI HATALARI

Malzemenin kristal yapısı teorik olarak ne kadar düzenli ve tekrar edilen yapılar olarak kabul edilseler de gerçekte kristal yapıları bir takım hatalar veya kusurlar içermektedir. 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. Bu gibi etkenler kristal kafesi içerisindeki atomların düzensiz bir şekilde dizilmesine sebep olmaktadır. Malzeme biliminde kullanılan kristal yapı hataları terimi, malzemenin bir eksikliği ya da kusuru olduğu anlamında değildir. Sadece kristal yapı içerisinde atomların düzenli dizilişi ile düzensiz dizilişi karşılaştırıldığında, atom düzensizliğinin bir hata olarak algılanmasından dolayı, kristal yapı hataları terimi kullanılmaktadır. Aslında bu tür yapı hataları, malzemelere arzu edilen bazı özellikleri kazandırmak amacıyla bilinçli olarak oluşturulur.

Malzemelerde kristal yapı hataları, malzemenin mekanik, elektrik, yoğunluk ve plastik şekil değiştirme gibi özelliklerini etkilemektedir. Malzemeler içerisinde hacimsel hatalarda bulunmaktadır. Örneğin, gözenekler, çatlaklar, yabancı madde kalıntıları ve değişik fazlar hacimsel hatalar sınıfına girmektedir.

### 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 5 çeşittir.

### 1.1. Atom Boşlukları

En basit noktasal hata atom boşluklarıdır. Eğere bir atom kristal kafesinde bulunması gereken yerde bulunmuyorsa, o kafes bölgesinde eksik bir atom var demektir. İşte bu eksik atom sebebiyle oluşan boş kafes köşesine *atom boşluğu* adı verilir. Atom boşlukları katılma esnasında, yüksek sıcaklıklarda ve radyasyon hasarı etkilerine bağlı olarak oluşabilirler. Bir metalde atom boşluğu sayısı arttıkça, o metalin elektriksel iletkenliği artar ve atomsal yayılım (difüzyon) kolaylaşır. Metalin akma mukavemetinde az da olsa bir artışa sebep olur. Ayrıca metalin yoğunluğu hafif azalır.

Şekil 1. Kristal kafesinde oluşan atom boşluğu

### 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. Eğere yabancı atomlar ana kristal kafes atomlarının yerlerini alırlarsa buna *yer alan atomlar* adı verilir. Yer alan atom boyutları ile ana kafes atom boyutları birbirlerine yakınsa, kafes yapısı aşırı deforme olmaz. Yer alan hatasına sahip bir malzemeyi bilinçli olarak oluşturabiliriz. Örneğin yumuşak bakır içerisine çinko ilave ederek daha sert bir bakır-çinko alaşımı (bronz) elde edebiliriz. Şekil 2’de görüldüğü gibi atom yarıçapı 0.1278 nm olan bakırın içine, atom yarıçapı 0.139nm olan çinko ilave edildiğinde çinko atomları kafes sistemindeki bazı bakır atomlarının yerine otururlar. Böylece yer alan atom hatasına sahip bir bakır-çinko alaşımı elde edilmiş olur.

Şekil 2. Yer alan atom hatasına sahip bakır-çinko alaşımına ait kristal kafesi

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 içindeki çok küçük atom yarıçaplarına sahip hidrojen atomları, ara yer atomu olarak bulunabilir. Fakat ara yer atom boşlukları ana kafes atom aralıklarından daha büyük ise, kafeste deforme meydana gelir. Örneğin, yumuşak olan ve atom yarıçapı 1.241 Å olan saf demir içerisine, atom yarıçapı 0.75 Å olan karbon atomlarının ilavesiyle, çelik dediğimiz daha mukavemetli bir aşılm elde edilir.

Şekil 3. Kristal kafes içerisindeki ara yer atom mekanizması

### 1.3. Schottky ve Frenkel Hataları

Noktasal hatalar iyonik kristallerde de meydana gelirler. Bir iyonik kristal kafesi içerisinde zıt yüklere sahip iki iyon çifti yerinde yok ise, bu tür noktasal hatalara **Schottky hatası** denir. Şekil 4’de de görüldüğü gibi, bu hata türünde artı yüklü iyon ile eksi yüklü iyon çifti, bulunması gereken yerlerinde değildir.

