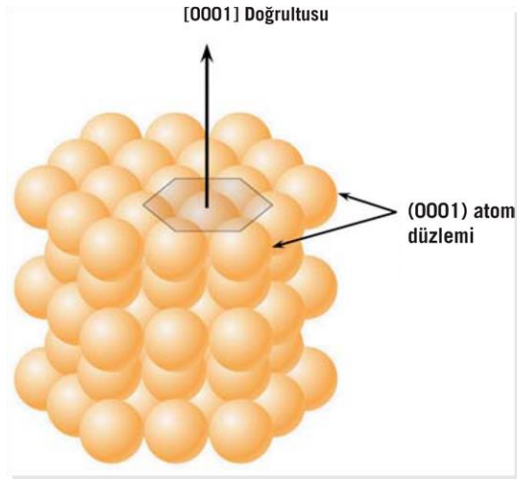
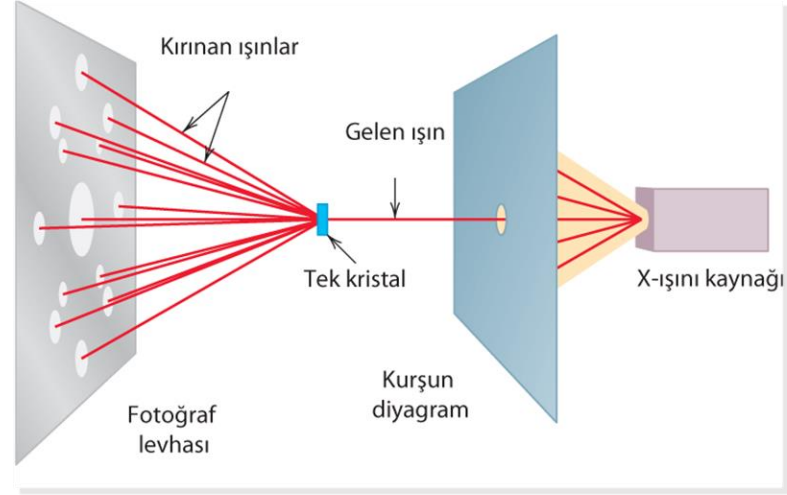


