

Sekizinci Baskıdan Çeviri  
Eighth Edition

# Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

## Materials Science and Engineering

Çevirenler  
Prof. Dr. Cuma BİNDAL  
Prof. Dr. Kenan GENEL  
Prof. Dr. Mehmet DEMİRKOL  
Prof. Dr. Recep ARTIR  
Doç. Dr. Mustafa BAKKAL  
Yrd. Doç. Dr. S. Ahmet PARASIZ

**WILLIAM D. CALLISTER**

**DAVID G. RETHWISCH**

*gözden geçirilmiş yeni basım*

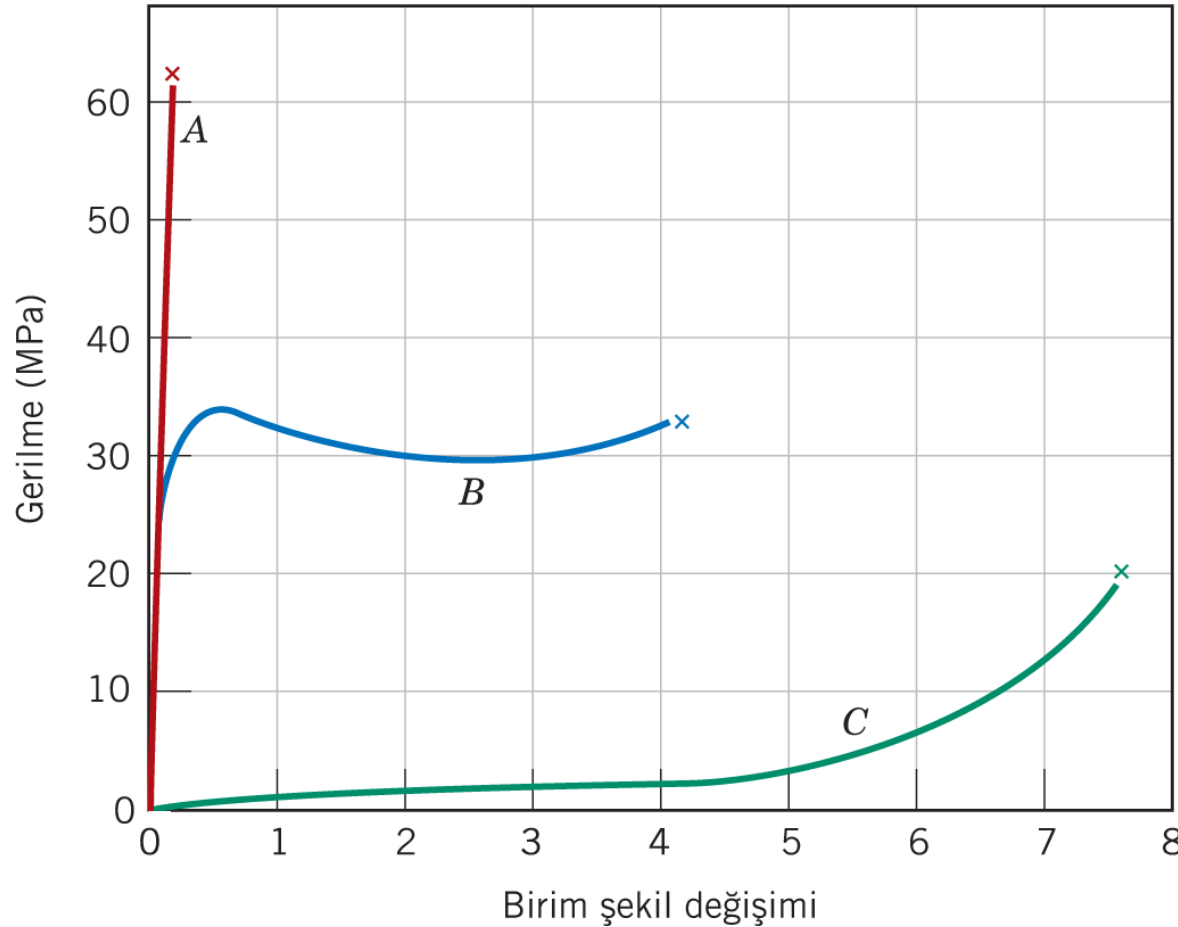
Çeviri Editörü: Prof. Dr. Kenan GENEL





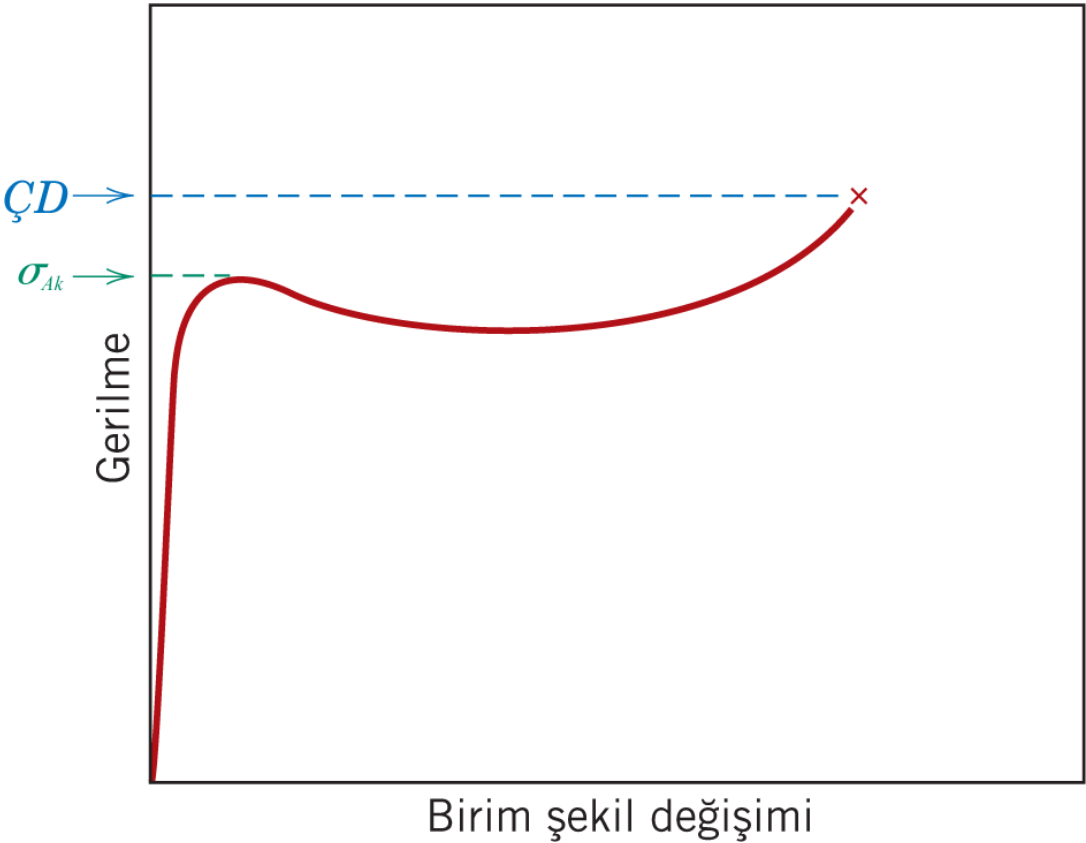
# Polimerlerin Mekanik Özellikleri

## 15.2 GERİLME-BİRİM ŞEKİL DEĞİŞİMİ DAVRANIŞI



**Şekil 15.1** Farklı özellikteki polimer malzemelerin gerilme - birim şekil değişimi davranışı. Gevrek (*A* eğrisi), plastik (*B* eğrisi) ve elastik (elastomer) (*C* eğrisi) polimer.

- *A* eğrisi, neredeyse tamamen elastik şekil değişimiyle hasara uğrayan, gevrek bir polimere aittir. *B* eğrisi, pek çok metalde de görüldüğü gibi, başlangıçtaki elastik davranışı akma ve sonrasında plastik şekil değişiminin izlediği bir polimere aittir. Son olarak *C* eğrisi, **elastomer** adı verilen ve kauçuğa benzer, tamamen elastik (düşük gerilme değerlerinde büyük geri dönüşümlü şekil değiştirmelerin olduğu) davranış gösteren bir polimere aittir.



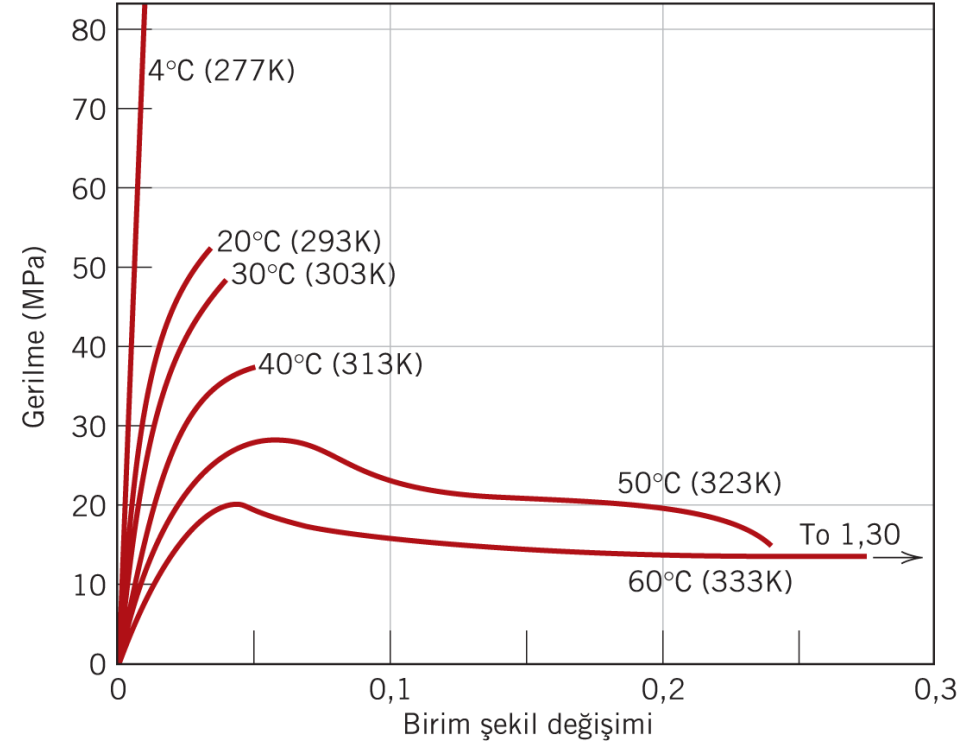
**Şekil 15.2** Plastik bir polimerin akma ve çekme dayanımlarının nasıl bulunacağını gösteren şematik bir gerilme-birim şekil değişimi eğrisi

**Tablo 15.1** Yaygın Olarak Bilinen Bazı Polimerlerin Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri

<i>Malzeme</i>	<i>Özgül Yoğunluk</i>	<i>Çekme Modülü [GPa]</i>	<i>Çekme Dayanımı [MPa]</i>	<i>Akma Dayanımı [MPa]</i>	<i>Kopma Anındaki Uzama (%)</i>
Polietilen (Düşük yoğunluklu)	0,917–0,932	0,17–0,28	8,3–31,4	9,0–14,5	100–650
Polietilen (Yüksek yoğunluklu)	0,952–0,965	1,06–1,09	22,1–31,0	26,2–33,1	10–1200
Poli (vinil klorür)	1,30–1,58	2,4–4,1	40,7–51,7	40,7–44,8	40–80
Politetrafloretilen	2,14–2,20	0,40–0,55	20,7–34,5	13,8–15,2	200–400
Polipropilen	0,90–0,91	1,14–1,55	31–41,4	31,0–37,2	100–600
Polistiren	1,04–1,05	2,28–3,28	35,9–51,7	25,0–69,0	1,2–2,5
Poli (metil metakrilat)	1,17–1,20	2,24–3,24	48,3–72,4	53,8–73,1	2,0–5,5
Fenol - formaldehit	1,24–1,32	2,76–4,83	34,5–62,1	—	1,5–2,0
Naylon 6.6	1,13–1,15	1,58–3,80	75,9–94,5	44,8–82,8	15–300
Polyester (PET)	1,29–1,40	2,8–4,1	48,3–72,4	59,3	30–300
Poli karbonat	1,20	2,38	62,8–72,4	62,1	110–150

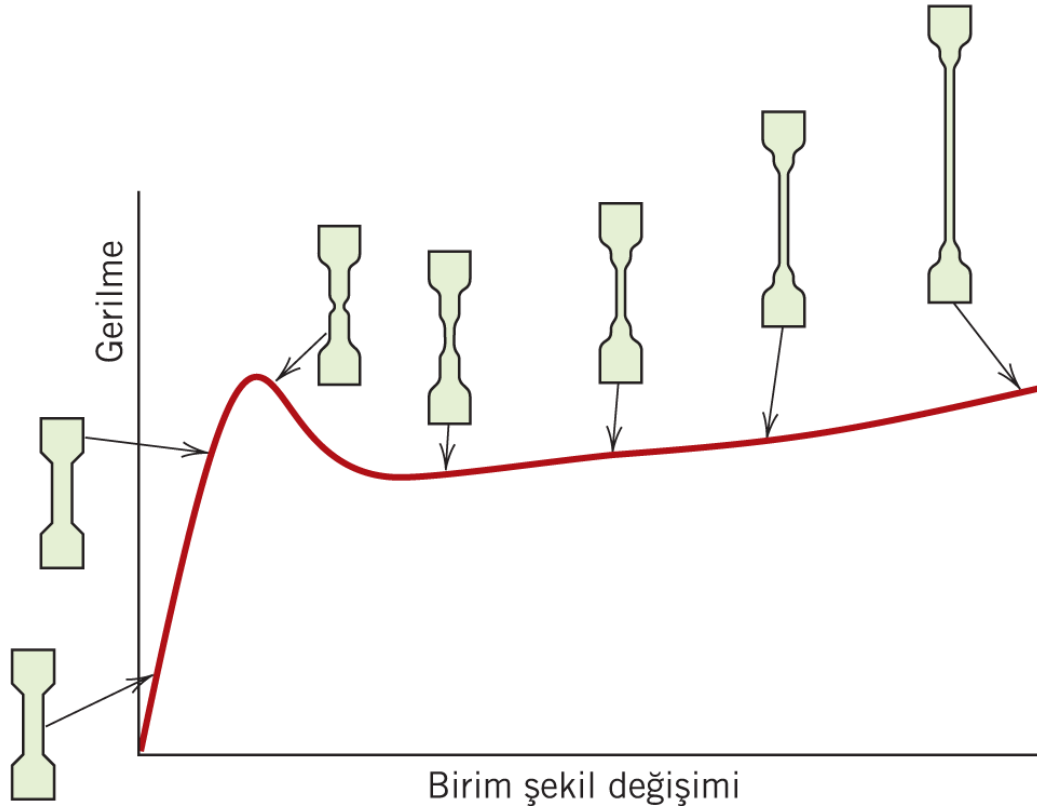
**Kaynak:** *Modern Plastics Encyclopedia '96*. (1995) Yayın hakkı McGraw-Hill Şirketine ait olup McGraw-Hill Book izni ile basılmıştır.





**Şekil 15.3** Sıcaklığın Poly(metil metakrilat)'ın gerilme-birim şekil değişimi özelliklerine etkisi. (T. S. Carswell and H. K. Nason, "Effect of Environmental Conditions on the Mechanical Properties of Organic Plastics," *Symposium on Plastics*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1944) Yayın hakkı ASTM'e ait olup ASTM'nin izni ile basılmıştır.)

## 15.3 MAKRO ÖLÇEKTE ŞEKİL DEĞİŞTİRME



**Şekil 15.4** Yarı kristale sahip polimerin şematik gerilme - birim şekil değişimi eğrisi. Numunenin şeklinde meydana gelen şekil değişimi değişik durumlar için verilmiştir. (Jerold M. Schultz, *Polymer Materials Science*, 1974 p. 488. Yayın hakkı Prentice Hall Firmasına ait olup Prentice Hall izni ile basılmıştır.)

Şekil 15.13

www.nobelyayin.com

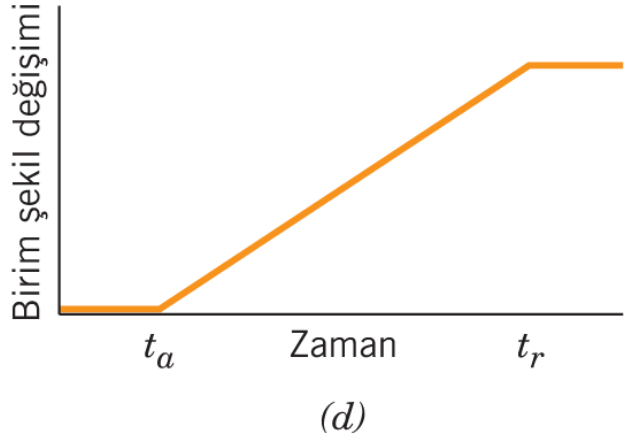
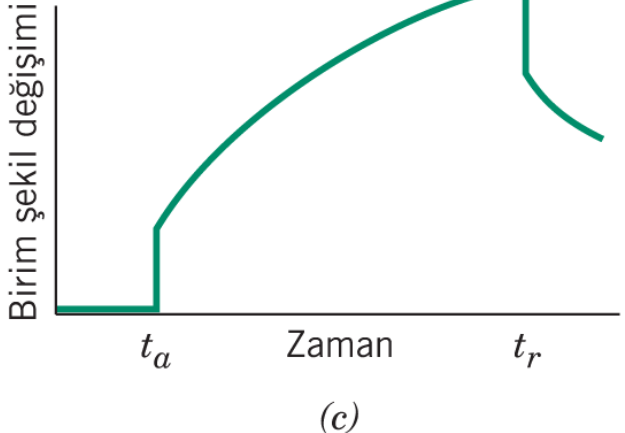
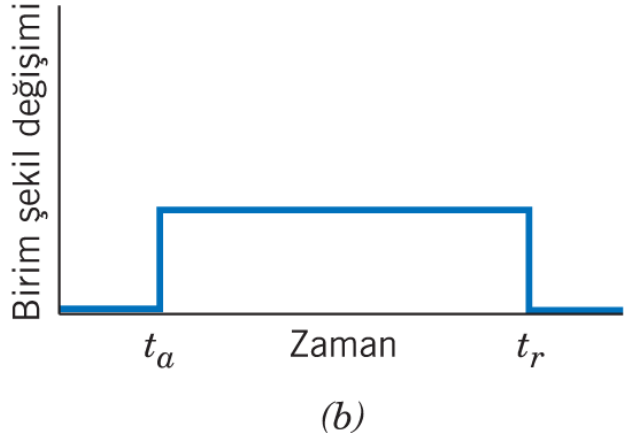
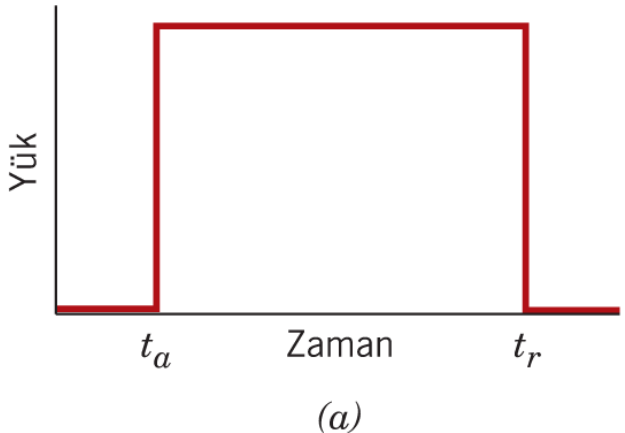




## 15.4 VISKOELASTİK ŞEKİL DEĞİŞTİRME

- Çok yüksek sıcaklık değerlerinde, viskoz veya sıvı gibi davranma eğilimi ortaya çıkar. Ara sıcaklık değerlerinde ise polimer bu iki uç mekanik özelliklerin bileşkesi olan kauçuğa benzer bir katı davranışı gösterir ve buna **viskoelastik davranış** adı verilir.

**Şekil 15.5** (a) Yü­kün zamanla de­ğişimi, burada yük  $t_a$ 'da uygulanıp  $t_r$ 'de kaldırılmıştır. (a)'daki yük-zaman de­ğişiminin birim şekil de­ğişimi-zaman cevabı (b)'de tamamen elastik, (c)'de viskoelastik ve (d)'de viskoz davranış için gösterilmiştir.



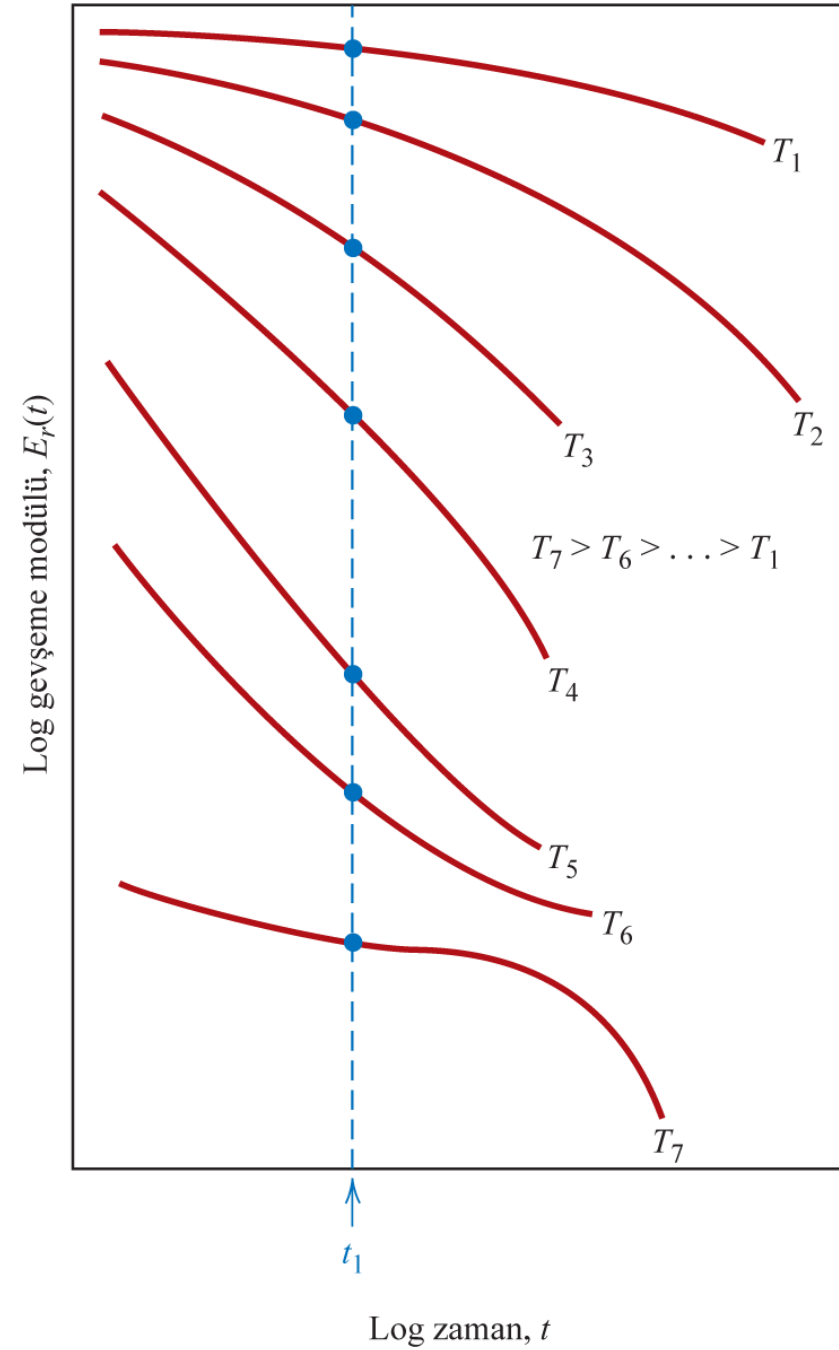
# Viskoelastik Gevşeme Modülü

- **Gevşeme modülü**,  $E_r(t)$ , viskoelastik polimerler için zamana bağlı bir elastik modül olup, aşağıdaki denklem ile belirlenir:

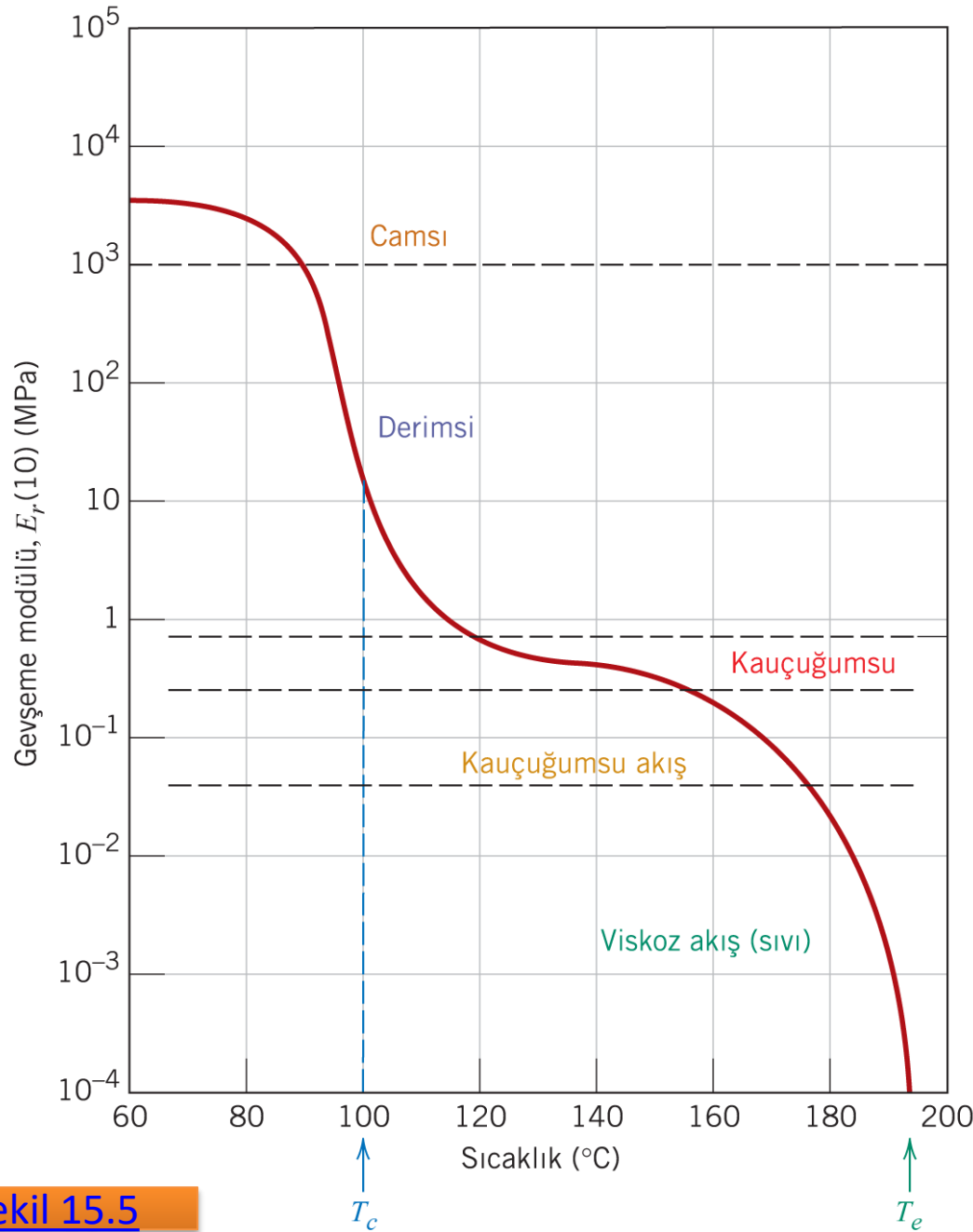
Zamana bağlı gerilme değerinin, sabit birim şekil değişimine oranı

$$E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0} \quad (15.1)$$

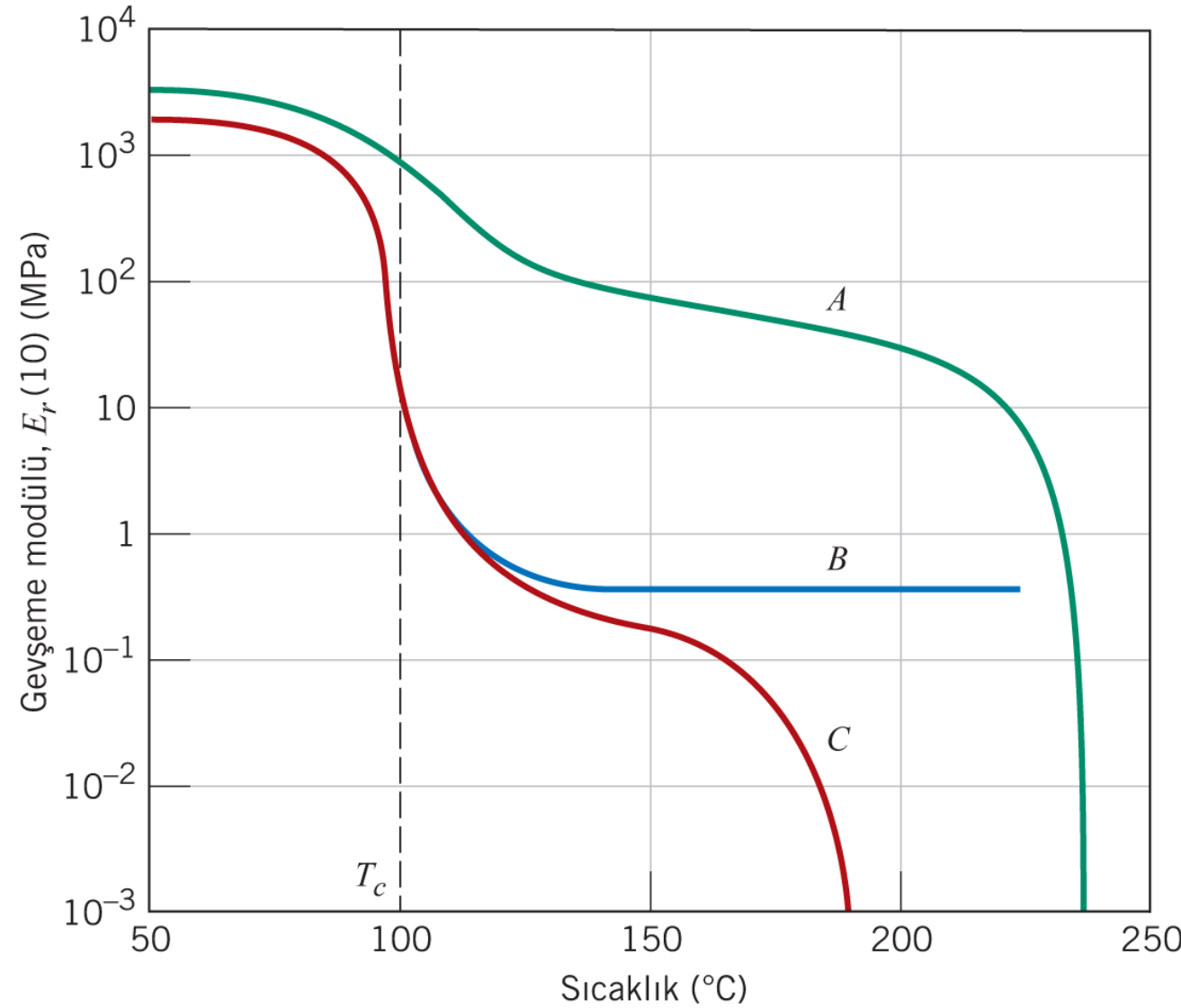
**Şekil 15.6** Bir viskoelastik polimerin,  $E_r(t)$  'nin, logaritmik ölçekteki zamana bağlı davranışının şematik gösterimi, eş sıcaklık eğrileri  $T_1$  'den  $T_7$  'ye kadar çizilmiştir.



**Şekil 15.7** Amorf polistiren için gevşeme modülünün logaritmik ölçekteki değerinin sıcaklıkla değişimi, viskoelastik davranış gösteren beş farklı bölge için gösterilmiştir. (A. V. Tobolsky, *Properties and Structures of Polymers* (1960) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)



**Şekil 15.5**



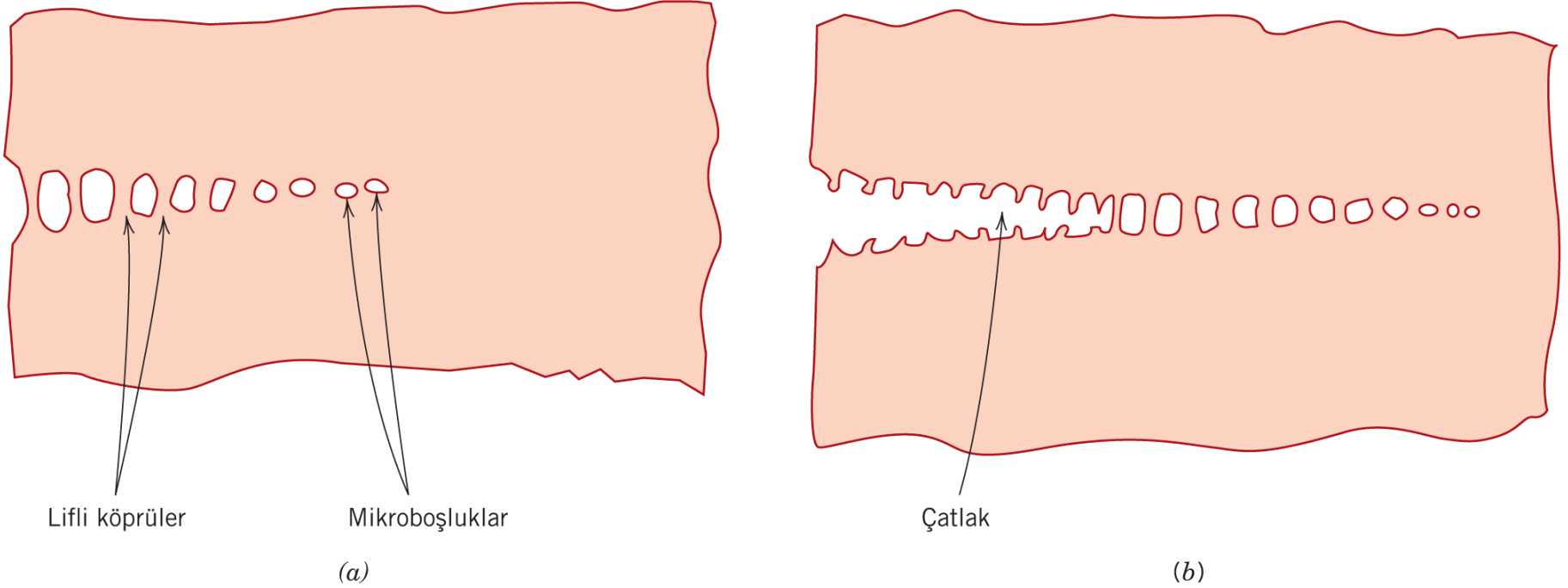
**Şekil 15.8** Polistirenin çeşitli molekül yapısı için  $\log E_r(10)$ -sıcaklık grafiği. A eğrisi: kristal izotaktik, B eğrisi: az sayıda çapraz bağlı ataktik ve C eğrisi: amorf yapı için gevşeme modülünün logaritması - zaman değişimi. (A. V. Tobolsky, *Properties and Structures of Polymers*. (1960) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)



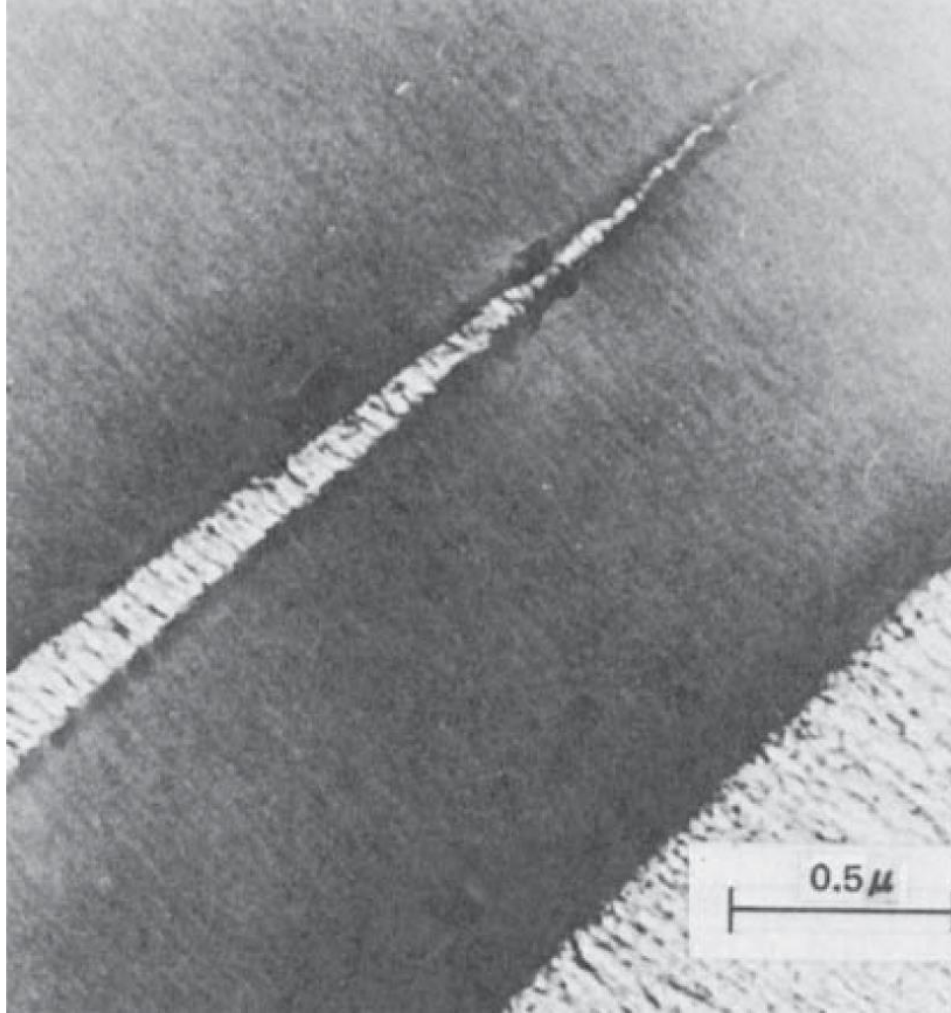
# Viskoelastik Sürünme

- Pek çok polimer malzeme, gerilmenin sabit tutulduğu durumda, zamana bağlı deformasyon özelliği gösterir, buna **viskoelastik sürünme** adı verilir. Bu tür şekil değiştirme, oda sıcaklığında ve hatta akma dayanımının altındaki nispeten düşük gerilme seviyelerinde bile belirgin şekilde görülebilir.

# 15.5 POLİMERLERİN HASARI



**Şekil 15.9** Şekillerde şematik olarak (a) bir kılcal çatlakta mikro boşluk oluşumu ve lifli köprüler, (b) kılcal çatlak oluşumuna takiben makro çatlak oluşumu gösterilmiştir. (J. W. S. Hearle, *Polymers and Their Properties*, Vol. 1, *Fundamentals of Structure and Mechanics*, Ellis Horwood, Ltd., Chichester, West Sussex, England, 1982.)



**Şekil 15.10** Bir poli(fenilen oksit)'deki bir kılcal çatlağa ait fotomikrograf. (R. P. Kambour and R. E. Robertson, “The Mechanical Properties of Plastics,” in *Polymer Science, A Materials Science Handbook*, Editor A. D. Jenkins, Elsevier Science Publishers izni ile basılmıştır.)

# 15.6 ÇEŞİTLİ MEKANİK ÖZELLİKLER

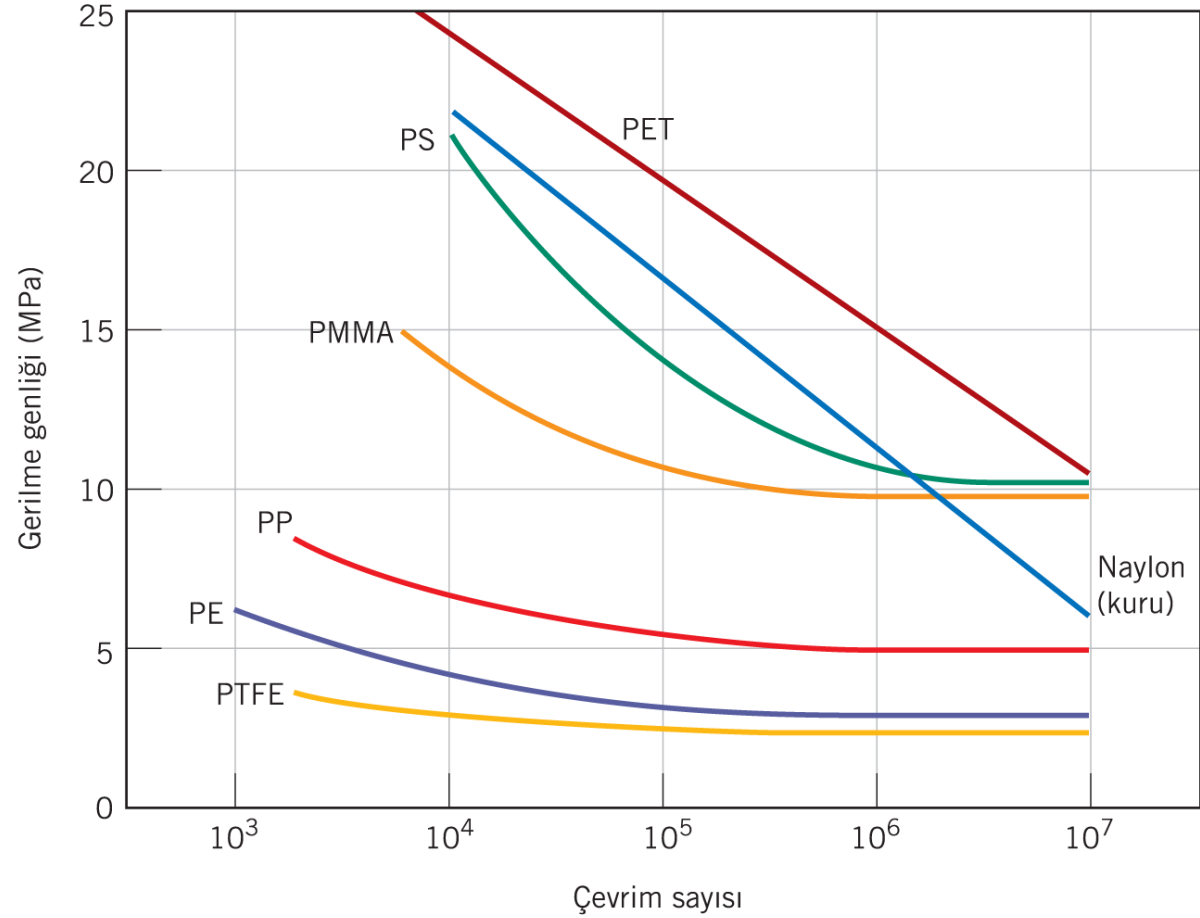
## Darbe Dayanımı

- Izod veya Charpy testleri darbe dayanımını değerlendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Genel olarak polimerlerde iki önemli darbe özelliği istenir: Birincisi, ortam sıcaklığında yüksek **darbe dayanımı** göstermesi, diğeri ise sünekgevrek geçiş sıcaklığı değerinin oda sıcaklığının altında olması.

# Yorulma

**Şekil 15.11**

Poli(etilen tereftalat) (PET), naylon, polistiren (PS), poly(metil metakrilat) (PMMA), polipropilen (PP), polietilen (PE) ve politetrafloretilen (PTFE) için yorulma eğrileri (gerilme-yorulma çevrim sayısı). Deney frekansı 30 Hz için. (M. N. Riddell, "A Guide to Better Testing of Plastics," *Plast. Eng.*, Vol. 30, No. 4, p. 78, 1974.)



# Yırtılma Dayanımı ve Sertlik

- Polimerlerin yırtılma direnci, özellikle paketlemede kullanılan ince film uygulamalarında çok önemlidir. **Yırtılma dayanımı**, bir diğer mekanik özellik olup, standart geometride kesilmiş bir numunenin yırtılarak ayrılması için gerekli olan enerjinin ölçülmesiyle belirlenir.
- Metallerde olduğu gibi, **sertlik** polimer malzemenin çizilmeye, batmaya, bozulmaya vs. gösterdiği dirençtir.

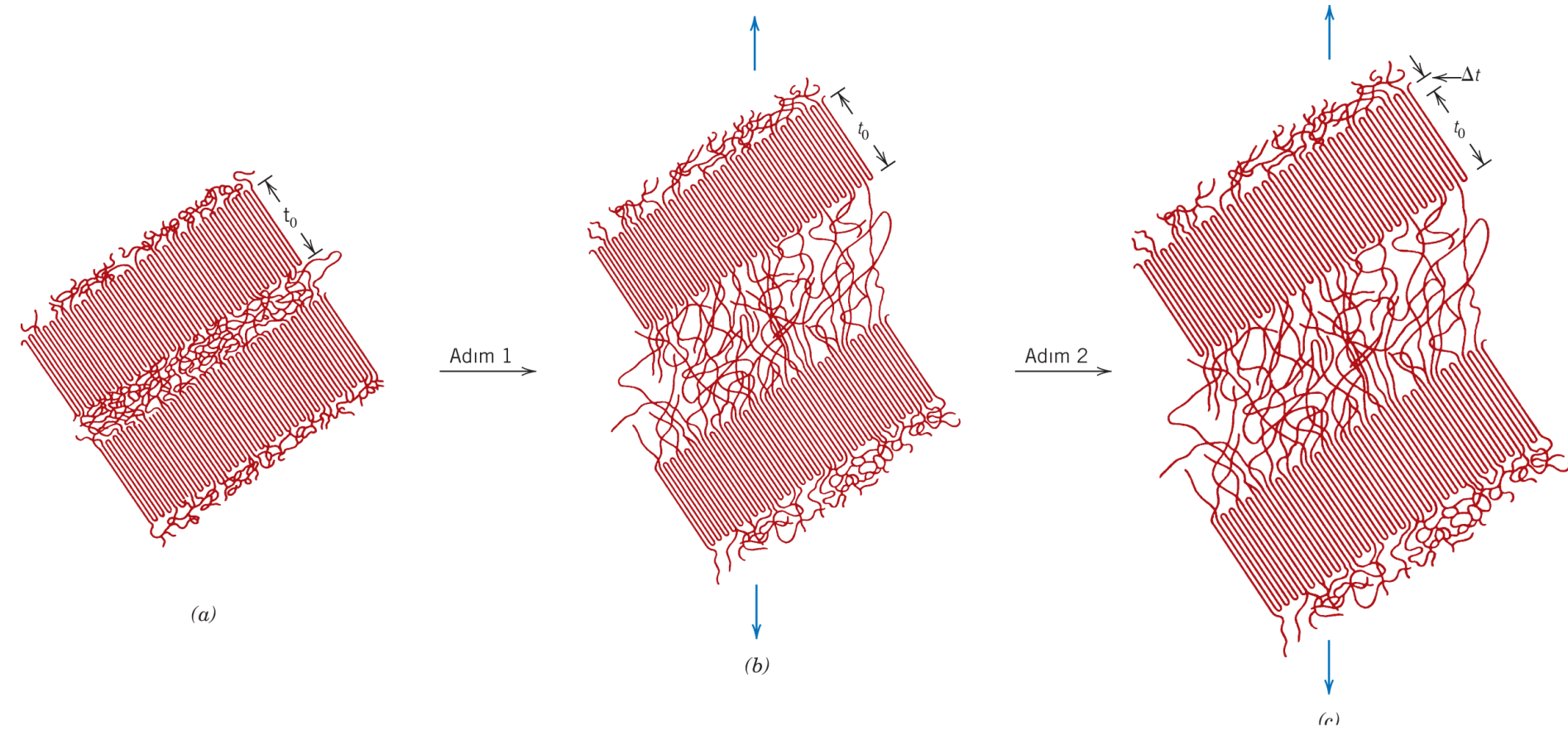


# Polimerlerin Dayanım Arttırma ve Deformasyon Mekanizmaları

- Polimerlerin dayanım arttırma mekanizmalarının anlaşılması, bu malzemelerin mekanik özelliklerinin kontrol edebilmesi açısından oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle, yarı kristal ve elastomer polimerlerin deformasyon modellerinin anlaşılması gereklidir.

# 15.7 YARI KRİSTAL POLİMERLERİN DEFORMASYONU

## Elastik Şekil Değiştirme Mekanizması



**Şekil 15.12** Yarı kristal bir polimerin elastik şekil değişimi adımları. (a) İki komşu katlanmış zincir yapıdaki lamel ve lameller arasında amorf bölgenin deformasyon öncesi hali. (b) İlk deformasyon adımı boyunca amorf bağ zincirlerinin uzaması. (c) Kristal bölgelerindeki eğilme ve uzamalardan dolayı kristal lamellerinde gözlenen kalınlık artışı (tersinirdir) (SCHULTZ, *POLYMER MATERIALS SCIENCE*, 1st, (1974). Yayın hakkı Pearson Education Firmasına ait olup aynı şirketin izni ile basılmıştır.)

### Şekil 15.1

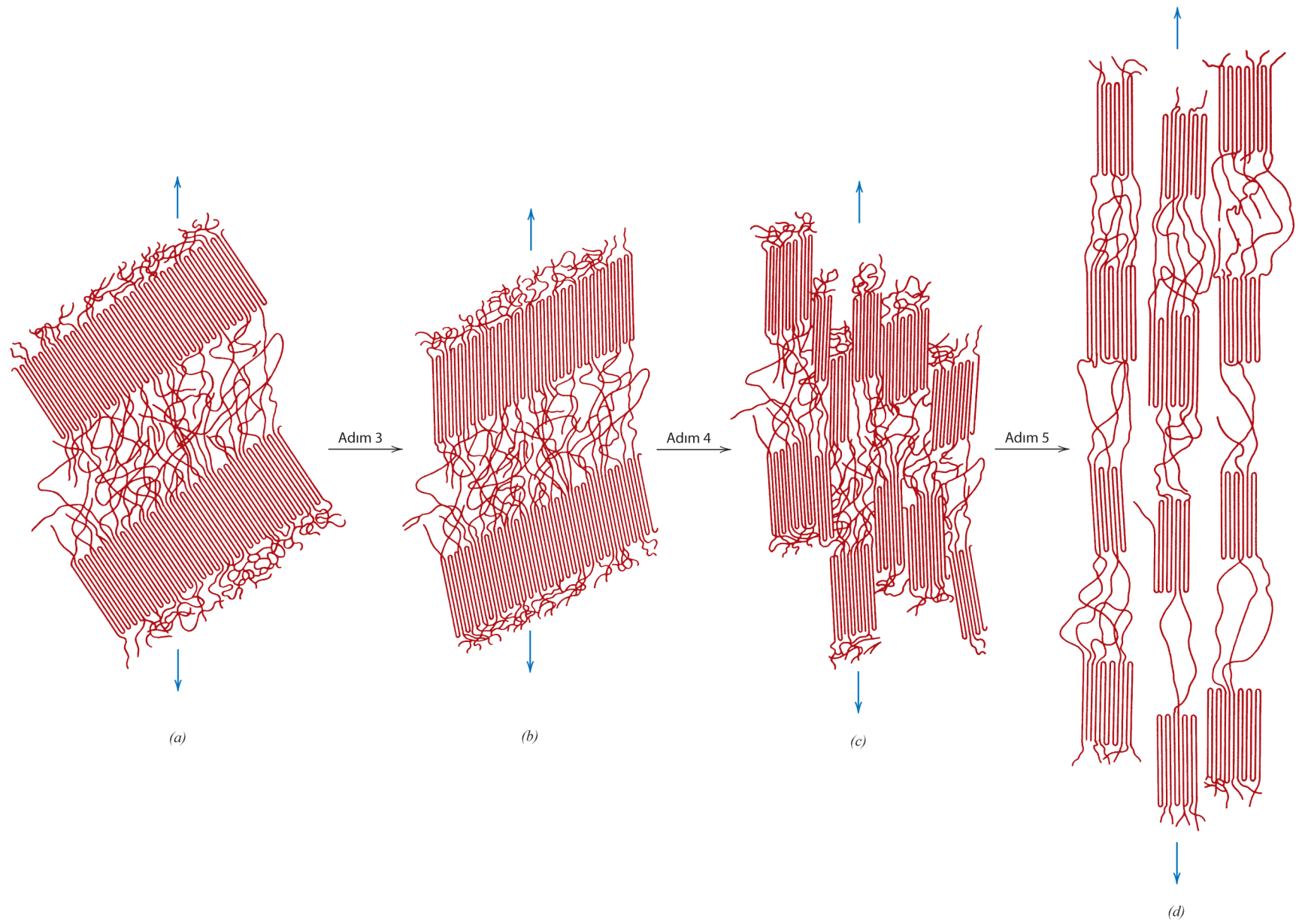
# Plastik Deformasyon Mekanizması

- Yarı kristal polimerlerde meydana gelen çekme yönündeki gerilme, önemli oranda hizalanmış (yönlenmiş) bir yapı üretmiş olmaktadır. Bu yönlenme işlemine **çekme** adı verilir.

Şekil 15.13



www.nobelyayin.com



**Şekil 15.13** Yarı kristal bir polimerin plastik deformasyon adımları. (a) İki komşu katlanmış zincir yapısındaki lamel ve lameller arası amorf bölgenin elastik şekil değişimi sonrası hali (Şekil 15.12c' dekinin aynısı). (b) Lamel yapısındaki zincirlerin yana yatması. (c) Kristal blok parçalarının ayrışması. (d) Son plastik deformasyon adımında, blok parçalarının ve bağlantı zincirlerinin çekme yönünde hizalanması. (SCHULTZ, POLYMER MATERIALS SCIENCE, 1st, (1974) Yayın hakkı Pearson Education Firmasına ait olup izni ile basılmıştır.)

## 15.8 YARI KRİSTAL POLİMERLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- Polimer malzemelerin mekanik özellikleri birçok faktörden etkilenir. Örneğin sıcaklığın ve birim şekil değişimi hızının etkisi [15.2](#) ve [Şekil 15.3](#)'te açıklanmıştır.

# Molekül Ağırlığı

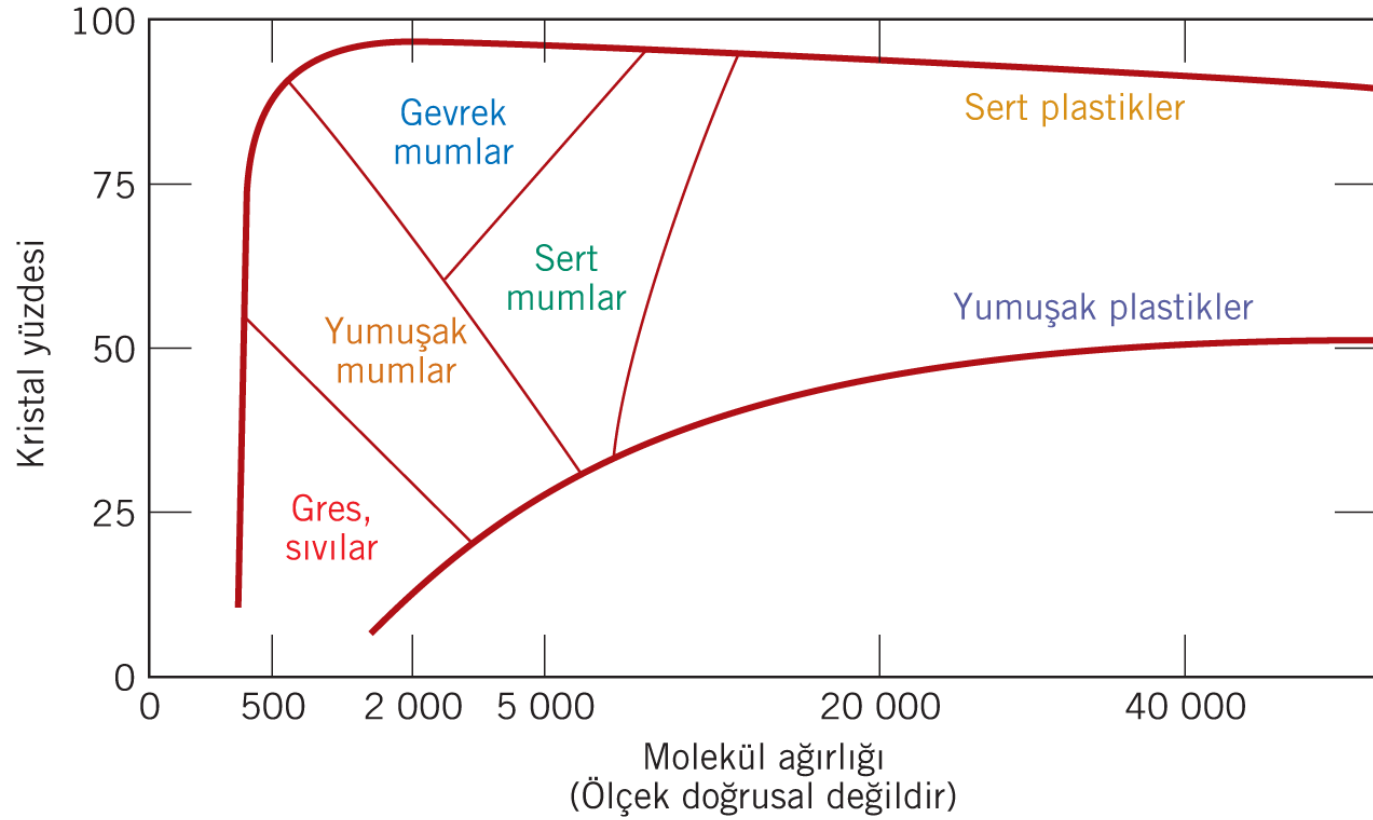
Bazı polimerlerin  
çekme dayanımı  
ile sayıca ortalama  
molekül ağırlığı ilişkisi

$$\zeta D = \zeta D_{\infty} - \frac{A}{\overline{M}_n} \quad (15.3)$$



# Kristalleşme Derecesi

**Şekil 15.14** Polietilenin yüzde kristalleşme değeri ve molekül ağırlığının etkisi. (R. B. Richards, “Polyethylene — Structure, Crystallinity and Properties,” *J. Appl. Chem.*, 1, 370, 1951.)



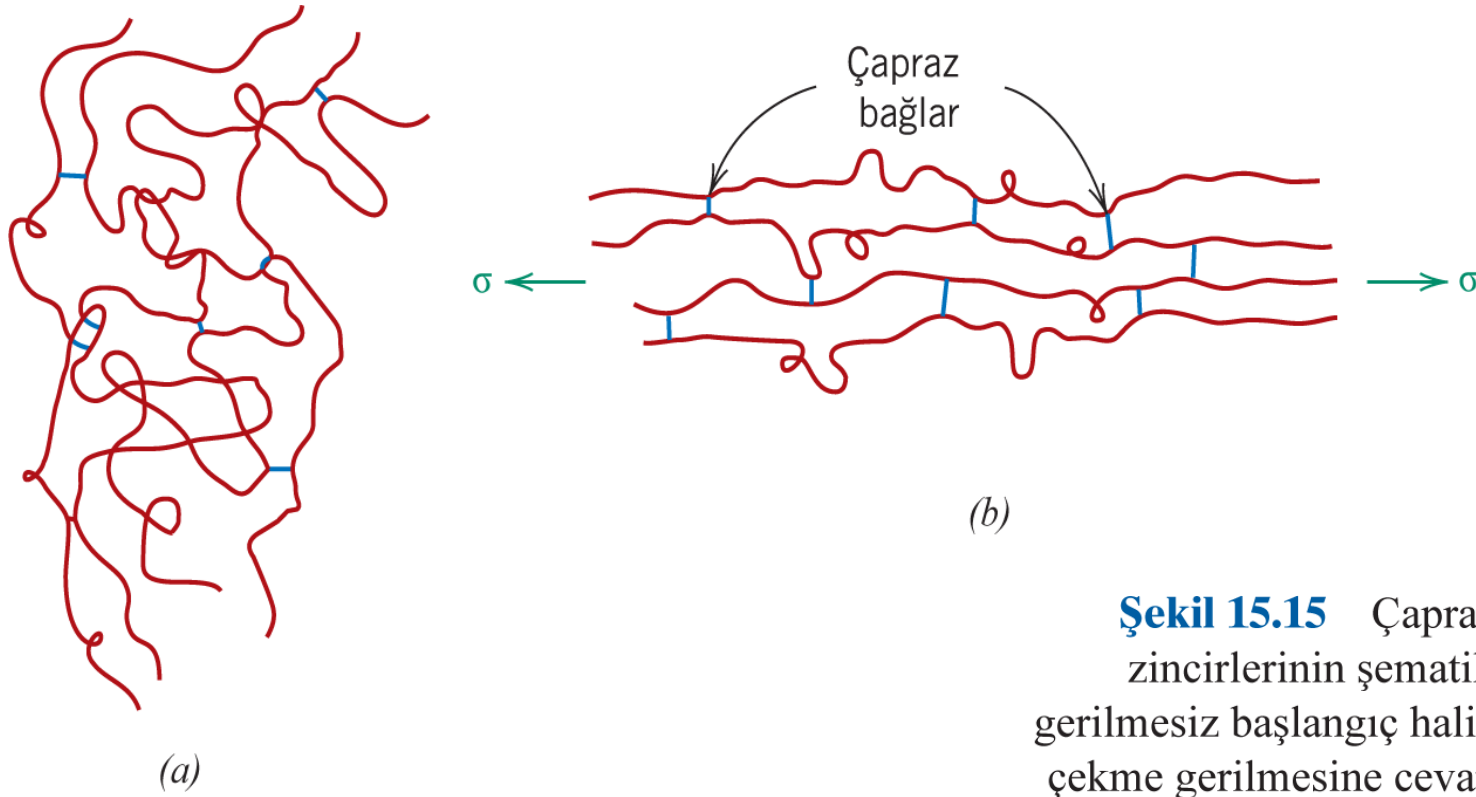
# Çekmeyle Ön Şekillendirme

- Ticari açıdan, mekanik dayanımı ve çekme modülünü artırmanın en çok tercih edilen yolu, polimeri çekme yönünde kalıcı şekil değişimine uğratmaktır. Bu işlem, bazen [Şekil 15.4](#)'te şematik olarak gösterilen boyun verme bölgesinin uzatılması anlamına gelen **çekme (drawing)** adını almaktadır.

# Isıl İşlem

- Yarı kristal polimerlere ısıtıl işlem (veya tavlama) uygulandığında, kristalleşme miktarı, kristal boyutu ve yapının düzgünlüğü artarken, küresel (sferulitik) yapısındaki değişiklikler de artış görülür. Çekilmemiş malzemeler sabit sürede ısıtıl işleme tabi tutulursa, artan sıcaklıkla şunlar meydana gelir: **(1)** çekme modülünde artış, **(2)** akma dayanımında artış ve **(3)** süneklikte azalma. Bu değişikliklerin metallerdeki tam tersi olduğuna (dayanımda azalma, yumuşama ve artan süneklik) dikkat ediniz.

# 15.9 ELASTOMERLERİN DEFORMASYONU

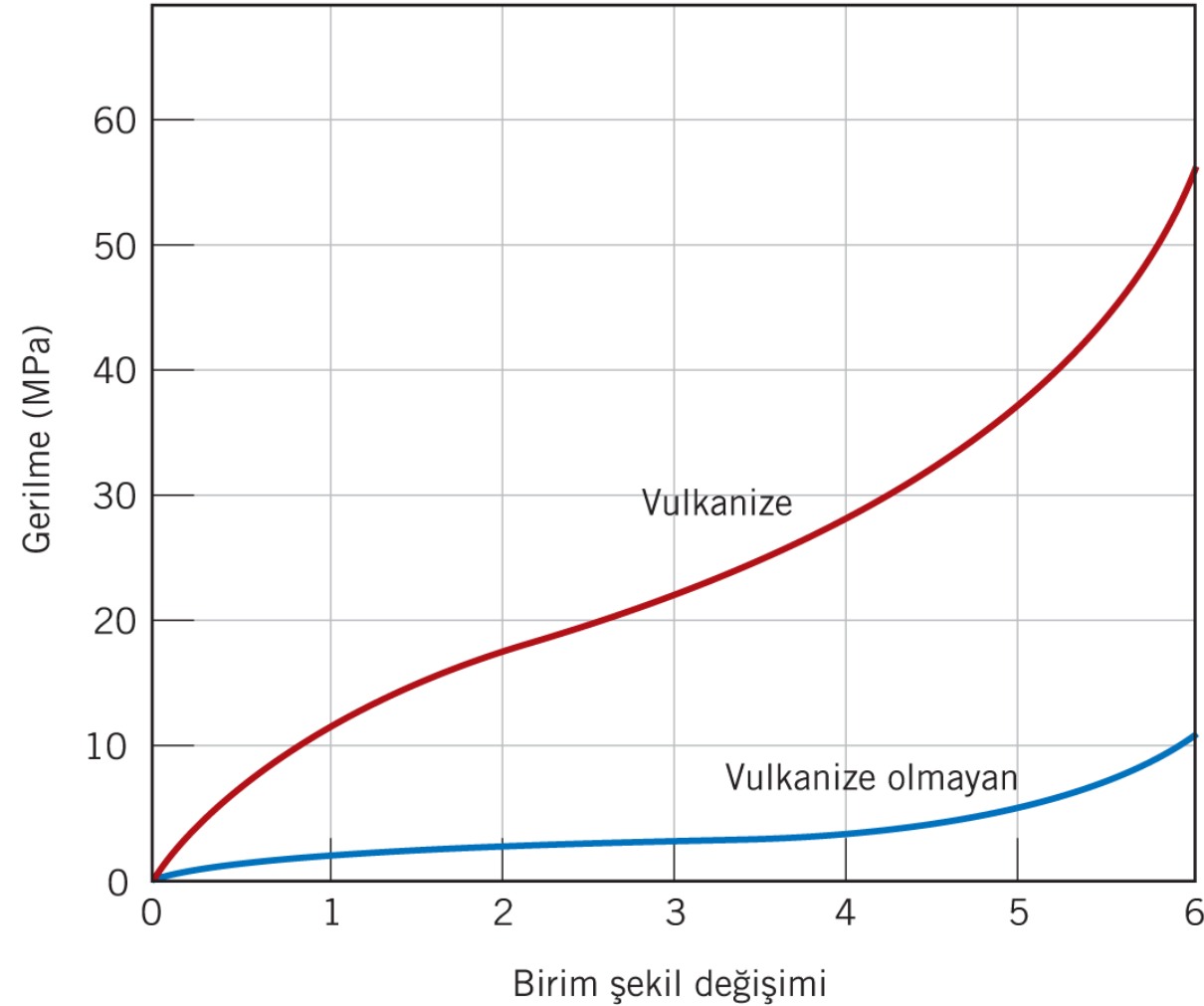


**Şekil 15.15** Çapraz bağlı polimer zincirlerinin şematik gösterimi; (a) gerilmesiz başlangıç hali, (b) uygulanan çekme gerilmesine cevap olarak oluşan elastik şekil değişimi. (Z. D. Jastrzebski, *The Nature and Properties of Engineering Materials*, 3rd edition (1987) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

# Vulkanizasyon

- Elastomerlerdeki çapraz bağlanma, **vulkanizasyon** adı verilen, genellikle yüksek sıcaklıkta uygulanan ve tersinir olmayan kimyasal bir reaksiyonla elde edilir.

**Şekil 15.16** Vulkanize olmuş ve olmamış doğal kauçuğun % 600 uzama için gerilme-birim şekil değişimi eğrileri



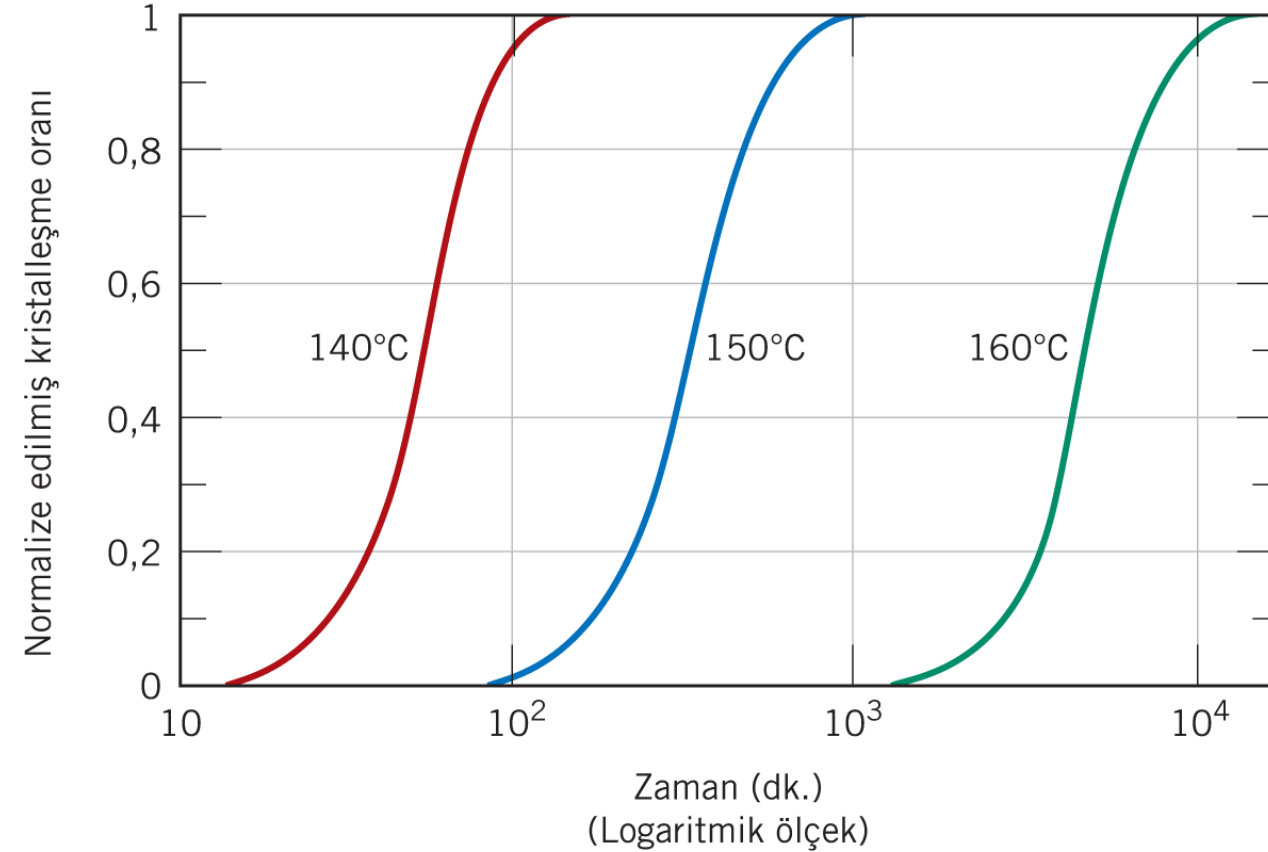


# **Polimerlerde Kristalleşme**

## **Ergime ve Camsı Geçiş Kavramları**

- **Kristalleşme**, rastgele yapıdaki sıvı moleküllerinin soğuma ile düzenli katı faza dönüştüğü (kristal) işlemidir.
- **Ergime** ise bunun aksine ısıtma sırasında meydana gelen bir işlemidir.
- **Camsı geçiş** kavramı, amorf veya kristalleşemeyen polimerlerde görülen, soğuma sırasında sıvı eriyikten katılaştıran yapının sıvı hale özgü düzensiz molekül yapısının korunduğu durumdur.

# 15.10 KRİSTALLEŞME



**Şekil 15.17** Polipropilen'in 140°C, 150°C ve 160°C sabit sıcaklıkta normalize edilmiş kristalleşme oranını – logaritmik zaman değişimi grafiği. (P. Parrini and G. Corrieri, *Makromol. Chem.*, **62**, 83, 1963. Hüthig & Wepf Publishers, Zug, Switzerland izni ile basılmıştır.)

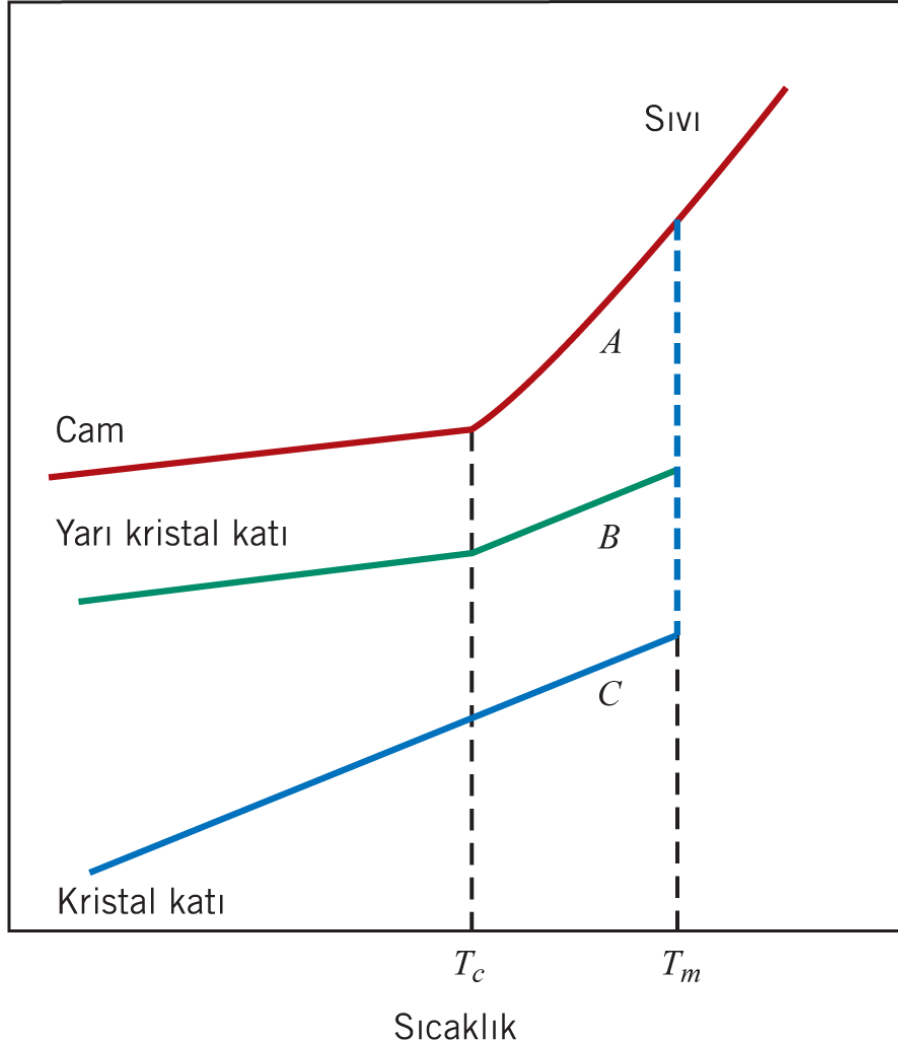
## 15.11 ERGİME

- Bir kristal polimerin ergimesi, bir katı malzemenin viskoz akışkana dönüşümüne karşılık gelir. Yani düzgün moleküllerden oluşan yönlenmiş yapı, rastgele yönlenmiş viskoz bir sıvıya dönüşür. Bu olay **ergime sıcaklığının**,  $T_e$ , üzerinde sıcaklıklara yapılan ısıtma ile meydana gelir.