Eğer iyonik bir kristal kafesinde artı yüklü iyon (katyon) yerinden çıkıp, bir ara yere girerse önceki yeri boş kalır. İyonik kristallerde oluşan bu çeşit noktasal hatalara da **Frenkel hatası** adı verilir. Bu Schottky ve Frenkel hata tipleri genellikle iyonik bağ ile bağlanmış seramik malzemelerde görülür.

Şekil 4. Bir iyonik kristalde Schottky ve Frenkel hata mekanizmaları

## **2. Çizgisel Hatalar**

Bir kristal yapısındaki çizgisel hatalara **dislokasyon** adı verilir. Dislokasyonların kenar ve vida dislokasyonları olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Kenar ve vida dislokasyonların kristal kafesinde, birlikte buldukları hata durumuna da karışık dislokasyon hatası denir.

Şekil 5. Kristal yapı içerisinde bir dislokasyon mekanizmasının gösterilmesi

Şekil 6. Kristal yapı içerisinde bir vida dislokasyon mekanizmasının gösterilmesi

Bir malzemedeki dislokasyonların varlığı, o malzemenin plastik şekillenmesini kolaylaştırır. Metallerin dövülerek, haddelenerek veya çeşitli şekil değiştirme teknikleri ile şekillendirilmesinin kolay olması, malzeme içerisindeki dislokasyonların var olması nedeniyledir. Eğer dislokasyonlar olmasaydı, metallerin süneklik özellikleri çok zayıf olurdu ve şekillendirmeleri zorlaşırdı.

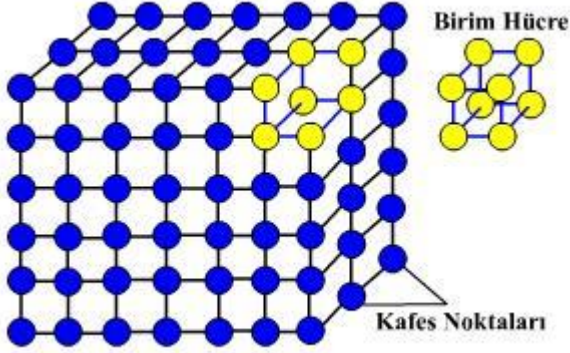
### **3. Düzlemsel (Yüzeysel) Hatalar**

Kristal yapısındaki atomlar, bir yüzey boyunca düzensiz olarak dizildiklerinde meydana gelen hatalara *düzlemsel veya yüzeysel hatalar* denir.

## **BİRİM HÜCRELER**

Birim hücre bütün kafesin özelliklerini halen taşıyan kafesin bir alt bölümüdür. Şekil ' de bir birim hücre koyu çizgilerle gösterilmiştir. Özdeş hücreler istiflenerek kafesin tamamını oluşturabilir.