# Bölüm 3 Katılarda Kristal Yapılar

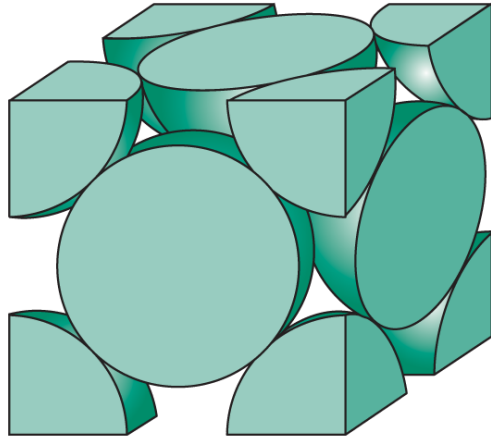


# Kristal Yapılar

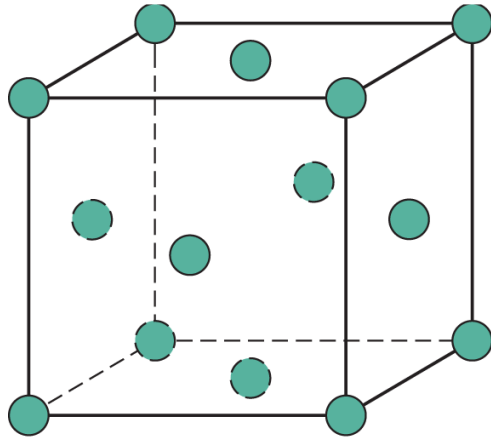
---

## 3.2 TEMEL KAVRAMLAR

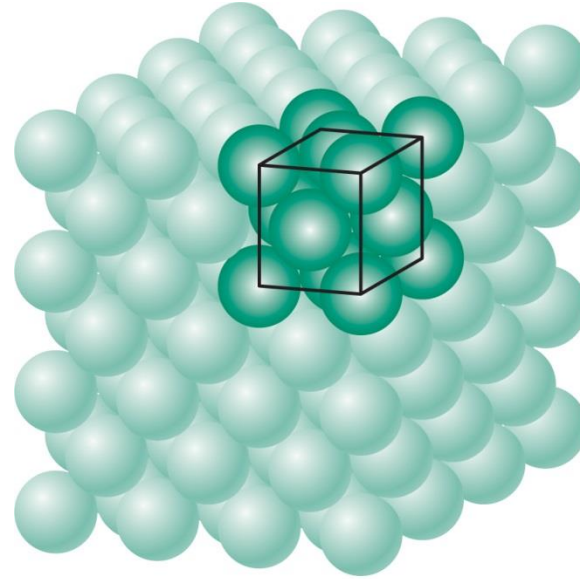
- Bir **kristal** malzemedede uzun-aralıkta düzen mevcuttur.
- Kristal katıların bazı özellikleri, malzemelerin **kristal yapılarına**, yani atomların, iyonların ya da moleküllerin üç boyutlu olarak meydana getirdikleri düzene bağlıdır.
- Bazen kristal yapılardan bahsedilirken **kafes** terimi kullanılır. *Kafes* ya da kristal kafes terimi, kristal yapılarda, atomların, üç boyutlu dizilişlerinde, buldukları yerlere (ya da küre merkezlerine) karşılık gelen noktaları ifade eder.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 3.1** Yüzey-merkezli kübik kristal yapı için, (a) Katı-küre birim hücre gösterimi (b) (bütün atomların buldukları yerlerin görünürlüğü açısından) küçük küre birim hücre gösterimi ve (c) bir grup atomun oluşturduğu bir hacim ve bu hacmin bir köşesinde birim hücrenin gösterimi [Şekil (c) W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, s. 51 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons, New York ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.]

## 3.3 BİRİM HÜCRE

- Kristal yapılarda bulunan atomsal düzen, yapının bir grup atomdan oluşan küçük bir birimin tekrar etmesi ile oluştuğuna işaret eder. Bu açıdan kristal yapıları tanımlamak ve anlatmak için, **birim hücre** olarak adlandırılan, kristalin tekrar eden bu en küçük ögesinin kullanılması kolaylık sağlar.

# 3.4 METALLERDE KRİSTAL YAPILAR

## Yüzey-Merkezli Kübik Kristal Yapı

**Tablo 3.1** Bazı Metallerin Atom Yarıçapları ve Kristal Yapıları

<i>Metal</i>	<i>Kristal Yapı<sup>a</sup></i>	<i>Atom Yarıçapı<sup>b</sup> (nm)</i>	<i>Metal</i>	<i>Kristal Yapı</i>	<i>Atom Yarıçapı (nm)</i>
Alüminyum	YMK	0,1431	Molibden	HMK	0,1363
Kadmiyum	HMK	0,1490	Nikel	YMK	0,1246
Krom	HMK	0,1249	Platin	YMK	0,1387
Kobalt	SPH	0,1253	Gümüş	YMK	0,1445
Bakır	YMK	0,1278	Tantal	HMK	0,1430
Altın	YMK	0,1442	Titanyum ( $\alpha$ )	SPH	0,1445
Demir ( $\alpha$ )	HMK	0,1241	Volfram	HMK	0,1371
Kurşun	YMK	0,1750	Çinko	SPH	0,1332

<sup>a</sup>YMK = yüzey-merkezli kübik; SPH = sıkı-paket hekzagonal; HMK = hacim-merkezli kübik.

<sup>b</sup>Bir nanometre (nm)  $10^{-9}$ m'ye eşittir. Nanometreyi angström (Å) birimine dönüştürmek için, nanometre 10 ile çarpılır.

- Birçok metalde bulunan bir kristal yapı, bütün köşelerinde ve yüzey merkezlerinde birer atomun bulunduğu, kübik geometride bir birim hücreye sahiptir.
- Uygun bir şekilde **yüzey-merkezli kübik** (YMK) kristal yapı olarak adlandırılmıştır. Bakır, alüminyum, gümüş ve altın gibi iyi bilinen bazı metaller YMK yapıya sahiptir ([Tablo 3.1](#)).

Yüzey-merkezli kübik  
yapı için birim hücre  
kenar uzunluğu

$$a = 2R\sqrt{2} \quad (3.1)$$

- **Koordinasyon sayısı** ve **atomsal dolgu faktörü (ADF)** kristal yapılar için önemli diğer iki özelliktir.
- Metallerde her atomun **koordinasyon sayısı** aynıdır.
- **ADF**, birim hücredeki bütün atomların, katı-küre modeline göre, birim hücre içinde kalan toplam küresel hacimlerinin, birim hücre hacmine oranıdır.