## 15.12 CAMSI HALE GEÇİŞ

- Polimerin kauçuğumsu halden katı hale geçişinin gerçekleştiği sıcaklığa **camsı geçiş sıcaklığı**,  $T_c$  adı verilir.

# 15.13 ERGİME VE CAMSI HALE GEÇİŞ SICAKLIKLARI



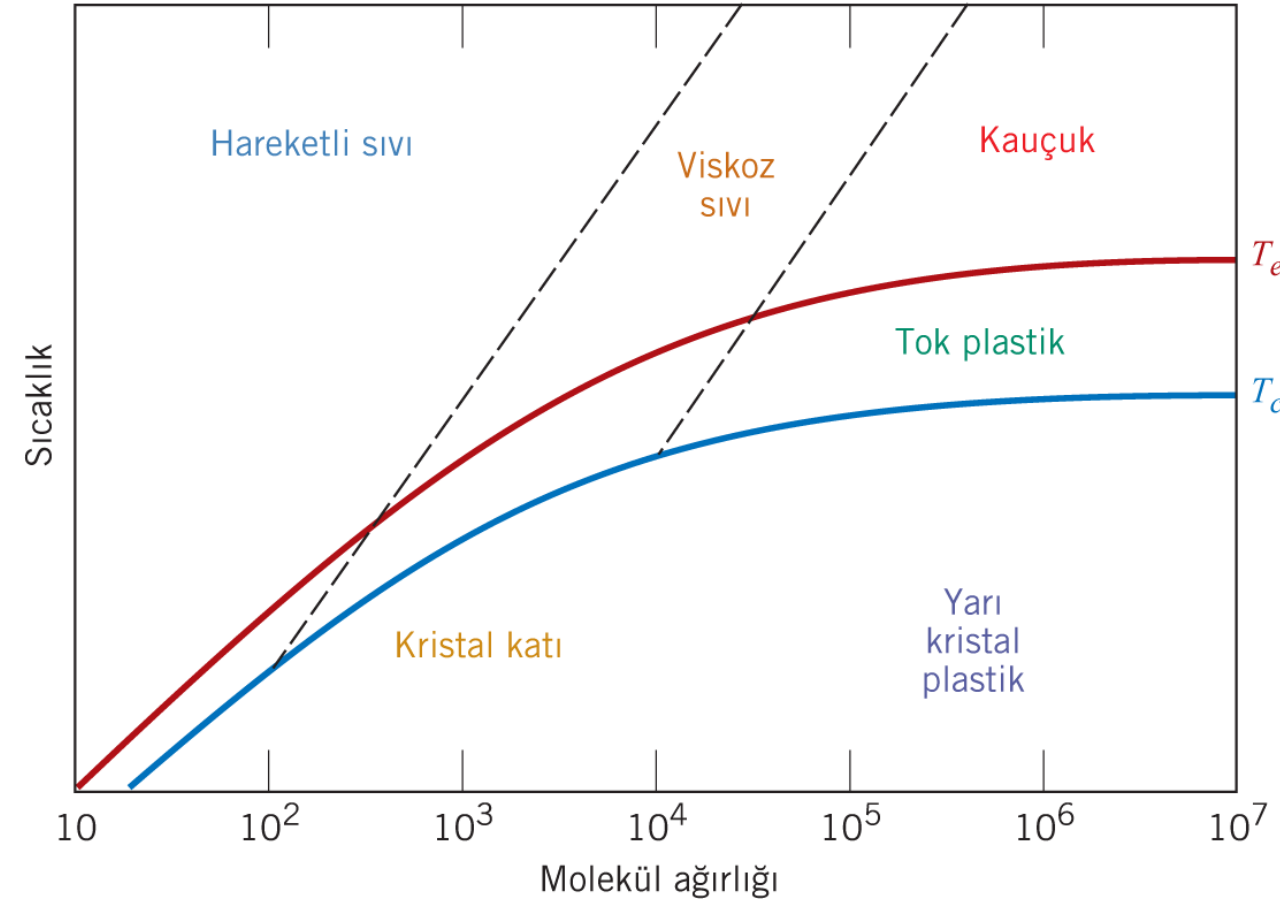
**Şekil 15.18** Tamamen amorf (*A* eğrisi), yarı kristal (*B* eğrisi) ve kristal (*C* eğrisi) polimer için sıvı eriyiğin soğuma sırasında değişen özgül hacim–sıcaklık ilişkisi.

**Tablo 15.2 Bazı Yaygın Polimerlerin Ergime ve Camı Geçiş Sıcaklıkları**

<i>Malzeme</i>	<i>Camı Geçiş Sıcaklığı</i> [°C (K)]	<i>Ergime Sıcaklığı</i> [°C (K)]
Polietilen (düşük yoğunluk)	−110 (163 K)	115 (388 K)
Politetrafloretilen	−97 (176 K)	327 (600 K)
Polietilen (yüksek yoğunluk)	−90 (183 K)	137 (410 K)
Polipropilen	−18 (255 K)	175 (448 K)
Naylon 6,6	57 (330 K)	265 (538 K)
Poli (etilen tereftalat) (PET)	69 (342 K)	265 (538 K)
Poli (vinil klorür)	87 (360 K)	212 (485 K)
Polistiren	100 (373 K)	240 (513 K)
Poli karbonat	150 (423 K)	265 (538 K)

# 15.14 ERGİME VE CAMSI HALE GEÇİŞ SICAKLIKLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

## Ergime Sıcaklığı



**Şekil 15.19** Molekül ağırlığının polimer özelliklerinden ergime ve camı dönüşüm sıcaklığıyla ilişkisi. (F. W. Billmeyer, Jr., *Textbook of Polymer Science*, 3rd edition. (1984) Yayın hakkı John Wiley & Sons. Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

# Camsı Geçiş Sıcaklığı

- Katı bir amorf polimer camsı geçiş sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, rijit halden kauçuğumsu hale dönüşür. Sırasıyla,  $T_c$ 'nin altında donmuş pozisyonda olan moleküller,  $T_c$ 'nin üzerinde dönme ve öteleme hareketi yapmaya başlar. Camsı geçiş sıcaklığı değeri zincir rijitliğini etkileyen faktörlere bağlı hale gelir ve bunların etkileri daha önce de anlatılan ergime sıcaklığı etkisi ile aynıdır.



## 15.15 PLASTİKLER

- Polimer malzemler içinde en büyük polimer çeşitliliğine sahip grup plastiklerdir. **Plastikler**, yük altında belirli bir yapısal rijitliğe sahip olup, genel amaçlı uygulamalarda kullanılırlar. Polietilen, polipropilen, poli (vinil klorür), polistiren ve florokarbonlar, epoksiler, fenolikler ve polyesterlerin tümü plastikler olarak sınıflandırılabilirler.

**Tablo 15.3 Bazı Plastik Malzemelerin Ticari İsmi, Özellikleri ve Tipik Uygulamaları**

<i>Malzeme Türü</i>	<i>Ticari İsmi</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
<i>Termoplastik</i>			
Akrilonitril-bütadien-stiren (ABS)	Abson Cycolac Kralastic Lustran Novodur Tybrene	Mükemmel dayanım ve tokluk, ısıl çarpılmaya dayanım; iyi elektriksel özellikler; alevlenme ve bazı organik çözücülerin içinde çözünme özelliği	Buzdolabı iç kaplaması, çim biçme ve diğer bahçe ekipmanları, oyuncak, otoban güvenlik ekipmanları
Akrilikler [poli(metil metakrilat)]	Akrilit Diakon Lucite Plexiglas	Mükemmel ışık geçirgenliği ve atmosfer koşullarına direnç; yalnızca mekanik özellikleri zayıf	Lens, şeffaf uçak penceresi, açık hava işaretleri
Florokarbonlar (PTFE or TFE)	Teflon Fluon Halar Hostaflon TF Neoflon	Her türlü ortamda kimyasal olarak kararlı, mükemmel elektriksel özellikler; düşük sürtünme katsayısı; 260°C'ye kadar kullanılabilir; zayıf soğuk-akış özelliği	Korozif olmayan sızdırmazlık elemanlarında, kimyasal boru ve valflerinde, yataklarda, yapışma önleyici kaplamalarda, yüksek sıcaklıkta kullanılan elektronik parçalarında
Poliamidler (naylonlar)	Nylon Baylon Durethan Herrox Nomex Ultramid Zytel	İyi mekanik dayanım, aşınma direnci ve tokluk; düşük sürtünme katsayısı; su ve bazı diğer sıvıları emme	Yataklar, dişli çarklar, kamlar, tutma kolları ve kablo ve teller için kaplama

(Devamı)

**Tablo 15.3 (Devamı)**

<i>Malzeme Türü</i>	<i>Ticari İsmi</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
Polikarbonatlar	Calibre Iupilon Lexan Makrolon Merlon	Boyutsal olarak kararlı; düşük su emiciliği; şeffaf; çok yüksek darbe direnci ve süneklik; kimyasal dayanımı kötü	Koruyucu kasklar, mercekler, lamba karpuzu, fotoğraf filmi altlığı
Polietilenler	Alathon Alkathene Fortiflex Hi-fax Petrothene Rigidex Rotothene Zendel	Kimyasal olarak dirençli ve elektriksel olarak yalıtkan; tok ve düşük sürtünme katsayısı; düşük dayanım ve hava koşullarına zayıf dayanım	Esnek şişeler, oyuncaklar, bardaklar, pil parçaları, buz kapları, kaplama film malzemeleri
Polipropilenler	Herculon Meraklon Moplen Poly-pro Pro-fax Propak Propathene	Isıl çarpılmaya direnç, mükemmel elektriksel özellikler ve yorulma dayanımı; kimyasal olarak kararlı; oldukça ucuz; düşük UV direnç	Sterilize edilebilir şişeler, paketleme filmi, TV kasa-sı, bavul
Polistirenler	Carinex Dylene Hostyren Lustrex Styron Vestylon	Mükemmel elektriksel özellikler ve optik şeffaflık; iyi ısı ve boyutsal kararlılık; göreceli olarak ucuz	Duvar fayansı, pil kaplamaları, iç aydınlatma panelleri, cihaz kutuları

(Devamı)

**Tablo 15.3 (Devamı)**

<i>Malzeme Türü</i>	<i>Ticari İsmi</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
Viniller	Darvic Exon Geon Pliovic Saran Tygon Vista	Ucuz, genel amaçlı malzemeler; rijitliği orta derecede ancak plastikleştirici ile esnekleştirilebilir; genellikle kopolimerize edilir; ısıl çarpılmaya duyarlı	Yer kaplaması, boru, elektrik kablo su yalıtımı, bahçe hortumu, gromofon plağı
Polyesterler (PET veya PETE)	Celanar Dacron Eastapak Hylar Melinex Mylar Petra	Plastik filmlerin en toklarından biri; mükemmel yorulma ve yırtılma dayanımı, neme, asitlere, yağlara, greslere ve çözücülere dirençli	Manyetik kayıt bantları, giysi, otomotiv tekerlek kuşakları, içecek kapları
<i>Termoset Polimerler</i>			
Epoksiler	Araldite Epikote Epon Epi-rez Lekutherm Lytx	Mekanik özellikler ile korozyon dayanımının mükemmel birleşimi; boyutsal olarak kararlı; iyi yapışma özellığı; diğerlerine göre ucuz	Yalıtım amaçlı kalıplama, lavabo/küvetler, yapıştırıcılar, koruyucu kaplamalar, cam elyaf tabakalarında kullanılır.

*(Devamı)*

**Tablo 15.3 (Devamı)**

<i>Malzeme Türü</i>	<i>Ticari İsmi</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
		<b><i>Termoset Polimerler</i></b>	
Fenolikler	Bakelite Amberol Arofen Durite Resinox	150°C'nin üstünde bile mükemmel ısı kararlılık; pek çok reçine, dolgu vs. ile birlikte bileşik yapabilir; ucuz	Motor muhafazaları, telefonlar, otomobil distribütörlerinde, elektrik aksesuarlarında
Polyesterler	Aropol Baygal Derakane Laminac Selectron	Mükemmel elektriksel özellikler ve ucuzluk; oda sıcaklığı veya yüksek sıcaklığa göre bileşimi ayarlanabilir; genellikle elyafı güçlendirici olarak kullanılır.	Kasklar, kompozit deniz tekneleri, otomobil gövde bileşenleri, sandalyeler, fanlar

# 15.16 ELASTOMERLER

**Tablo 15.4** Bazı Ticari Elastomerlerin Önemli Özellikleri ve Tipik Uygulamaları

<i>Kimyasal Türü</i>	<i>Ticari (Yaygın Bilinen) İsmi</i>	<i>Uzama (%)</i>	<i>Kullanım Sıcaklık Aralığı [°C (K)]</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
Doğal poli-izoprene	Doğal kauçuk (NR)	500–760	—60 –120 (213 – 393)	Mükemmel fiziksel özellikler, kesmeye ve aşınmaya yüksek direnç; düşük ısı, ozon ve yağ direnci; iyi elektriksel özellikler	Havalı lastik ve tüpler, ayakkabı topuğu ve tabanı; salmastralar
Stiren-bütadien kopolimer	GRS, Buna S (SBR)	450–500	–60 – 120 (213 – 393)	İyi fiziksel özellikler, kesmeye ve aşınmaya mükemmel direnç; atmosfer koşulları ozon ve yağa direnci yoktur; elektriksel özellikler iyi ancak çok yüksek değil	Doğal kauçuğun kullanıldığı yerlerde

(Devamı)

**Tablo 15.4 Bazı Ticari Elastomerlerin Önemli Özellikleri ve Tipik Uygulamaları**

<i>Kimyasal Türü</i>	<i>Ticari (Yaygın Bilinen) İsmi</i>	<i>Uzama (%)</i>	<i>Kullanım Sıcaklık Aralığı [<math>^{\circ}\text{C}</math> (K)]</i>	<i>Başlıca Özellikleri</i>	<i>Tipik Uygulamaları</i>
Akrilonitril-bütadien stiren kopolimer	Buna A, Nitrile (NBR)	400–600	–50 – 150 (223 – 423)	Bitkisel, hayvansal ve petrol yağlarına mükemmel direnç; kötü düşük sıcaklık özellikleri; elektriksel özellikleri çok üstün değil	Benzin, kimyasal ve yağ hortumları; conta ve o-ringler; ayakkabı topuğu ve tabanı
Kloropren	Neoprene (CR)	100–800	–50 – 105 (223 – 378)	Mükemmel ozon, ısı ve atmosfer koşulları dayanımı; mükemmel alevlenme dayanımı; elektriksel özellikleri doğal kauçuk kadar iyi değildir	Tel ve kablolar; kimyasal tank iç kaplaması; kayışlar, contalar, salmastralar ve hortumlar
Polisilokzen	Silicone (VMQ)	100–800	–115 – 315 (158 – 588)	Düşük ve yüksek sıcaklığa mükemmel direnç; düşük dayanım; mükemmel elektriksel özellikler	Yüksek ve düşük sıcaklık yalıtımı; contalar, diyaframlar; gıda ve tıbbi amaçlı borulamalar

## 15.17 ELYAF

- **Elyaf** polimerler, uzunluğun çapa oranı en az 100:1 olan uzun lif olarak çekilebilme kapasitesine sahiptir. Çoğu ticari elyaf polimerler tekstil endüstrisinde dokunmuş veya örülmüş olarak kumaşlarda kullanılır. Ayrıca, aramid elyaflar kompozit de kullanılırlar. Faydalı bir tekstil malzemesi olması için, bir polimer elyaf fiziksel ve kimyasal olarak oldukça kesin özelliklere sahip olmalıdır.



# 15.18 ÇEŞİTLİ UYGULAMALAR

## Kaplamalar

- **Kaplamalar**, yaygın olarak malzemelerin yüzeylerine aşağıdaki fonksiyonlardan bir veya birkaçını yerine getirmek amacıyla uygulanır: (1) parçayı korozyif veya zararlı reaksiyonların olduğu ortamlardan korumak, (2) parçanın görünüşünü iyileştirmek ve (3) elektriksel yalıtım sağlamak.

# Yapıştırıcılar

- **Yapıştırıcı**, katı yüzeyi birbirine bağlayan maddeye verilen addır. Mekanik ve kimyasal olmak üzere iki tür bağlama mekanizması vardır: Mekanik bağlamada yapıştırıcı, yüzeydeki gözenek ve girintileri doldurur. Kimyasal bağlama ise yapıştırılan ve yapıştırıcı arasındaki kovalent ve/veya van der Waals moleküler kuvvetleriyle bağ oluşturur.

# Filmler

- Polimer malzemeler, ince *film* olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. 0,025 ile 0,125 mm arasında kalınlığa sahip filmler, üretilerek gıda ve diğer ticari ürünlerin paketlemelerinde, tekstil endüstrisinde ve daha birçok alanda kullanılır.

# Köpükler

- **Köpükler**, yüksek oranda küçük hava boşlukları ve sıkışmış gaz boşlukları içeren polimer malzemelerdir. Hem termoplastik hem de termoset malzemeler köpük üretiminde kullanılabilir, bunlar poliüretanlar, kauçuk, polistiren ve poli(vinil klorür)'dür. Köpükler genellikle, otomobil ve mobilya döşemesi yanında paketleme ve ısı yalıtım amacıyla da kullanılırlar.

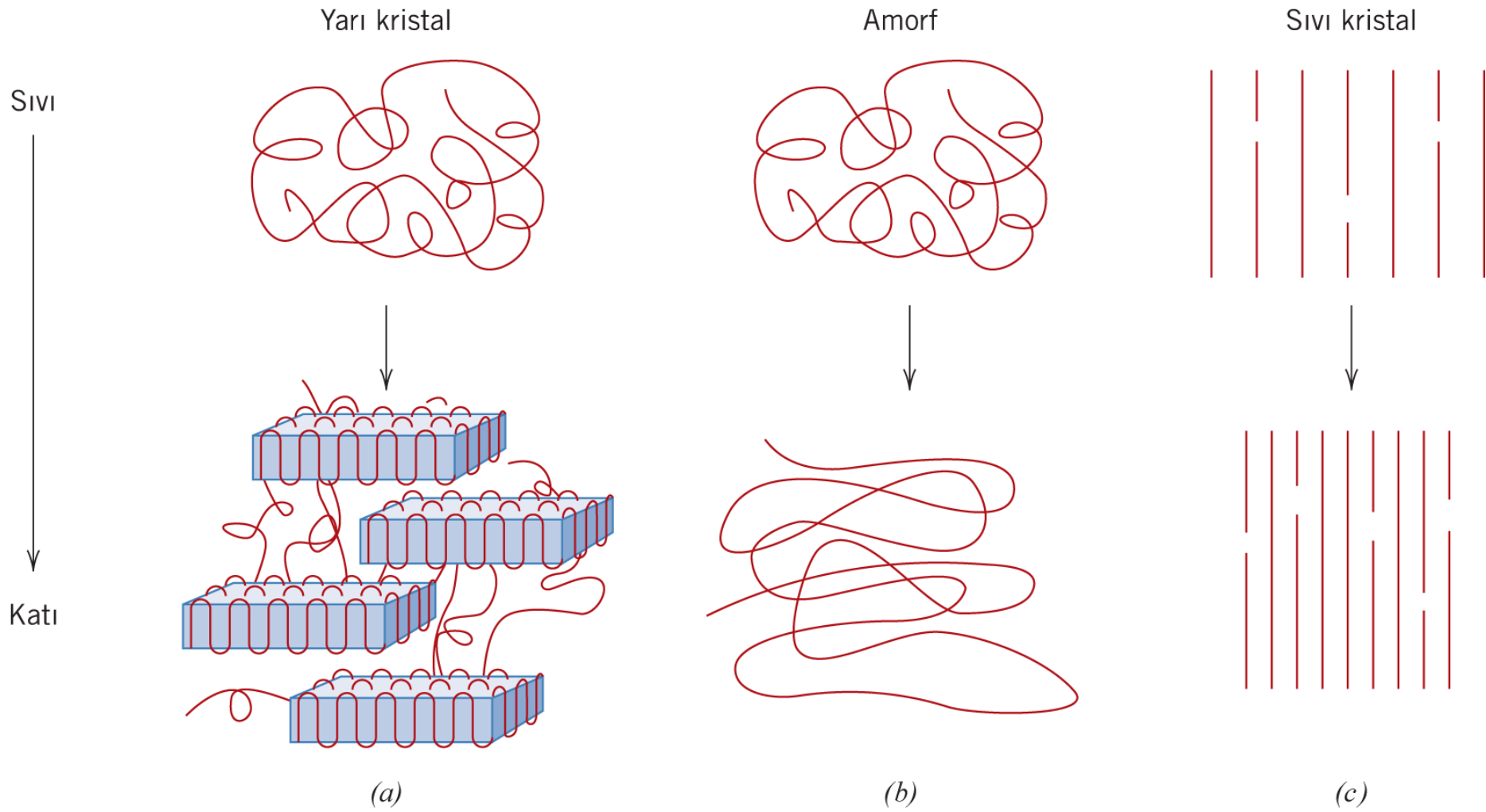
# 15.19 İLERİ POLİMER MALZEMELER

## Ultra-Yüksek-Molekül-Ağırlıklı Polietilen

- **Ultra-yüksek-molekül-ağırlıklı polietilen** (*UYMAPE*), son derece yüksek molekül ağırlığına sahip, lineer bir polietilendir.

# Sıvı Kristal Polimerler

- **Sıvı kristal polimerler (SKP)**, eşsiz özellikleriyle kendine birçok farklı uygulama alanı bulan, kimyasal olarak kompleks bir grup ve yapısal olarak belirgin özellikleri olan malzemelerdir.

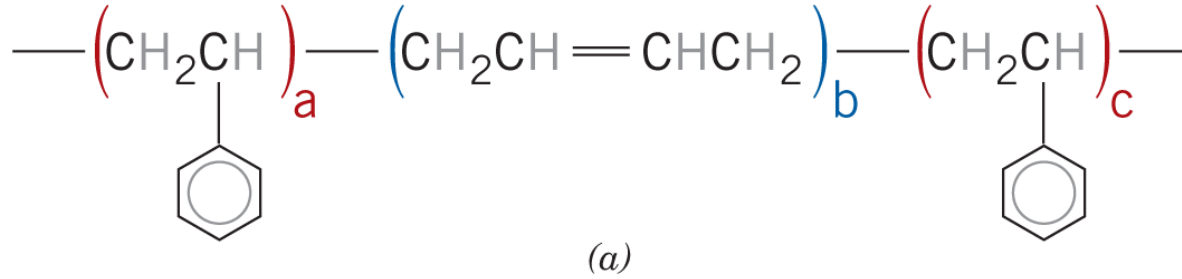


**Şekil 15.20** Erimiş ve katıl haldeki çeşitli molekül yapıların şematik gösterimleri. (a) Yarı kristal, (b) amorf, (c) sıvı kristal polimer. (G.W. Calundann and M. Jaffe, “Anisotropic Polymers, Their Synthesis and Properties,” Chapter VII, *Proceedings of the Robert A. Welch Foundation Conferences on Polymer Research*, 26th Conference, Synthetic Polymers, Nov. 1982.)

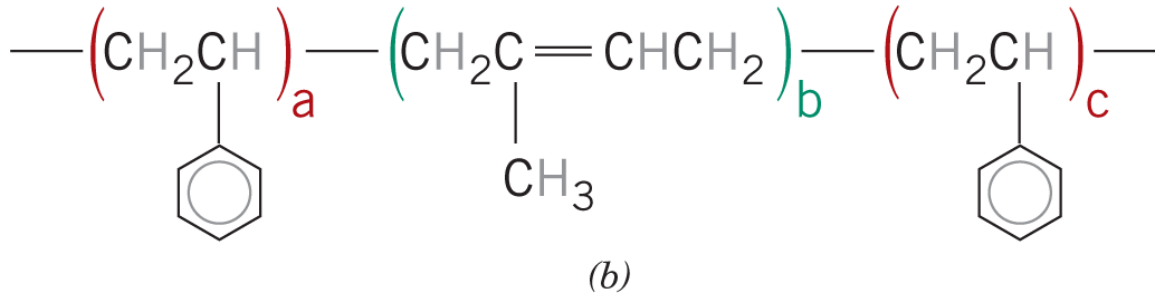
# Termoplastik Elastomerler

- **Termoplastik elastomerler** (*TPE*'ler veya *TE*'ler), gerçekte termoplastik olan ama ortam şartlarında elastomer (kauçuk gibi) davranış gösteren polimer malzeme türüdür.

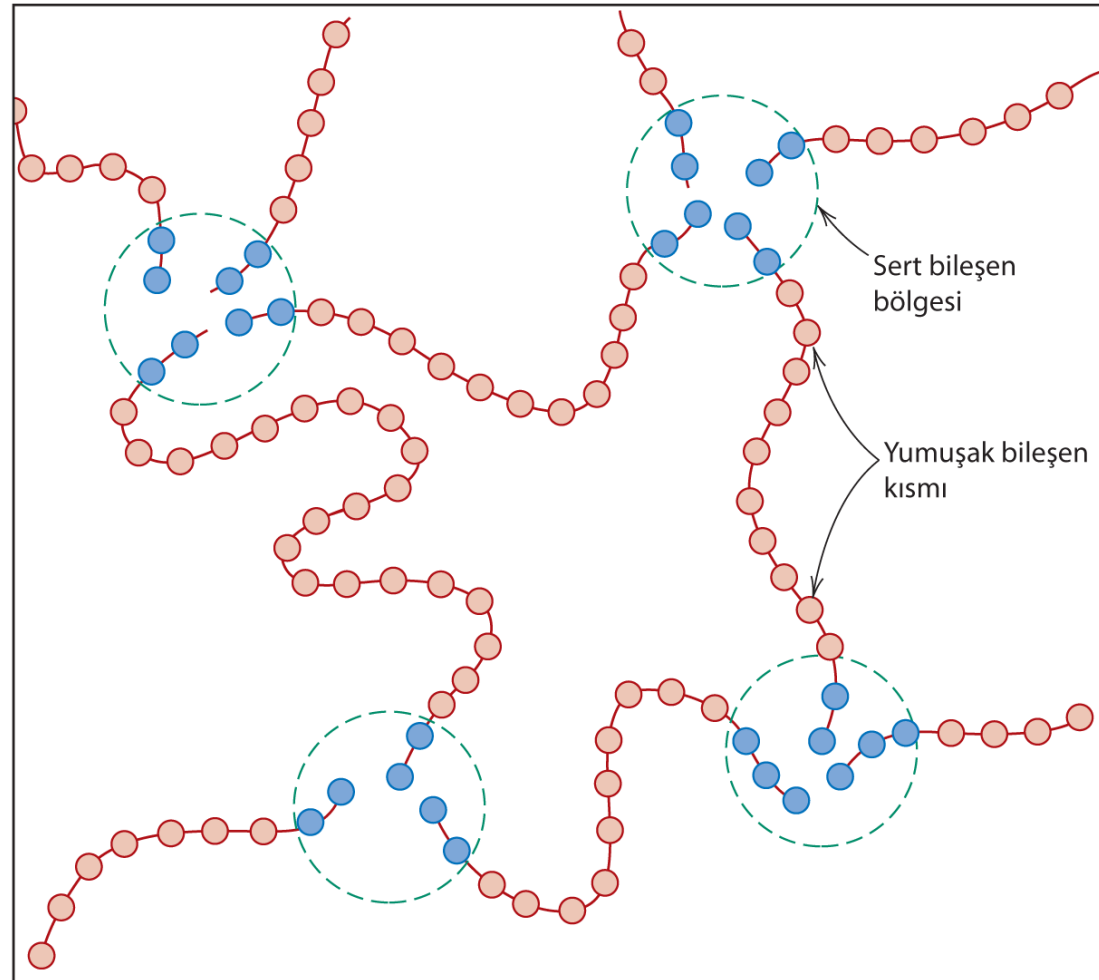




**Şekil 15.21** (a) Stiren-bütadien-stiren (S-B-S) ve (b) stiren-izopren-stiren (S-I-S) termoplastik polimerlerinin zincir kimyalarının gösterimi



**Şekil 15.22** Termoplastik elastomerlerin şematik gösterimi. Bu yapı merkezde “yumuşak” (bütadien veya izopren) tekrar birimleri ve zincir sonlarında oda sıcaklığında fiziksel çapraz bağ gibi davranan “sert” (stiren) birimlerden oluşur. (ASKELAND/PHULE, *The Science and Engineering of Materials*, 5th edition (2006). Yayın hakkı Cengage Learning Firmasına ait olup Cengage Learning Firmasının izni ile basılmıştır.)



# Polimerlerin Sentezi ve İşleme Yöntemleri

- Ticari olarak kullanılabilir polimerlerin büyük makro molekülleri ‘polimerizasyon’ adı verilen işlemle küçük moleküllere sahip maddelerden sentezlenir. Ayrıca polimerlerin özellikleri takviye malzemelerle artırılarak değiştirilebilir. Son olarak da bitmiş parçanın istenen şekle gelmesi için işlenmesi gereklidir.

# 15.20 POLİMERİZASYON

- Büyük moleküllerin (polimerler) sentezine *polimerizasyon* adı verilir ve basitçe monomerlerin bağlanarak tekrarlayan birimlerden oluşan uzun zincirleri meydana getirmesi işlemidir. En geniş anlamda, sentetik polimerler için ham maddeler kömür, doğal gaz ve petrol ürünlerinden elde edilir.

# Katılım Polimerizasyonu

- **Katılım polimerizasyonu** (bazen *zincir reaksiyonu polimerizasyonu* olarak adlandırılır), monomer birimleri lineer makromoleküller meydana getirmek üzere her defasında bir adet olacak şekilde zincire bağladığı reaksiyondur.

# Yoğuşma Polimerizasyonu

- **Yoğuşma** (veya *adım reaksiyonu*) **polimerizasyonu** polimerlerin, birden fazla monomerin katıldığı ve adım adım gerçekleşen moleküller arası reaksiyonla meydana geldiği işlemdir.

# 15.21 POLİMER KATKILARI

## Dolgu Malzemeleri

- **Dolgu** malzemeleri genellikle polimerlere çekme ve basma dayanımı, aşınma direnci, tokluk ve ısı kararlılık gibi özelliklerini iyileştirmek amacıyla katılır.

# Yumuşatıcılar

- Polimerlerin esneklik, süneklik ve tokluğu **yumuşatıcı (plastikleştirici)** denilen katkılarla iyileştirilebilir. Yumuşatıcıların ilavesi aynı zamanda sertlik ve rijitliği de düşürür.



# Dengeleyiciler (stabilizatörler)

- Bazı polimer malzemelerin mekanik bütünlüğü, normal atmosfer şartlarında hızlı bir bozulmaya uğrar. Bu bozulmayı engelleyen katkılara **dengeleyici** adı verilir.

# Renklendiriciler

- **Renklendirici**, boya veya pigment şeklinde ilave edilerek polimerin belirli bir renge sahip olmasını sağlarlar.

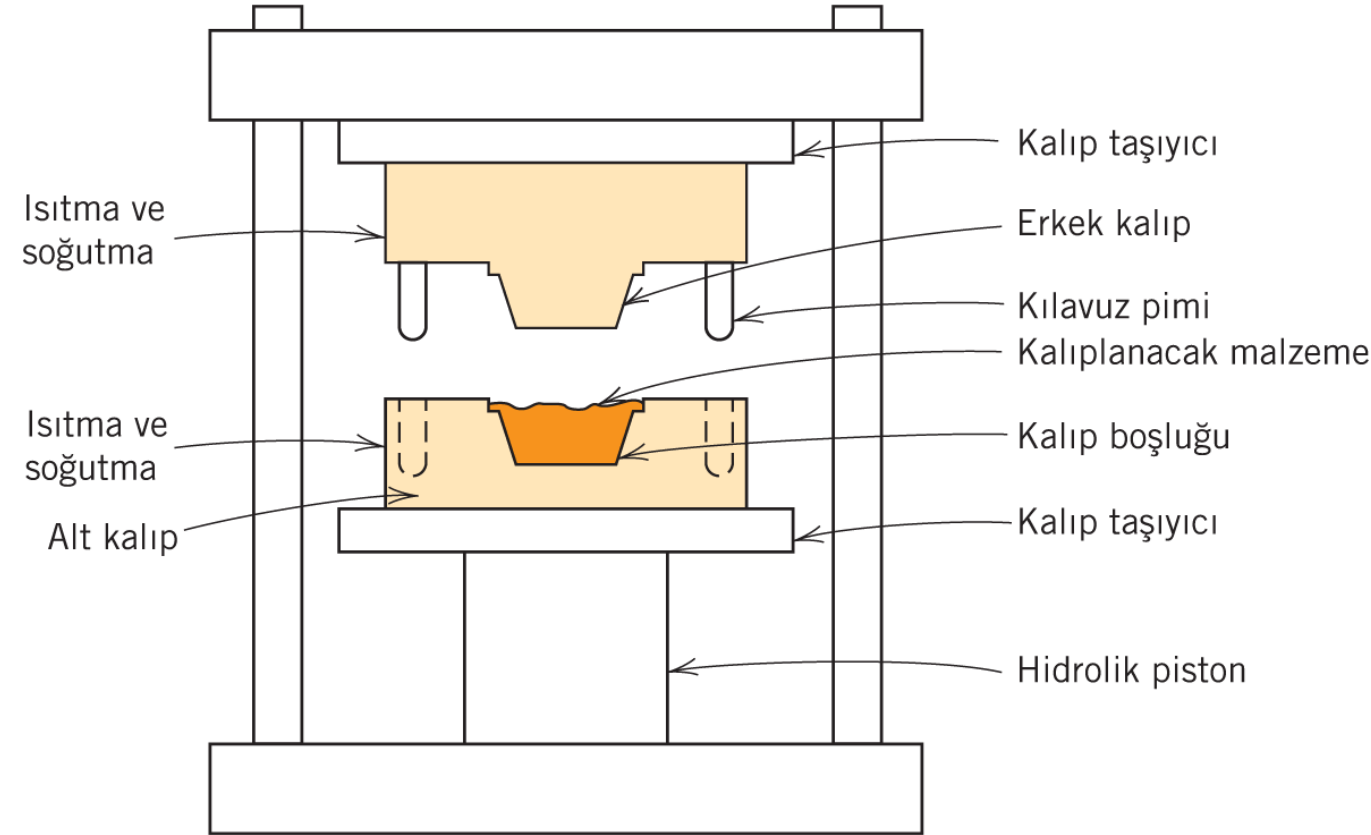
# Alev Geciktiriciler

- Polimerlerin alev alması, özellikle çocuk oyuncakları ve tekstil imalatındaki en önemli kaygılardandır. Pek çok polimer doğal (saf) haliyle alevlenme özelliğine sahiptir, sadece büyük oranda florür ve/veya klorür içeren poli(vinil klorür) ve politetrafloretilen buna istisnadır. Yanıcı polimerlerin alevlenme direnci, **alev geciktirici** katkı ile artırılır.

## 15.22 PLASTİKLERİN ŞEKİLLENDİRME TEKNİKLERİ

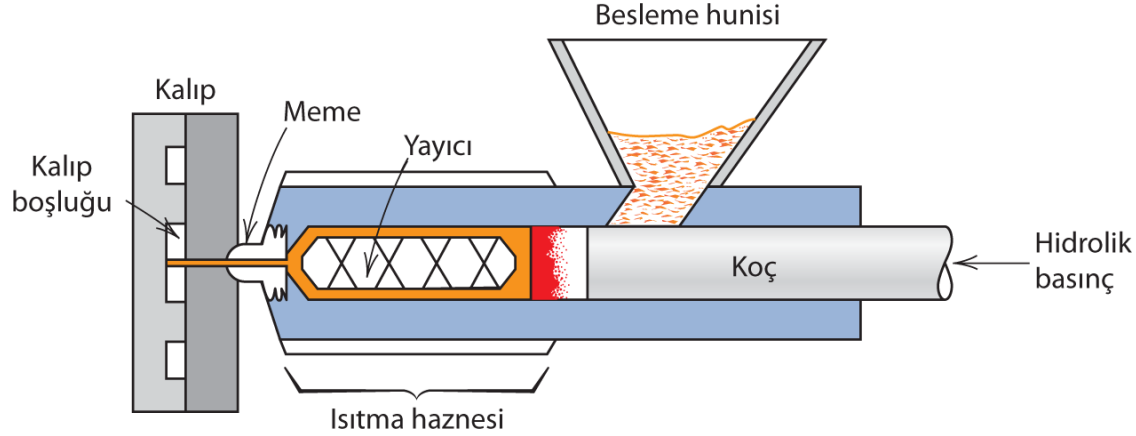
- **Kalıplama**, plastik polimerlerin şekillendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Kalıplama tekniklerinden bazıları, pres, transfer, şişirme, enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplamadır. Hepsinde, küçük boyutta pelet veya granül haline getirilmiş plastiğin, yüksek sıcaklıkta basınç yardımıyla kalıp boşluğuna doldurularak istenen şekli alması sağlanır.

# Pres Kalıplama ve Transfer Kalıplama



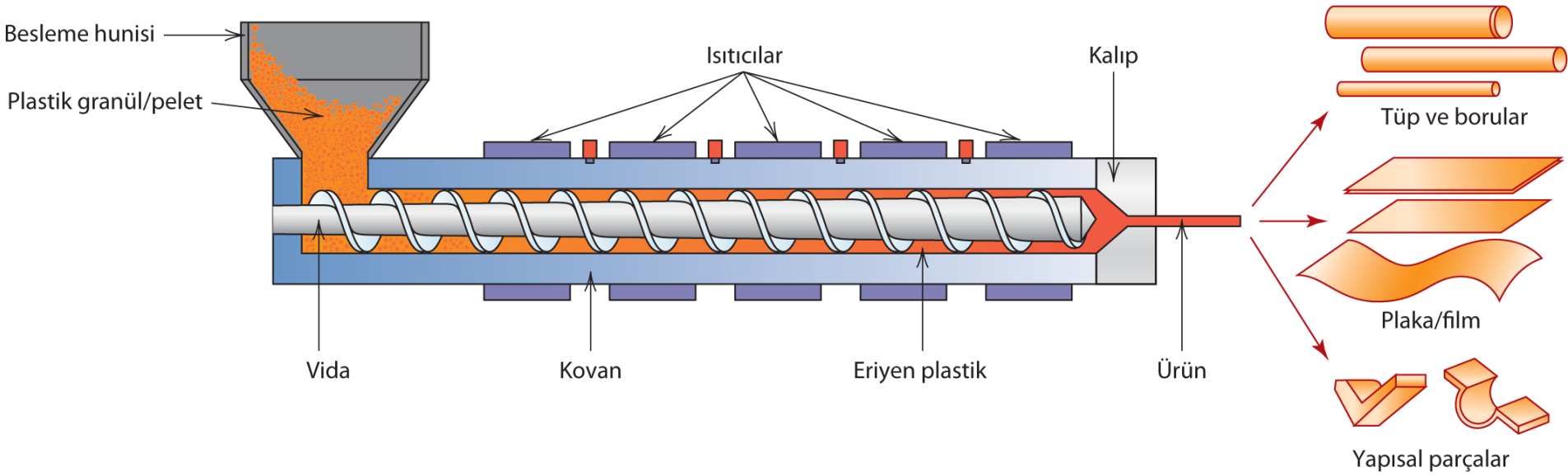
**Şekil 15.23** Pres kalıplama donanımının şematik görünümü (F. W. Billmeyer, Jr., *Textbook of Polymer Science*, 3rd edition (1984). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

# Enjeksiyon Kalıplama



**Şekil 15.24** Enjeksiyon kalıplama donanımının şematik görünümü (F. W. Billmeyer, Jr., *Textbook of Polymer Science*, 2nd edition (1971). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

# Ekstrüzyon



**Şekil 15.25** Bir ekstrüderin şematik görünümü (Encyclopædia Britannica, 1997. Yayın hakkı *Encyclopædia Britannica* Firmasına aittir ve izni ile basılmıştır.)

# Şişirme Kalıplama

- İlk olarak bir parison veya kısa polimer bir boru yarı mamul ekstrüzyon ile üretilir. Henüz yarı erimiş halde olduğundan, parison iki parçalı ve istenilen ürünün şekline sahip kalıp yarıları arasında yerleştirilir. Üflenene hava veya buharla şişen parison, kalıp duvarlarına yapışarak kalıbın şeklini alır ve içi boş parça elde edilir.



# Döküm

- Metallerde olduğu gibi, plastik malzemeler de erimiş plastik malzemenin kalıp boşluğuna dökülmesi ve katılaşma sonrası parçanın elde edildiği döküm yöntemiyle üretilebilir. Hem termoplastik, hem de termoset polimerler dökülebilirler.

## 15.23 ELASTOMERLERİN ÜRETİMİ

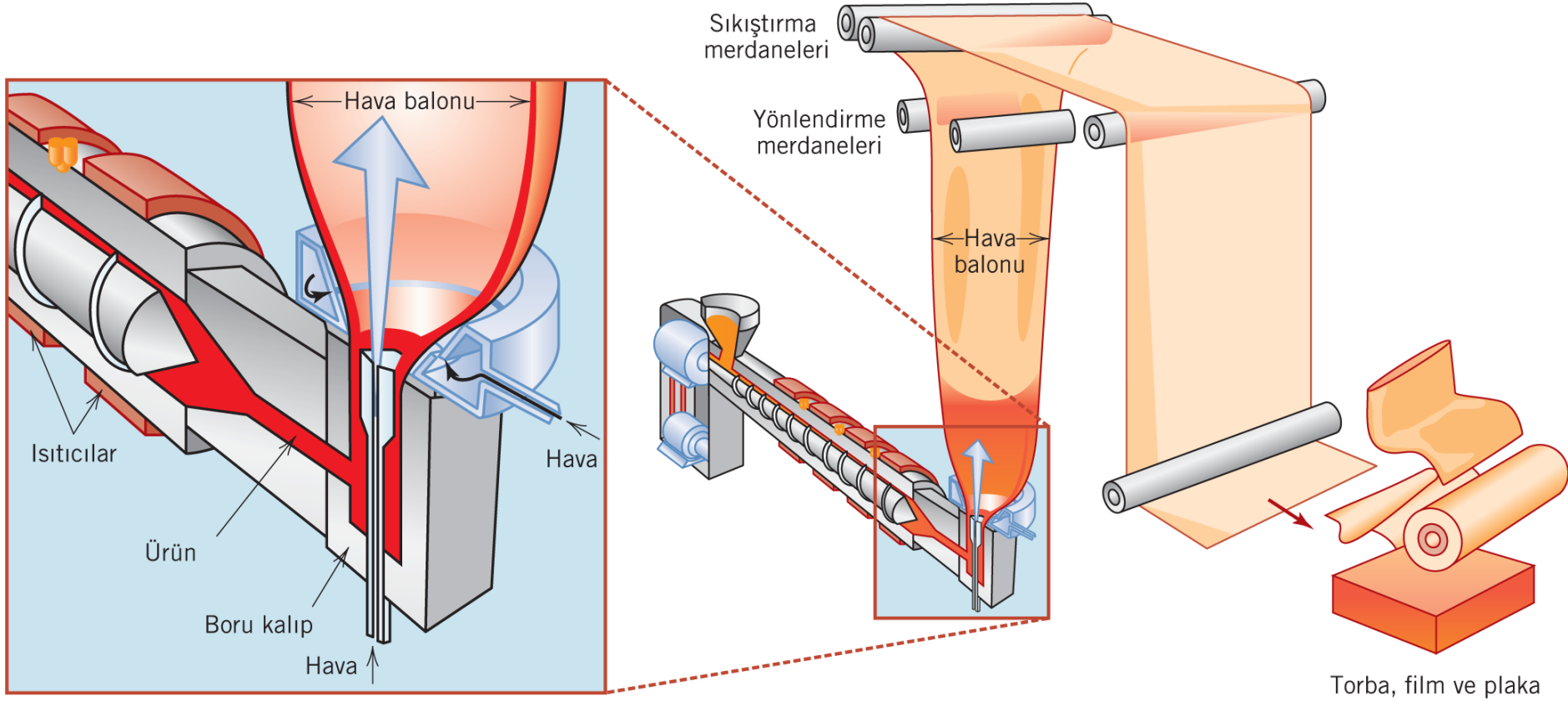
- Kauçuk parçaların üretiminde daha önce plastikler için açıklanan pres kalıplama, ekstrüzyon gibi yöntemler kullanılır. Ayrıca çoğu kauçuk malzemeler vulkanize edilir ve bazıları da karbon siyahı ile güçlendirilir.

# 15.24 ELYAF VE FİLMLERİN ÜRETİMİ

## Elyaflar

- Kütlesel polimer malzemeden elyafların elde edildiği işleme **iplik çekme** adı verilir. Genellikle elyaflar, eriyikten elyaf çekme (melt spinning) işlemiyle elde edilir.

# Filmler



**Şekil 15.26** İnce polimer film yapımında kullanılan donanımın şematik diyagramı. (*Encyclopædia Britannica*, 1997. Yayın hakkı Encyclopædia Britannica Firmasına ait olup, izni ile basılmıştır.)