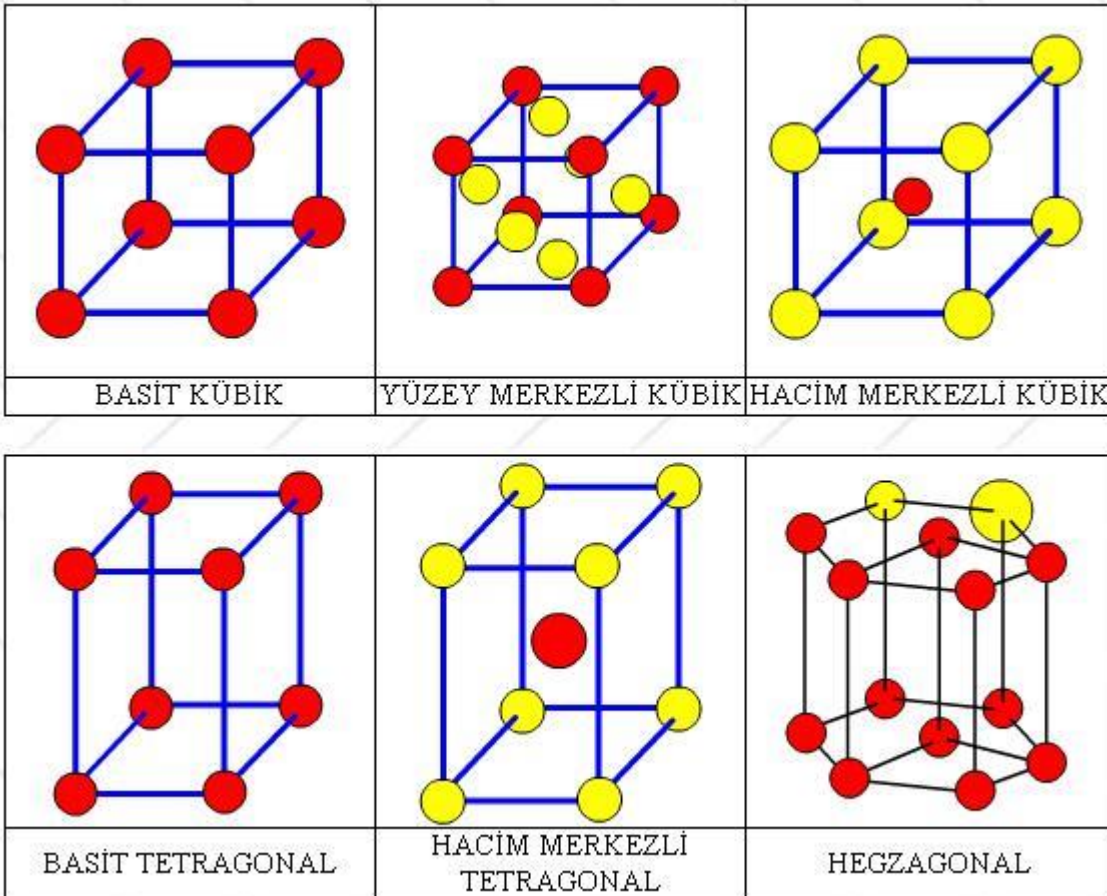
Yedi kristal yapıda gruplanmış 14 tip birim hücre veya Bravais kafesleri bulunmaktadır. Kafes noktaları, birim hücrenin köşelerine ve bazı durumlarda her yüzeyine veya birim hücrenin merkezine yerleştirilmiştir. Bir hücre veya kafesin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

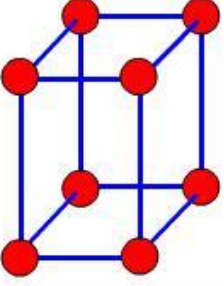
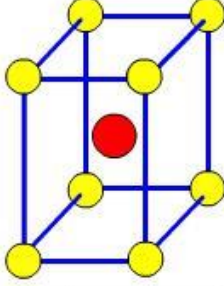
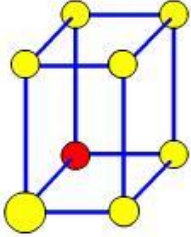
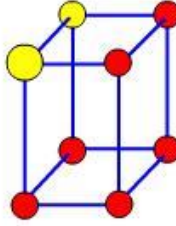
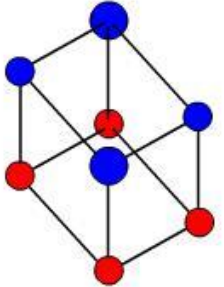
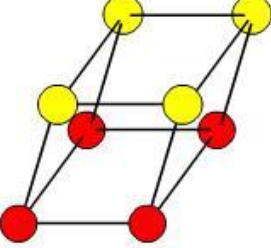
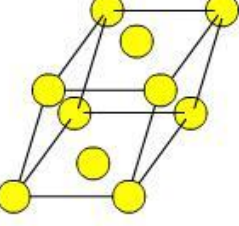
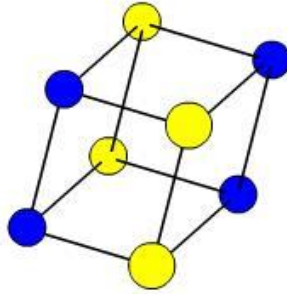


*Kafes, atomların bulunduğu yeri belirleyen noktaların bir periyodik dizilimidir. Birim Hücre (Koyu Çizgi) kafes özelliklerini halen koruyan kafesin bir alt bölümüdür.*

### **KAFES PARAMETRESİ :**


Kafes parametreleri, birim hücrenin boyutunu ve şeklini tarif eder. Birim hücre kenarlarının boyutları ve kenarlar arasındaki açılar bu kapsam içindedir. Aşağıdaki şekilde Basit kübik kristal sistemde, kübün bir kenarının uzunluğu hücreyi tamamen belirlemek için yeterlidir (Bir başka belirleme yapılmadıkça açılar 90° dir). Oda sıcaklığında ölçülen bu uzunluk, kafes parametresi  $a_0$ ' dir. Uzunluk genellikle Angstrom birimi ile ifade edilir. Bu her ne kadar SI birimi olmasa da yaygın bir şekilde kullanılır.