**Atomsal dolgu  
faktörünün tanımı**

$$\text{ADF} = \frac{\text{birim hücredeki atomların hacmi}}{\text{birim hücre hacmi}} \quad (3.2)$$

# Hacim-Merkezli Kübik Kristal Yapı

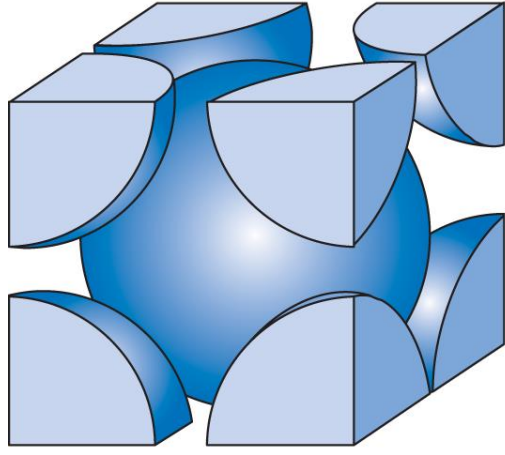
- Metallerde yaygın olarak bulunan bir diğer kristal yapı; hacim merkezinde bir ve köşelerinde sekiz atomun bulunduğu, kübik bir birim hücreye sahip olan **hacim-merkezli kübik (HMK)** yapısıdır.

Hacim-merkezli kübik yapı için birim hücre kenar uzunluğu

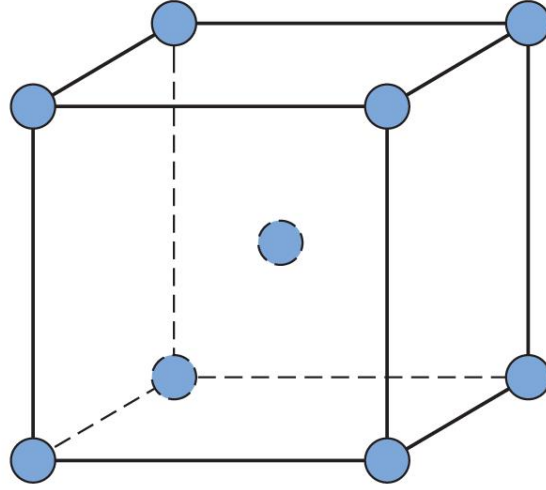
$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

(3.3)

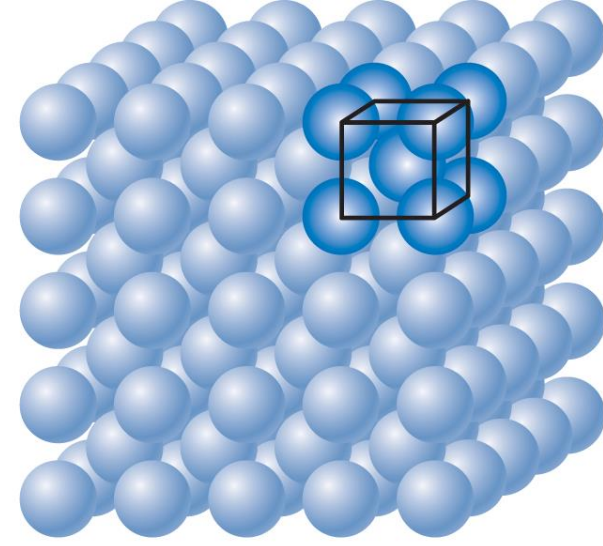




(a)



(b)