			
BASİT ORTOROMBİK	HACİM MERKEZLİ ORTOROMBİK	TABAN MERKEZLİ ORTOROMBİK	YÜZEY MERKEZLİ ORTOROMBİK
			
ROMBOHEDRAL	BASİT MONOKLİNİK	TABAN MERKEZLİ MONOKLİNİK	TRIKLİNİK

1 Angstrom ( $\text{Å}$ ) =  $10^{-10}$  nm =  $10^{-10}$  m

Karmaşık bir birim hücrenin boyut ve şeklini tanımlamak için birçok kafes parametresi gereklidir. Ortorombik birim hücre için üç kenarın hepsinde  $a_0$ ,  $b_0$ , ve  $c_0$  tanımlanmalıdır. Hegzagonal birim hücrenin iki kenar boyutu  $a_0$  ve  $c_0$  ile  $a_0$  eksenleri arasındaki açının  $120^\circ$  olarak tanımlanması gereklidir. En karmaşık birim hücre üç kenar ve üç açı ile tanımlanan triklirik hücredir.

 Bu resmin boyutları küçültülmüştür. Resmin tam boyutunu görmek için bu yazıya tıklayınız. Orjinal resmin boyutları 771x222 dosya boyutu 48KB.

### Yedi Kristal Sistemin Özellikleri

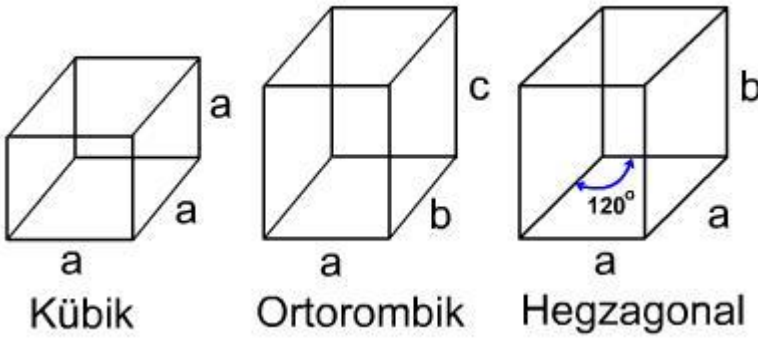
Yapı	Eksenler	Eksenler Arasındaki Açılar
Kübik	$a_1 = a_2 = a_3$	Bütün açılar $90^\circ$ 'ye eşittir.
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq c$	Bütün açılar $90^\circ$ 'ye eşittir.
Ortorombik	$a \neq b \neq c$	Bütün açılar $90^\circ$ 'ye eşittir.
Hegzagonal	$a_1 = a_2 \neq c$	İki açı $90^\circ$ 'ye eşit ve bir açı $120^\circ$ 'ye eşittir.
Rombohedral	$a_1 = a_2 = a_3$	Bütün açılar eşit ve hiçbirisi $90^\circ$ 'ye eşit değildir.
Monoklinik	$a \neq b \neq c$	İki açı $90^\circ$ 'ye eşit ve bir açı $90^\circ$ 'ye eşit değildir.
Triklirik	$a \neq b \neq c$	Bütün açılar farklı ve hiçbirisi $90^\circ$ 'ye eşit değildir.

$a$ ,  $b$ ,  $c$ , aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

### **BİRİM HÜCRELERDEKİ ATOMLARIN SAYISI :**

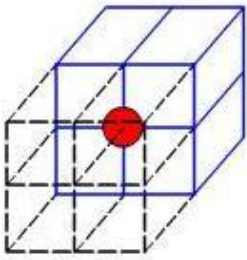
Kafes noktalarının özel bir sayısı birim hücrelerin her birini belirler. Örneğin hücrenin köşegenleri, hacim merkez veya yüzey merkez pozisyonları olarak kolayca belirlenebilir. Her birim hücreye ait kafes noktaları sayılırken, kafes noktalarının birden fazla birim hücre tarafından paylaşıldığı görülebilir.

Bir birim hücrenin köşesindeki kafes noktası bitişik 7 birim hücre tarafından paylaşılır. Her köşenin sadece  $1/8$  i bir hücreye aittir. Bu nedenle, birim hücreye köşeler  $1/8$ , yüzeyler  $1/2$  ve hacim merkezli pozisyonlar 1 atom katkıda bulunur.

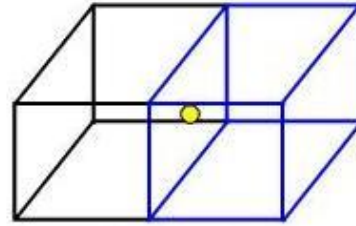


Her bir birim hücredeki atom sayısı, her bir kafes noktasındaki atomların sayısı ve her bir birim hücre kafes noktaları sayısından oluşur. Çoğu metallerde, her kafes noktasına bir atom yerleşmiştir, bu nedenle de atom sayısı kafes noktası sayısına eşittir. Şekil 'de her bir kafes noktasında bir atomlu basit kübik (BK) yüzey merkezli kübik (YMK) ve hacim merkezli kübik (HMK) birim hücre yapıları gösterilmiştir. Çok karmaşık yapılar, özellikle bileşikler ve seramik malzemelerde, birkaç veya hatta yüzlerce atom, her kafes noktası ile ilgili olabilir. Bu durum çok karmaşık bir birim hücre oluşturur.

Bu resmin boyutları küçültülmüştür. Resmin tam boyutunu görmek için bu yazıya tıklayınız. Orjinal resmin boyutları 673x196 dosya boyutu 20KB.



*Köşe atomları sekiz birim hücre tarafından paylaşılır.*



*Yüzey merkezli atomlar iki birim hücre tarafından paylaşılır.*

### **KAFES PARAMETRESİNE KARŞI GELEN ATOMİK YARIÇAP :**

Özellikle her bir kafes noktasında, sadece bir atomu basit yapıda görünen atom boyutu ve birim hücre boyutu arasındaki ilişki hesaplanabilir. Birim hücrede doğrultu, (yön) atomların sürekli temas halinde buldukları doğrultu boyunca yerleştirilmelidir. Bunlar sıkı paket doğrultularıdır. Geometrik olarak, kafes parametresine göre doğrultu boyunun belirlenmesi ve bu doğrultu boyunca atomların yan değerlerinin ilave edilmesi ile ardından ilişki kurulabilir.

### **KOORDİNASYON SAYISI :**

Belirli bir atoma temas eden atomların sayısı veya en yakın komşuların sayısı koordinasyon sayısıdır ve atomların nasıl sıkı ve yoğun bir şekilde paketlenmiş olduğunu gösterir. Her kafes noktasında sadece bir atom içeren basit kristal yapılarda kafes yapısı ile ilişkili bir koordinasyon sayısının varlığı görülür. Şekil 'deki birim hücre incelendiğinde BK kafeste her atom koordinasyon sayısı altı olurken, HMK kafeste her atomun en yakın sekiz komşuya sahip olduğu görülür. İlerde YMK kafeste her atomun maksimum koordinasyon sayısının oniki olduğu gösterilecektir.

### **ATOMİK DOLGU FAKTÖRÜ (ADF) :**

Atomik Dolgu Faktörü (Paketleme faktörü) atomların sert küre olarak kabul edilerek birim hücre hacminin işgal edilen kısmıdır. Paketleme faktörünün genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$ADF = \frac{\text{(Atom sayısı / Hücre) ( Her atomun hacmi)}}{\text{Birim Hücrelerin Hacmi}}$$

Metallerde, YMK birim hücredeki 0.74 ADF mümkün olan en yoğun paketlemedir. ADF, HMK hücrelerde 0.68 BK hücrelerde ise 0.52'dir. Malzemeler atomik bağın bir sonucu olarak düşük ADF' ne sahip olabilir. Sadece metalik bağa sahip olan metaller, mümkün olduğu kadar yoğun paketlenmiştir. Karışık bağlı metaller, maksimum ADF' den daha az birim hücrelere sahip olabilirler. Bilinen mühendislik malzemeleri BK yapıları değildir.