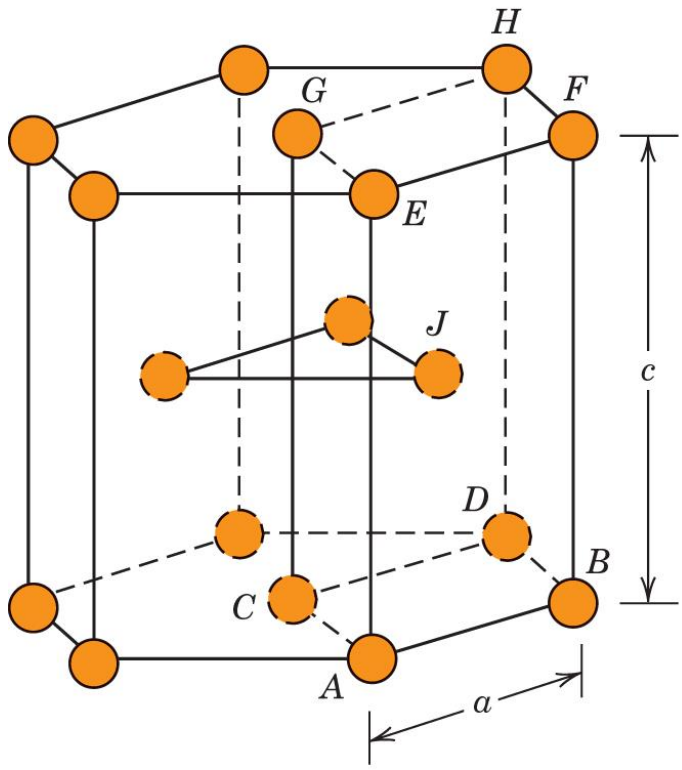


(c)

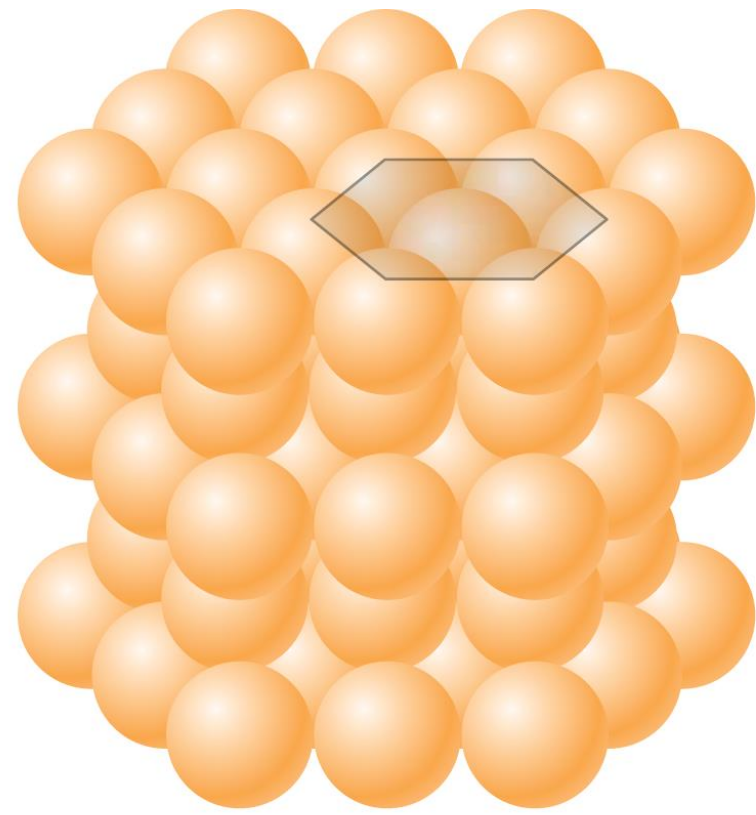
**Şekil 3.2** Hacim-merkezli kübik yapı için (a) katı-küre birim hücre, (b) küçük-küre birim hücre gösterimi (c) bir grup atomun bir arada bulunduğu hacim [Şekil (c) W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p.51 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.]

# Sıkı Paket Hekzagonal Kristal Yapı

- Bazı metallerin birim hücrelerinde kübik simetri bulunmaz. Ele alınacak son kristal yapı hekzagonal bir birim hücreye sahiptir. [Şekil 3.3a](#)'da **sıkı-paket hekzagonal (SPH)** yapı olarak adlandırılan bu yapının birim hücresi küçük-küreler ile gösterilmiştir. [Şekil 3.3b](#)'de ise SPH birim hücrelerinden oluşmuş bir hacim gösterilmiştir.