### **YOĞUNLUK :**

Bir metalin teorik yoğunluğu kristal yapının özellikleri kullanılarak da hesaplanabilir. Genel formül :



$$\text{Yoğunluk } p = \frac{(\text{Atom sayısı} / \text{Hücre}) (\text{Her atomun hacmi})}{(\text{Birim hücrelerin hacmi}) (\text{Avagadro sayısı})}$$

### **HEGZOGANAL SIKI PAKET YAPI :**

Şekil ' de hegzagonal kafesin özel bir yapısı olan hegzagonal sıkı paket yapı (HSP) gösterilmiştir. Birim hücre, hegzagonal kafesteki dış hatları çarpık prizmadır. HSP hücrede, her hücre sekiz köşeden bir ve birim hücre içinden bir olmak üzere iki kafes noktasına sahiptir. İdeal HSP metallerde  $a_0$  ve  $c_0$  eksenleri oranı  $c / a = 1.633$ 'tür. Buna karşın çoğu HSP metallerde  $c / a$  oranı, hatalı metalik bağlardan dolayı ideal değerden biraz farklıdır. HSP yapı YMK yapıya benzediği için etkili bir ADF olan 0.74'e sahiptir. Pek çok metal bu yapıdadır.

### **KARMAŞIK KRİSTAL YAPILAR**

Yönlü olmayan metalik bağ durumundan dolayı, metaller genellikle her kafes noktasında bir atom bulunan basit kristal yapılara sahiptir. Buna karşın kovalent ve iyonik bağlı malzemeler ve metalik bileşikler; bağ, iyon boyut farkı ve valans tarafından oluşturulan gerinimleri minimize etmek için çoğu zaman daha karmaşık yapılar oluşturmak zorundadır. Bu bölümde bu yapılardan birkaçı incelenecek olup, daha sonraki bölümlerde seramikler ve polimerlerin bu karmaşık kristal yapılarından bazıları daha detaylı ele alınacaktır.

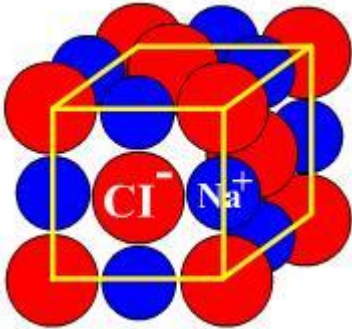
Elmas Kübik (EK) Yapı: Silisyum, germanyum, kalay ve karbon gibi elementler elmas kübik yapıda dört kovalent bağla bağlanarak bir tetrahedron oluştururlar. Dikkat edilirse her silisyum atomu için koordinasyon sayısı dördür.

Bu tetrahedral gruplar birleştirildiğinde büyük bir küp oluşturur Şekil ' de, Bu büyük küp tetrahedral küb boyutunda sekiz küçük kübü içerir. Buna karşın küblerin sadece dördü tetrahedral içerir. Büyük küp, elmas kübik (veya EK) birim hücredir. Kafesi özel bir YMK yapıdadır. Tetrahedral kübün köşelerindeki atomlar, her düzenli YMK kafes noktalarına atom sağlar. Buna karşın tetrahedral kübün merkezindeki atomlardan EK birim hücre içinde dört ilave atom vardır. EK kafesi, her kafes noktasının iki atomla ilgili olduğu, iki atomlu bir YMK birim hücre olarak tanımlanabilir. Bu nedenle her birim hücrede sekiz atom olmak zorundadır.

### **SODYUM KLORÜR VE SEZYUM KLORÜR YAPILAR :**

Bu iyonik bağlı bileşikler, farklı boyuttaki iyonların etkili bir şekilde paketlenmesini sağlarken elektriksel nötrülüğü temin eden kristal yapılar oluşturmak zorundadırlar. İyonik yarıçap oranları koordinasyon sayısını belirler ve yapıyı önemli ölçüde etkiler. Dikkat edilirse, saf metallerde olduğu gibi, atomlar aynı boyuta sahip olduklarından YMK ve HSP yapıları metallerdeki gibi yarıçap oranı 1 ve koordinasyon sayısı 12'dir.

Sodyum iyonlarının yarıçapı 0.97 Å ve klorür iyonları yarıçapı ise 1.81 Å'dır. Yarıçap oranı,  $r_{Na} / r_{Cl} = 0,536$  sodyum klorürdeki iyonların koordinasyon sayısının altı olması gerektiğini gösterir. Sodyum klorürün kristal yapısı, her sodyum iyonunun altı klor iyonu tarafından kuşatılmasını karşılıklı olarak sağlamak zorundadır. Aşağıdaki şekil de, sodyum klorür yapıyı göstermektedir. Bu her kafes noktasında iki iyonlu (bir sodyum ve bir klorür) bir YMK yapı olarak görülebilir. Klorür iyonları, normal YMK kafes noktalarında yerleşmişlerdir ve sodyum iyonları, kübün kenarlarında ve küp merkezinde yerleşirler.



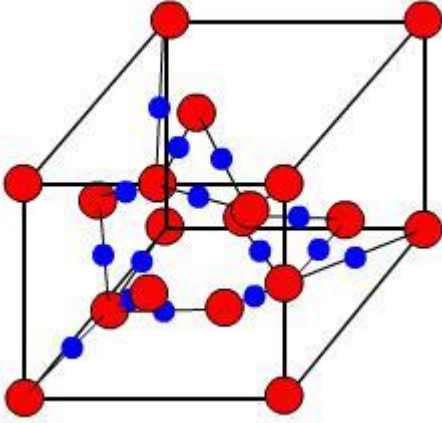
Şekil Sodyum klorür yapı, her kafes noktasında iki iyonlu bir YMK birim hücredir.

Sezyum iyonlarının yarıçapı 1.67 Å'dır. Sezyum iyonlarının klor iyonlarına atomik yarıçap oranı  $r_{Cs} / r_{Cl} = 0.922$ 'dir ve koordinasyon sayısının sekiz olması gerektiğini gösterir. Şekil 3-23' de, sezyum klorürün kristal yapısı iki iyonlu (bir sezyum ve bir klorür) her kafes noktasında bu gerekliliği karşılayan bir BK yapıdır.

### **KRİSTAL SİLİKA :**

Silika veya SiO<sub>2</sub> pek çok yapısında kısmen kovalent ve kısmen iyonik bağı bir kristal yapıya sahiptir. Silisyum ve oksijenin sırasıyla iyonik yarıçapları 0.42 Å ve 1.32 Å'dır. Bu nedenle yarıçap oranları  $r_{Si}/r_O = 0.318$ ' dir ve koordinasyon sayısı dördür.

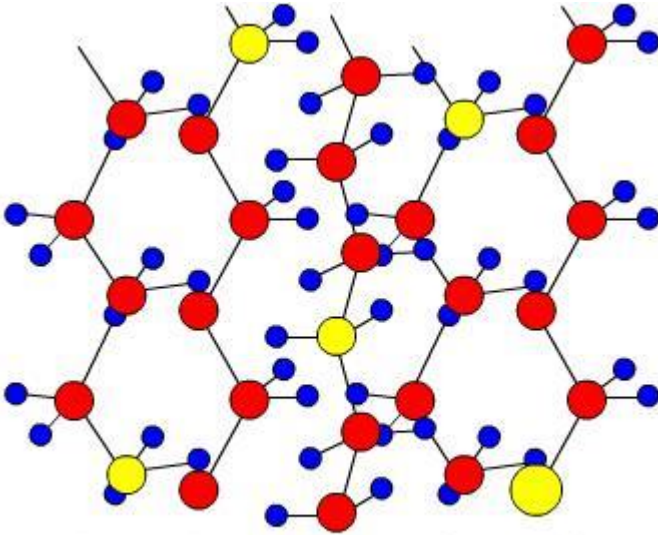
Şekilde silikanın yapılarından birisi, (3 kristobaliti göstermektedir. Bu bir karmaşık YMK yapısıdır.