(a)



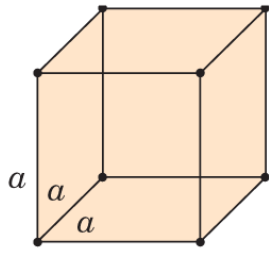
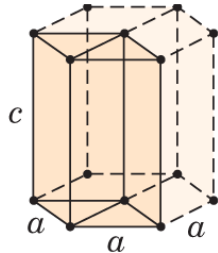
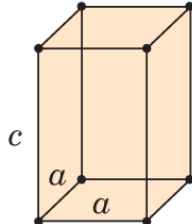
(b)

**Şekil 3.3** Sıkı-paket hekzagonal yapıda (a) küçük-küre birim hücre gösterimi ( $a$  ve  $c$  sırasıyla kısa ve uzun kenar uzunluklarını göstermektedir) (b) bir grup atomun bir arada bulunduğu bir hacim. [Şekil (b) W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p.51 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.]

## 3.7 KRİSTAL SİSTEMLER

- Birim hücre geometrisi, kenar uzunlukları  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve iç açıları  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 'dan oluşan altı parametre yardımıyla tam olarak tanımlanır. **Kafes parametreleri** olarak da adlandırılan bu parametreler [Şekil 3.4](#)'te gösterilmiştir.
- $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 'nın, her biri ayrı bir **kristal sistemi** temsil eden, yedi farklı kombinasyonu vardır (bk. [Tablo 3.2](#)).

**Tablo 3.2** Yedi Kristal Sisteminin Birim Hücre Geometrileri ve Kafes Parametreleri Arasındaki İlişki

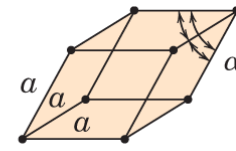
<i>Kristal Sistem</i>	<i>Eksenel İlişki</i>	<i>Eksenler Arası Açı İlişkisi</i>	<i>Birim Hücre Geometrisi</i>
Kübik	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hekzagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	

Devam ediyor...

Rombohedral  
(Trigonal)

$$a = b = c$$

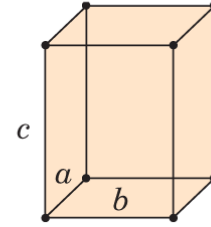
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



Ortorombik

$$a \neq b \neq c$$

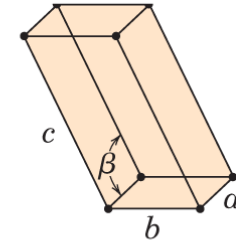
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Monoklinik

$$a \neq b \neq c$$

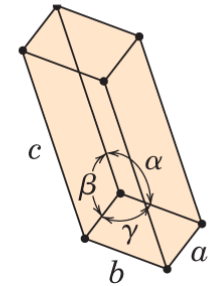
$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$



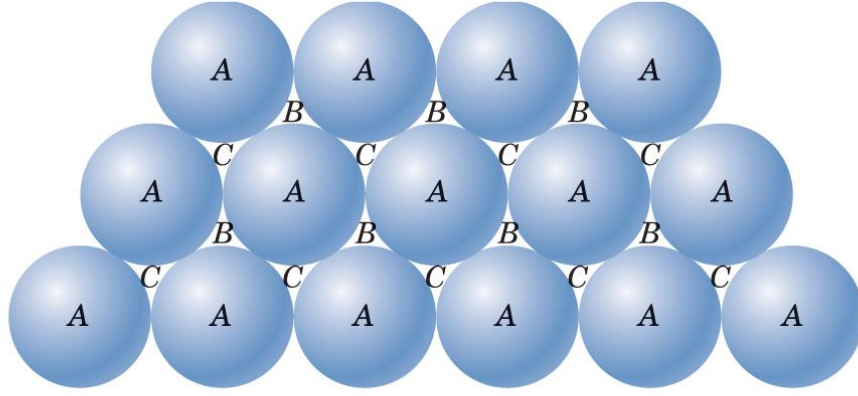
Triklinik

$$a \neq b \neq c$$

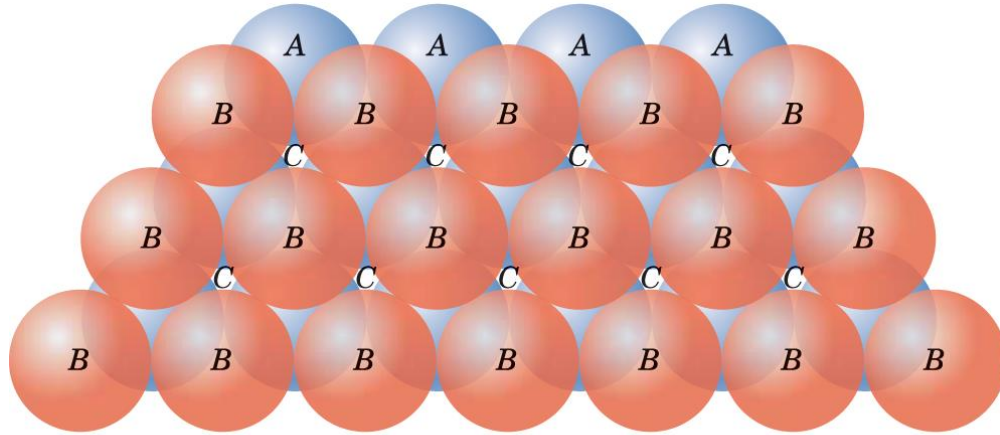
$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



## 3.12 SIKI-PAKET KRİSTAL YAPILAR

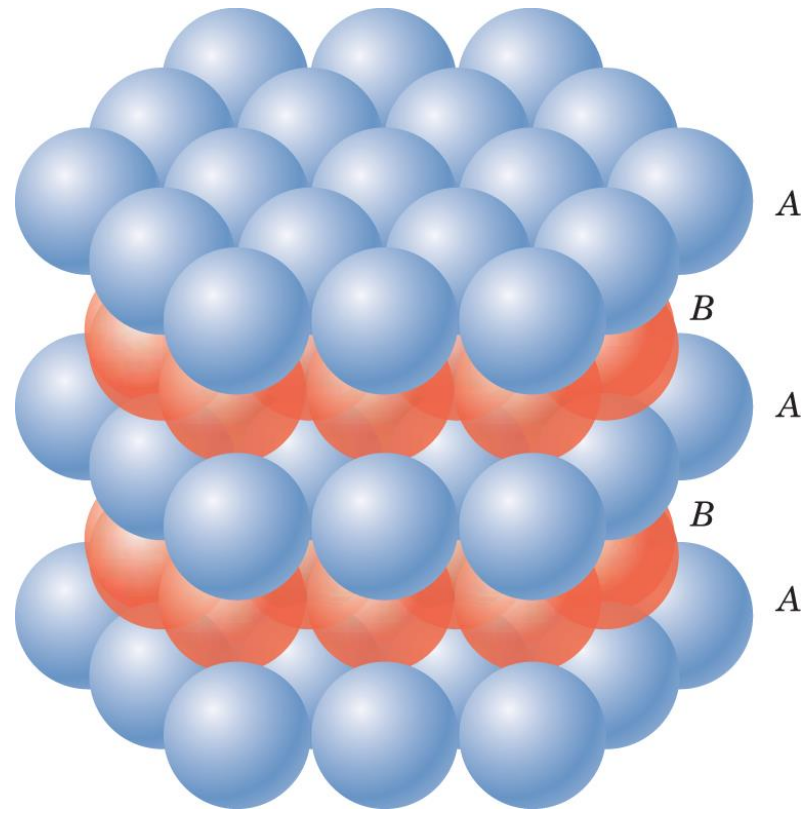


(a)



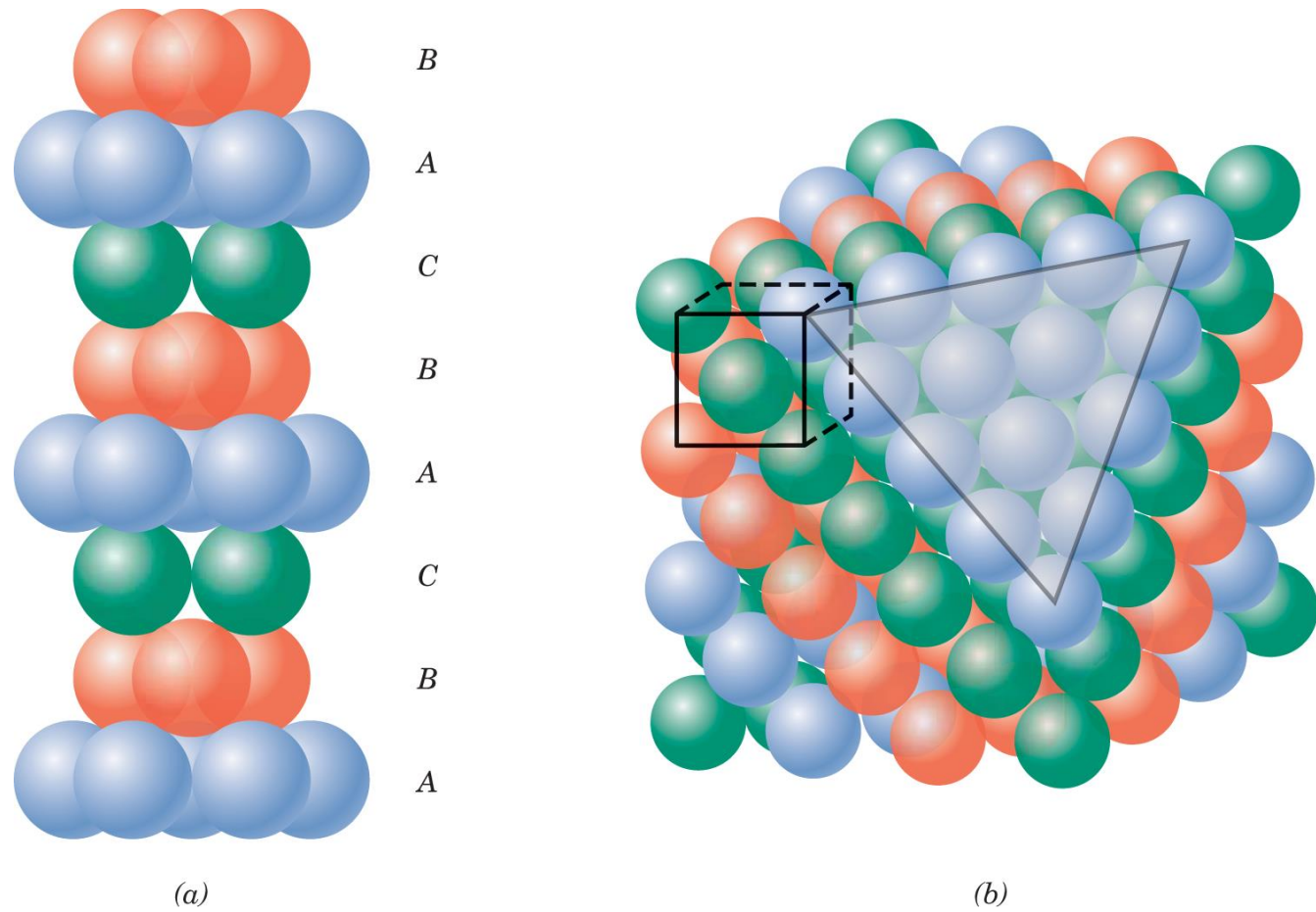
(b)

**Şekil 3.14** (a) Üzerinde  $A$ ,  $B$  ve  $C$  konumlarının gösterildiği bir sıkı-paket atom düzlem parçası. (b) Dizilme sırası  $AB$  olan iki sıkı-paket atom düzlemi. (W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, p. 50 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)



**Şekil 3.15** Sıkı-Paket hekzagonal yapıda sıkı-paket düzlemlerin dizilme sırası (W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p.51 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)





**Şekil 3.16** (a) Yüzey-merkezli kübik yapıda sıkı-paket düzlemlerin dizi sırası. (b) Sıkı-paket atom düzlemleri ile oluşturulan küp şeklindeki hacmin, bir köşesindeki atomlar, sıkı-paket atom düzlemlerinin YMK kristal yapıda nasıl bulunduğu gösterilmesi açısından kaldırılmıştır. Şekildeki üçgen ile bir (111) düzlemi belirtilmiştir. [Şekil (b), W.G. Moffatt, G.W. Pearsall, and J. Wuff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p.51 (1964) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.]

# Kristal Yapılı Olan ve Olmayan Malzemeler

---

## 3.13 TEK KRİSTALLER

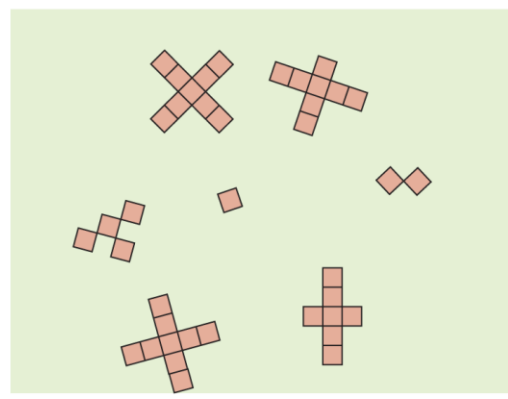
- Kristal yapılı bir katıda, tekrar eden atom düzeninin, numunenin tamamı boyunca kesintisiz devam etmesi durumunda **tek kristal** yapı meydana gelir.



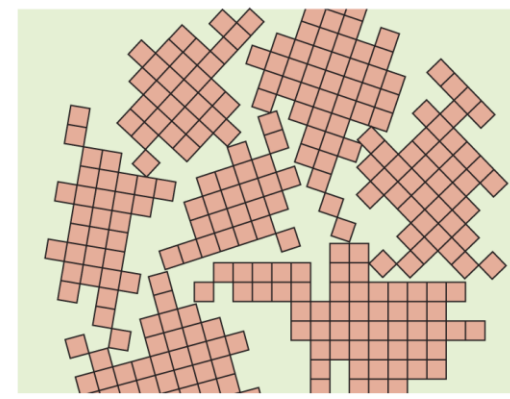
**Şekil 3.17** Çin'in Fujian Eyaletinde, Tongbei şehrinde bulunmuş bir tek kristal lal taşının fotoğrafı. (Irocks.com'un izniyle Megan Foreman tarafından çekilmiş bir fotoğraf)

## 3.14 ÇOK KRİSTALLİ MALZEMELER

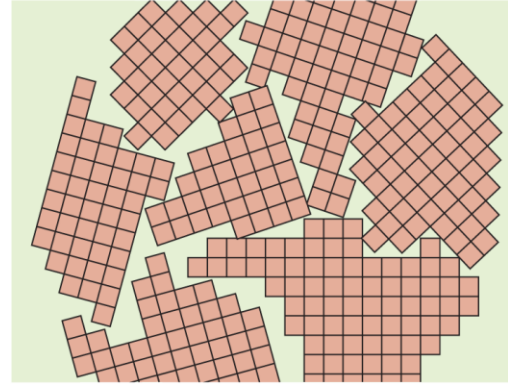
- Kristal katıların çoğu, çok sayıda küçük kristalden ya da **tane**den meydana gelmiştir. Böyle malzemeler **çok-kristal** olarak adlandırılır.
- [Şekil 3.18](#)'de çok kristalli bir malzemenin katılaşma evreleri şematik olarak gösterilmiştir.
- Tanelerin birbirlerine temas ettikleri bölgelerde atomsal olarak düzensizlik söz konusudur ve bu bölgeler **tane sınırı** olarak adlandırılır.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.18** Çok kristalli bir malzemenin çeşitli katılaşma evreleri. Küçük kareler birim hücreleri gelişigüzel temsil etmektedir. (a) Küçük kristal çekirdekleri. (b) Kristallerin büyümesi; komşu olan tanelerin birbirlerini engellemeleri de görülmektedir. (c) Katılaşmanın sonuna doğru gelişigüzel şekillere sahip tanelerin oluşması (d) Metallografik inceleme sırasında mikroskop altında görülebilecek muhtemel tane yapısı. Koyu çizgiler tane sınırlarını göstermektedir. (W. Rosenhain, *An Introduction to Study of Physical Metallurgy*, 2nd edition, Constable & Company Ltd., Londra, 1915.)

## 3.15 ANİZOTROPİ

- Bazı malzemelerin tek kristallerinde fiziksel özellikler, ölçümün gerçekleştirildiği kristal doğrultulara göre değişir. Örneğin, elastiklik modülü, elektrik iletkenliği ve kırınım indeksi [100] ve [111] doğrultularında farklı değerler alabilir. Özelliklerin bu şekilde yöne bağlı olması **anizotropi** olarak adlandırılır ve kristal doğrultularda atom veya iyon dizilişlerinin (atom ya da iyonlar arası mesafenin) farklı olmasından kaynaklanır.
- Özelliklerin yönden bağımsız olduğu malzemeler **izotropik** olarak adlandırılır.