*Silisyum ve Oksijenin tetrahedral yapısı ve bunların  $\beta$  kristobaliti yapısını oluşturmak için bir araya gelmesi.*

### **KRİSTALLEŞMİŞ POLİMERLER :**

Pek çok sayıda polimer bir kristal yapı oluşturabilir. Aşağıdaki şekilde polietilen için birim hücreyi göstermektedir. Karbon ve hidrojen atomlarından oluşan zincirler bir ortorombik birim hücre oluşturmak için birlikte paketlenir. Naylonu da içeren bazı polimerler pekçok allotropik yapıya sahip olabilir.



*Kristal Polietilenin Birim Hücresi*

### **ÖZET :**

Katı malzemelerde atomlar kısa mesafeli veya uzun mesafeli düzende dizilmişlerdir. Birçok polimer ve cam gibi amorf malzemeler, öncelikle kovalent bağın sınırlaması nedeniyle, sadece kısa mesafeli bir dizilme düzenine sahiptir. Metalleri ve pek çok seramiği de içeren kristal malzemeler, hem uzun hem de kısa mesafeli atomik dizilme düzeni oluştururlar. Bu malzemelerde uzun mesafeli periyodik dizilme düzeni kristal yapı ile tanımlanır.

Özellikle metallerin, genel mekanik özellikleri ve malzeme davranışları kristal yapılarıyla çok yakından ilgilidir. Gelecek bölümde görüleceği gibi YMK yapılı metaller normal olarak yumuşak ve sünektir, HMK yapılı metaller daha sağlamdır ve HSP yapılı metaller nispeten kırılma eğilimindedir. Şekil değiştirmede kristal yapının rolü, yine gelecek bölümde incelenerek metallerin davranışlarındaki farklılıklar açıklanmaya çalışacaktır.

# KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirinden oldukça farklılık arz etmektedir. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda verilmiştir

## Üniform korozyon (Genel korozyon)

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir Üniform korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir.

## Çukur korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir.

## Galvanik korozyon

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona çok rastlanır. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar.

## **Çatlak korozyonu**

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur.

Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeyinde bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir.

## **Kabuk altı korozyonu**

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon kabuk altının rutubetli olmasından ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Çünkü kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Bu durum çatlak korozyonuna benzer bir ortam yaratır. Kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur. Örneğin, boru yüzeylerini izole etmek amacı ile sarılan cam pamuğu yağış nedeniyle ıslanırsa, bu bölgelerde şiddetli bir kabuk altı korozyonu başlar.

## **Filiform korozyonu**

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir.

## **Seçimli korozyon**

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır.

## **Taneler arası korozyon**

Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür.

## **Erozyonlu korozyon**

Korozif çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, (borular, dirsekler, valfler, pompalar, santrifüjler, pervaneler, karıştırıcılar, ısı değiştiriciler vb.) söz konusu olabilir.

## **Aşınmalı korozyon**

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte yürüyen korozyon olaylarına aşınmalı korozyon denir.

Aşınmalı korozyon daha çok metallerin yığın halinde uzun mesafelere taşınmaları sırasında ve yumuşak bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür. Aşınmalı korozyonun oluşması için ortamda suyun bulunmasına gerek yoktur.

## **Stres korozyonu**

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur.

## **Yorulmalı korozyon**

Periyodik olarak yükleme - boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur.

## **Kaçak akım korozyonu**

Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makinaları zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar. Örneğin bir yeraltı tren hattına paralel giden boru hattında kaçak akım korozyonu meydana gelebilir.

## **Mikrobiyolojik korozyon**

MIC (mikrobiyolojik etkiden kaynaklanan korozyon veya mikrobiyolojik korozyon, microbiological influenced corrosion), mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkarılan MIC'in, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır.

MIC, metal ve yapı malzemelerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Dünya genelinde MIC'in direkt olarak sebep olduğu zararın yıllık 30 - 50 Milyar \$ mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. ABD sanayi, boru hatlarında meydana gelen korozyonun % 15-30'unu oluşturan MIC ile mücadele etmek amacıyla, sadece doğal gaz endüstrisinde yılda 1,2 Milyar \$ harcama yapmaktadır.

MIC, özellikle enerji ve petrol sanayiinde, mikrobiyolojik korozyondan kaynaklanan yangın problemleri gibi zaman zaman ciddi hasarlarla sonuçlanan bir çok soruna yol açmaktadır.

Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar.