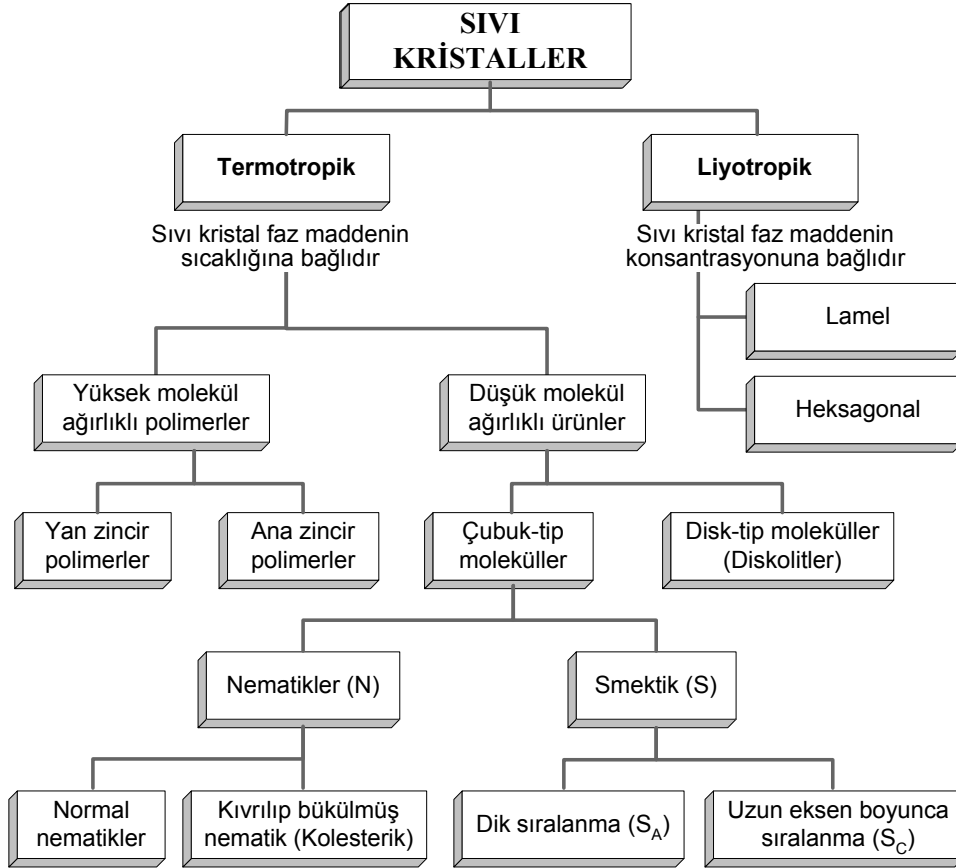


# MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİ

## SIVI KRİSTALLER (LC)

Sıvı kristal, üç boyutlu kristal yapı olmaksızın, anizotropi özellikleriyle karakterize edilebilen termodinamik kararlı bir fazdır; katı ve izotropik sıvı faz arasındaki sıcaklık aralığında yer alan mezofazdır. Sıvı kristaller çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir; örneğin, aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir.



**Sıvı Kristal Polimer (LCP):** Uygun sıcaklık basınç ve konsantrasyonda sıvı kristal mezofaz olarak bulunabilen polimerik malzemedir. Veya, mezogen birimler içeren, dolayısıyla sıvı kristal özellikler gösteren polimerdir.

**Sıvı Kristal Görüntüleme (LCD):** Sıvı kristallerin ışık modülasyon özelliklerinin kullanıldığı düz panel, elektronik, veya video görüntüleme tekniğidir. Sıvı kristaller ışığı doğrudan yayımlamazlar.

**Sıvı Kristal Elastomer (LCE):** Sıvı kristal yapılı uzun, çapraz bağlı polimer zincirlerinin bulunduğu kauçuksu ağ yapılı malzemedir. Elastomer, çapraz bağlar içeren ve kauçuk özellikler gösteren bir polimer sınıfıdır; uygulanan gerilim kaldırıldığında orijinal şekline dönerler.

## Tanımlar

### Sıvı Kristal Polimer (LCP):

- **Ana Zincir Sıvı Kristal Polimer:** Mezogenik birimlerin sadece ana zincirlerinde bulunduğu polimerdir.
- **Yan Grup Sıvı Kristal Polimer:** Mezogenik birimlerin sadece yan zincirlerinde bulunduğu polimerdir.
- **Spacer (Aralayıcı):** Ana zincir sıvı kristal polimer moleküllerinde birbirini takip eden mezogenik birimleri birbirine bağlayan; veya, yan grup sıvı kristal polimerlerde polimer iskeleti üzerindeki mezogenik birimleri birleştiren esnek bir segmenttir.
- **Disruptor (Bozucu):** Ana zincir sıvı kristal polimer molekülleri iskeletinin doğrusal yapısını bozmak için kullanılan kimyasal bir gruptur.
- **Kombine Sıvı Kristal Polimer:** Mezogenik grupların hem ana zincirde ve hem de yan zincirde yer aldığı makromoleküller içeren sıvı kristal polimerdir.
- **Sert Zincir:** Mezogenik grupların doğrudan birbirine bağlı olduğu çubuk şeklindeki ana zincir sıvı kristal polimerdir; persistence (sürekli kısım) uzunluğu, kontür (toplam) uzunlukla kıyaslanabilir seviyelerdedir.
- **Yarı Sert Zincir:** Kontür (toplam) uzunluğun persistence (sürekli kısım) uzunluktan daha büyük olduğu bir polimerik zincirdir.

**Mezomorfik Hal:** Moleküler düzen derecesi, katı kristallerdeki mükemmel üç boyutlu düzenlenme ile, düzensiz yapılardaki (izotropik sıvılar, gazlar ve amorf katılar) maddeler arasında olan bir haldir.

**Mezofaz:** Mezomorfik hal içinde, belirli bir sıcaklık, basınç ve konsantrasyonun üzerinde, meydana gelen fazdır.

- **Enantiyotropik Mezofaz:** Belirli bir sıcaklık veya basınç aralığında termodinamik olarak kararlı olan mezofazdır.
- **Termotropik Mezofaz:** Bir katının ısıtılması veya bir izotropik sıvının soğutulmasıyla; veya, termodinamik olarak kararlı bir mezofazın ısıtılması veya soğutulmasıyla oluşan mezofazdır.
- **Liyotropik Mezofaz:** Uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonda, amfiphilik bir mezogenin uygun bir solventte çözülmesiyle oluşan mezofazdır.
- **Ampitropik Bileşik:** Liyotropik mezofazlar kadar termotropik olarak da bulunabilen bir bileşiktir.
- **Monotropik Mezofaz:** İzotropik bir sıvının aşırı soğutulmasıyla meydana gelen yarı kararlı bir mezofazdır; veya, belirli bir basınçta, kristalin erime noktasının altındaki bir sıcaklıktaki enantiyotropik mezofazdır.

**Mezogen:** Uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonda, mezofaz olarak veya sıvı kristal faz olarak bulunabilen bileşiktir. Mezofazın oluşumunda etkili olan itme ve çekme kuvvetlerinde yeterli anizotropiye sahip olan grup 'mezogenik grup' olarak tanımlanır.

- **Ampifilik Mezogen:** Hidrofilik ve hidrofobik, veya lipofibik ve lipofilik gibi zıt iki molekülden oluşan bir mezogendir.
- **Nonampifilik Mezogen:** Ampifilik tipte olmayan mezogenlerdir; kalamitik, diskotik, piramitik, sanidik, döner-uçlu, yan-zincirli, banana mezogenler, ve sıvı kristal oligomer
- **Metallomezogen:** Bir veya daha fazla metal atomu içeren bir mezogendir.

## **Sıvı Kristal Polimerler (LCP)**

Sıvı kristal plimer, uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonda sıvı kristal mezofaz olarak bulunabilen (çözelti içindeyken kristal halde dizilebilen), veya, ergimiş halde kristal düzende sıralanabilen makromoleküllerdir. Bu tür sıvılar anizotropik davranış gösterirler; bunlardaki düzenli bölgelere 'mezofazlar' denir.

Moleküler sertlik (veya esnemezlik) sıvı kristal davranışın başlıca nedenidir. Bir molekülün sıvı kristal özellik gösterebilmesi için moleküler anizotropiye sahip olması gerekir. Bazı biyolojik polimerler sert heliks konformasyonları nedeniyle sıvı kristal özelliktedirler. Sentetik polimerlerden de sert çubuk şeklinde olanlar sıvı kristal davranışları gösterir; teorik çalışmalara göre, bu tip sentetik polimerlerde moleküler uzunluğun moleküler çapa oranının altıdan büyük olması gerekir. Diğer bazı anizotropik moleküler şekiller de (disk gibi) sıvı kristal özellik gösterebilirler, ancak bunlar sayıca çok azdır.

Moleküllerin sert çubuklar şeklinde olabilmesi polimerlerin kimyasal yapısına bağlıdır. Polimerin iskeleti sert, yani esnek olmayan bir yapıdaysa, 'ana zinciri sıvı kristaller' meydana gelir (mezogenik birimler polimerin sadece ana zincirlerinde bulunur). Polimerin yan zincirleri sertse, 'yan zincir sıvı kristaller' oluşur (mezogenik birimler sadece yan zincirlerde bulunur). Pratikte, her iki durum da polimerin önemli özelliklerini oluşturur.

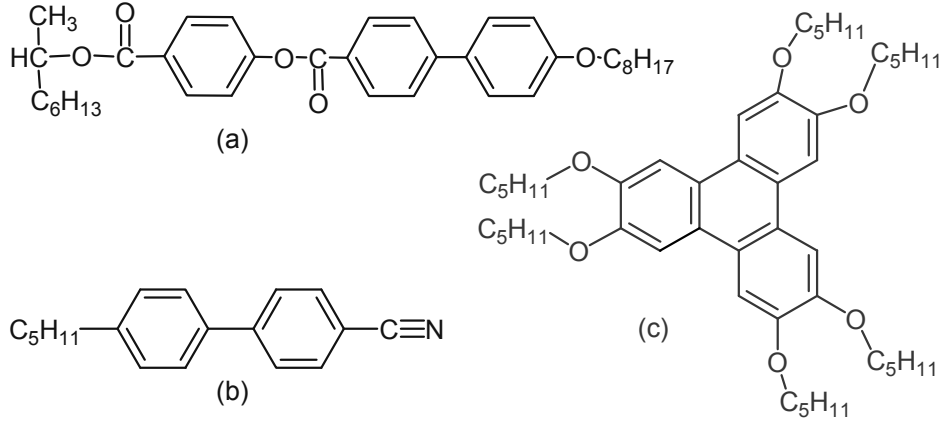
Sıvı kristal polimerlerin çoğu, metallerin, seramiklerin, v.s., yerini almış olan yüksek performanslı fiberlerdir.

### **Sıvı Kristal Polimerlerin Fazları**

Sıvı kristal polimerlerin fazları arasındaki farkı anlamak için bir sıvı kristal biriminin temel bileşenlerinin açıklanması gerekir. Sıvı kristal polimerin sert kısmına "mezogen" denir;

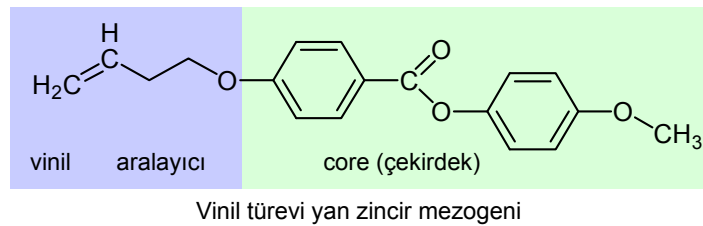
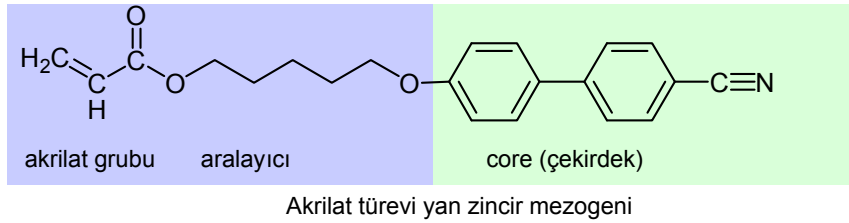
Mezogenler, polimerin yapısına göre çeşitli şekillerde olabilir; örneğin, çubuk-şeklinde veya disk-şeklindeki mezogenlere bakalım:

Çubuk-şeklindeki mezogenler, aynı eksen boyunca yerleşmiş iki veya daha fazla aromatik gruptan oluşur (Şekil-a ve b). Disk-şeklindeki mezogenlerde bir aromatik grup, diğerinin üstünde (aynı ekseninde) yerleşmiştir (Şekil-c); oluşan şekil bir disk görünümündedir.



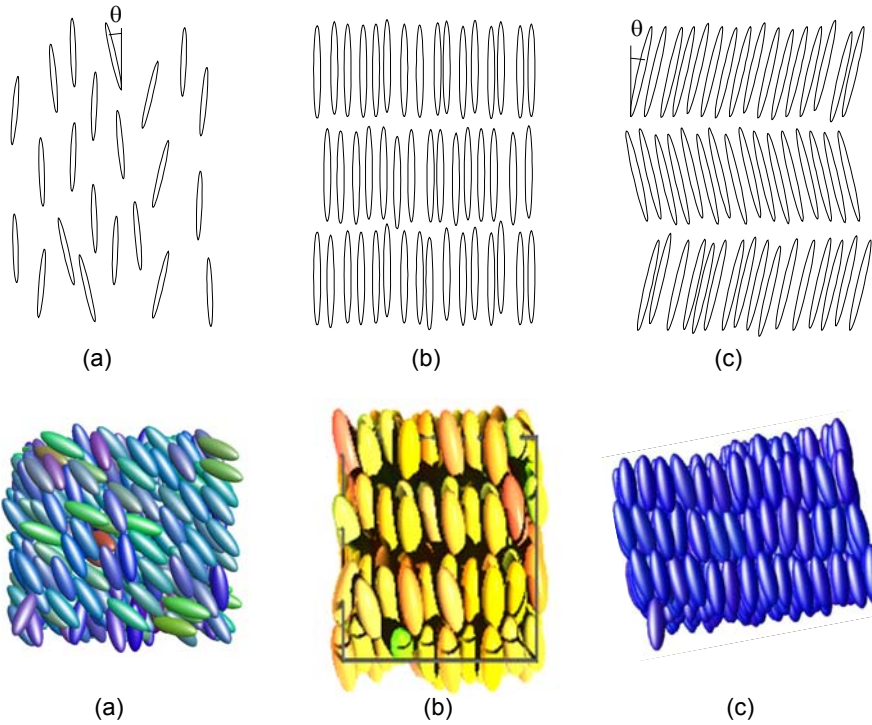
*Tipik bazı termotropik mezogenler; (a), (b) çubuk-şeklinde, (c) klasik disk-tip (diskotik)*

Bu mezogenler, uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonlarda mezofazlar halinde bulunurlar. Mezogenler sert aromatik gruplardan meydana geldiğinden, bunların “daha esnek” olabilmesi için her bir mezogeni diğerinden ayırabilecek bir “spacer (aralayıcı) gerekir. Bu iki yapının bir araya gelmesi çeşitli sıvı kristal fazların meydana gelmesini sağlar.



İki çubuk tip sıvı kristal düzenlenmeden söz edilebilir: smektik ve nematik. Bunların her ikisi de uzun moleküler eksenlere paraleldir. Mikroskopik çalışmalar bu iki sıvı kristal şeklinin açıklanmasında önemli bir yardımcı olmuştur.

Nematik fazda tüm mezofazlar en düşük düzenlenme derecesindedir.; aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, mezogenlerin eksenleri, hareketlerine paralel bir konumdadırlar. Bu durum sıvı faza benzer; 2-boyutludur, dolayısıyla tüm hareketlilikler aynı düzlemdir. Tek bir yön vardır, fakat her bir mezogenin kendine özgü bazı hareketleri yapmasına da olanak tanınır (Şekil-a).



<http://www.newton.ac.uk/programmes/DCF/seminars/100314501.ppt#1>  
[http://mxp.physics.umn.edu/s07/Projects/S07\\_LiquidXTal/theory.htm](http://mxp.physics.umn.edu/s07/Projects/S07_LiquidXTal/theory.htm)

*Mezogenlerin moleküler düzenlenmeleri: (a) nematik bir fazda, (b) bir smektik-A fazda, (c) bir smektik-C fazda*

Sıvı kristalde bulunan diğer bir faz, katı faza benzeyen smektik fazdır; mezogenlerin uzun eksenleri, 2-boyutlu bir mezogen tabakası oluşturacak şekilde birbirlerine paralel olarak yerleşmiştir. Ayrıca, her tabaka 3-boyutlu bir düzenlenme içinde birbirine yanaşmıştır. Bu durumda mezogenlerin kendi tabakalarındaki

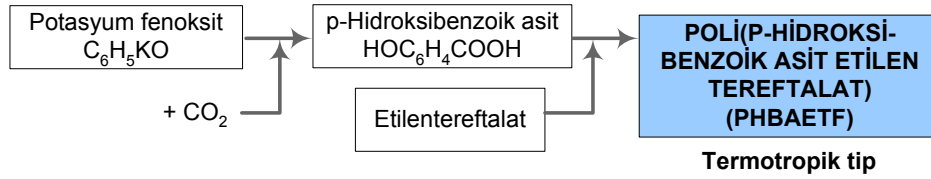
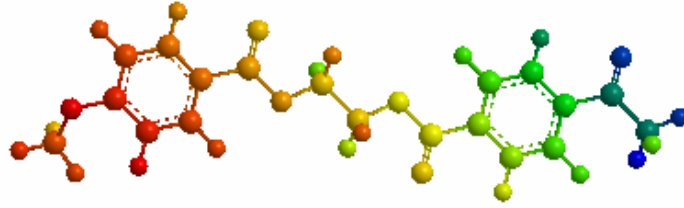
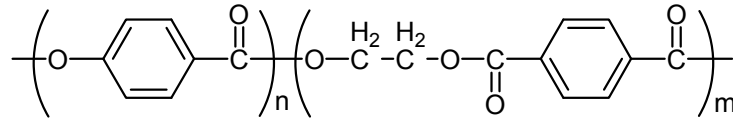
hareketlilikleri ve diğer tabakalarla doğrudan etkileşimleri engellenmiş olsa da moleküller, faz içindeki aynı genel bir yönde sıralanabilirler. Smektik faz, termofazlar arasınca en düzenli olan faz tipidir; polimerin katı faza geçmeden önceki bulunduğu düzenlenme şeklidir (Şekil-b ve c)

### Sıvı Kristal Polimer Tipleri

Sıvı kristal polimerler iki grupta toplanabilir; termotropik ve liyotropik.

Termotropik sıvı kristal polimerler, çeşitli sıvı kristal fazların bazı sıcaklık aralıklarında oluştuğu polimerlerdir; polimer camsı geçiş noktasının (veya ergime noktasının) üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Örneğin, aromatik bir kopoliesterler olan poli(p-hidroksibenzoik asit etilen tereftalat), bir termotropik sıvı kristal polimerdir:

Poli(p-hidroksibenzoik asit etilen tereftalat):

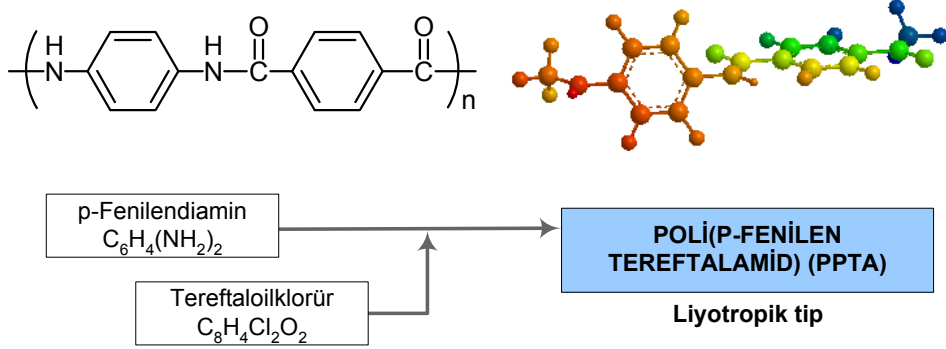


*Termotropik tip bir sıvı kristal polimer üretimi blok diyagram*

Liyotropik sıvı kristal polimerler solventlerle temas ettirildiklerinde sıvı kristal faz meydana getirirler. Aşağıda verilen örnekteki aromatik poliamid kuvvetli bir asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içinde esnek bağları olan mezogenler meydana getirirler, sıvı kristaller

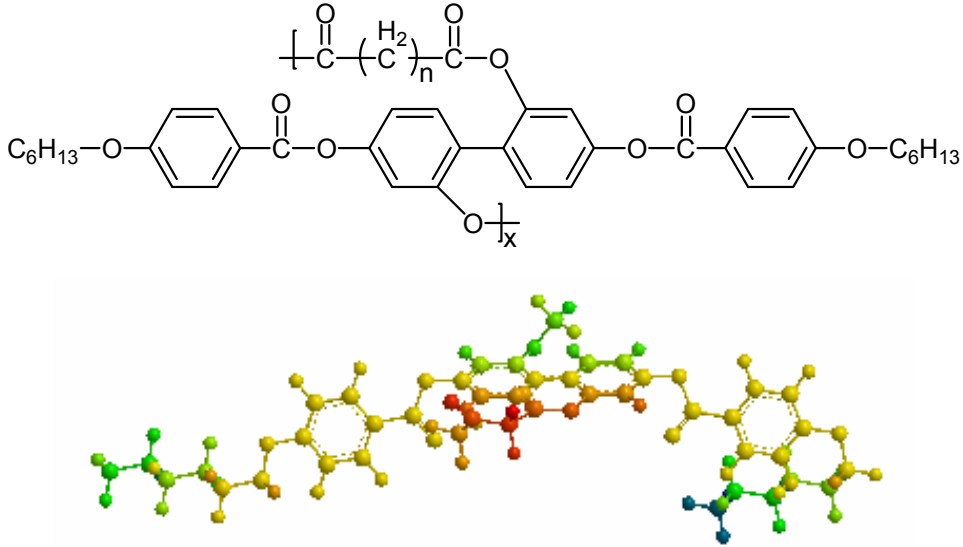
oluşturur ve fiber olarak ekstrud edilebilir. Polimerin sertliği nedeniyle bu tür bir oluşum smektik bir sıvı kristaldir. Solventi uzaklaştırılan fiber çok düzenli bir yapıya sahiptir; fevkalade yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzemedir.

Poli(p-fenilen tereftalamid):



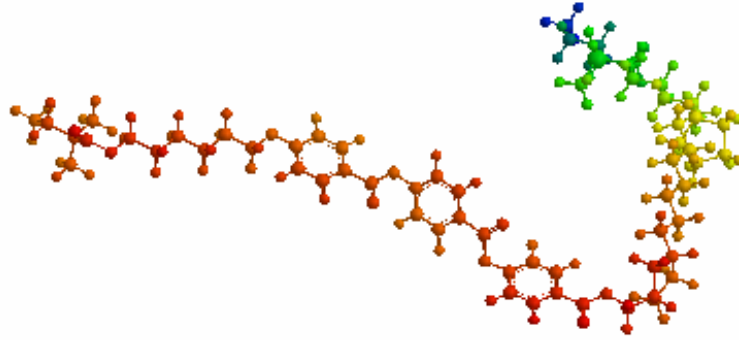
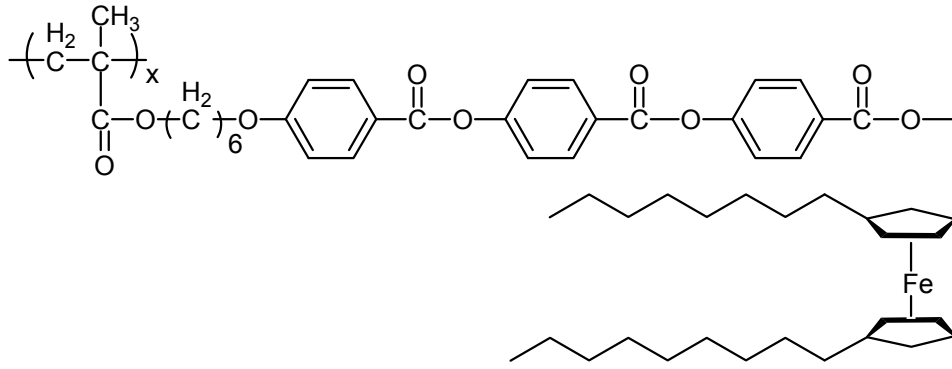
*Liyotropik tip bir sıvı kristal polimer üretimi blok diyagramı*

Ana zincirde mezojenlerin yer aldığı sıvı kristal polimerlere bir örnek aşağıda gösterilmiştir. Bu tür maddeler nematik fazda çift eksenli bir dalgalanma gösterirler.





Mezomorfik özellikler içeren polimetakrilat sıvı kristal polimerlerin sentezi de yapılabilmektedir. Bunlar iki esnek zincirli ferrosenler içeirler. Dilatometrik çalışmalar monomerik birimlerin smektik fazda baş-kuyruk moleküler düzenlenmede yerleştiğini göstermiştir. Ferrosenin elektrokimyasal özellikleri nedeniyle bu tür maddeler elektronegatif mezomorfik polimerlerin geliştirilmesinde önemli türlerdir. Polimerin yapısı aşağıdaki şema ile gösterilebilir.

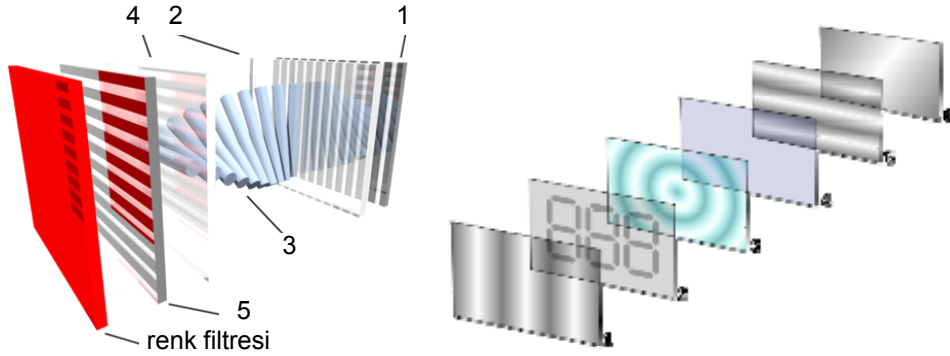


## Sıvı Kristal Görüntüleme (LCD)

Bir LCD'nin her pikseli, iki geçirgen elektrot ve iki polarize edici filtre arasında dizili bir moleküller tabakasından oluşur; geçirgenlik eksenleri, çoğu kez, birbirlerine diktir. Polarizasyon filtreleri arasında bulunan sıvı kristal ile, birinci filtreden geçen ışık ikinci polarizer tarafında bloke edilir.

Sıvı kristal malzemeyle temas halinde olan elektrotların yüzeyi, sıvı kristal moleküllerin bir yönde dizilebilecekleri şekilde özel bir işleme hazırlanır. Elektrotlar, geçirgen iletken indiyum kalay oksittir (ITO). LCD, doğası nedeniyle pasif bir malzemedir, basit bir ışık valfidir. Görüntünün kontrol ve yönetimi LCD-Drivers olarak tanımlanan bir veya daha fazla devreyle yapılır.

Bir elektrik alanı uygulanmadan önce sıvı kristal moleküllerin dizilişleri elektrotların yüzeyi tarafından belirlenmiştir. Halen en iyi bilinen sıvı kristal olan bükülü (twisted) nematik malzemede, iki elektrottaki yüzey yerleşim yönleri birbirine dik olduğundan moleküller birbirleriyle bir heliks yapıda veya bükülü (twist) bir yapıda olacak şekilde düzenlenmişlerdir. Bu durum gelen ışığın polarizasyon dönmesini etkileyerek gri renk oluşmasına sebep olur. Uygulanan voltajın yeteri kadar büyük olması halinde, tabakanın ortasındaki sıvı kristal moleküller tamamen bükülmemiş halde kalır ve sıvı kristal tabakadan geçerken ışığın polarizasyonu dönmez. Bu ışık daha sonra, ikinci filtreye dik olarak tümüyle polarize olur, böylece bloke edilir ve piksel siyah renk alır. Her pikseldeki sıvı kristal tabakaya uygulanan voltaj kontrol edildiğinde, geçen ışık miktarı ayarlanarak değişik renk tonlarının elde edilmesi sağlanır.



LCD'nin yapısı: 1: dikey polarizasyon filtresi, 2,4: elektrotlu cam, 3: sıvı kristaller, 5: yatay polarizasyon filtresi, 6: reflektör ([http://en.wikipedia.org/wiki/File:LCD\\_layers.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:LCD_layers.svg))

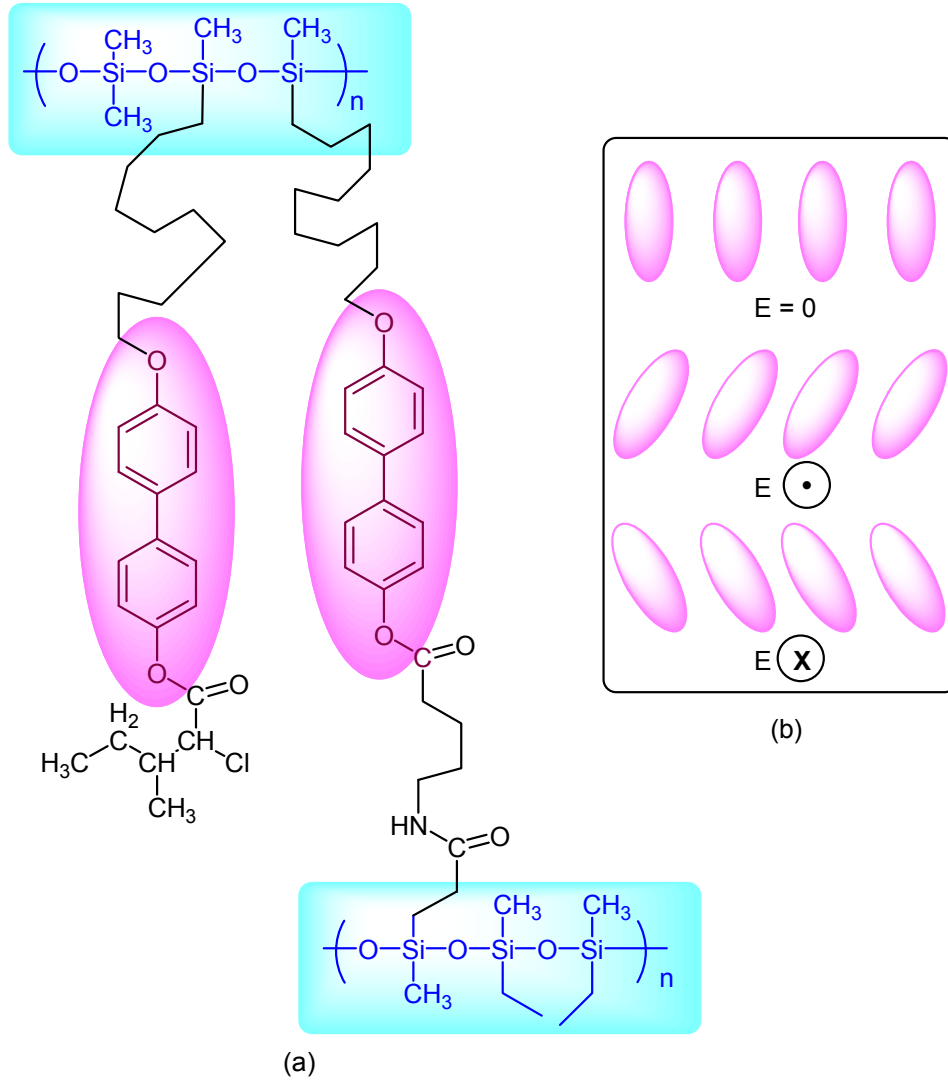
## Sıvı Kristal Elastomerler (LCE)

Sıvı kristal elastomerler, anizotropik sıvı kristal (nematik, kolesterik veya smektik) ile kauçuğun bir kombinasyonudur; bu durumda oryantasyonel sıralanma ve mekanik gerilme-gevşeme özellikleri istenildiği gibi geliştirilebilir. Oryantasyon, mekanik gerilme veya çapraz bağlanmayla düzenlenir. Sıvı kristal polimerlerde faz değişikliğinin gerçekleşmesi için termal veya elektrostatik enerji uygulanır.

Polimerik ağ yapısıyla, sıvı kristal mezogenlerin oryantasyonel düzendeki birleşmeleri izotropik faz geçiş sıcaklığına kadar kararlıdır. Sıvı kristal izotropik faz geçiş sıcaklığında, sıvı kristal ağ yapısı izotropik hale geçer ve geleneksel kauçuk gibi davranır; yani, tüm ağ yapısının boyutlarında gerekli değişiklikler meydana gelir. Ancak, oryantasyon düzeni ve sıvı kristal bileşiğin anizotropik yapısı nedeniyle ağ yapı, yönlenme eksenine boyunca kasılır. Nematik yan zincir sıvı kristal elastomerler için uzunluktaki değişim %40, ana zincir sıvı kristal elastomerlerde ise %500 dolayındadır. Kasılma hızı malzeme taransportuna değil, ağ yapısının termal ısı iletkenliğine bağlıdır (Şekil-a).

Sıvı kristal moleküller faz geçişi sırasında hareketlenip yeniden düzenlenirken mekanik bir gerilme ve gevşeme meydana gelir, gerilme bölgeleri, statik kuvvetlerin toplanmasını engeller. Sıvı kristal elastomerlerde ise, sıvı kristaller (mezogenler) polimere çapraz bağla bağlandığından serbest hareketleri engellenir; ancak, esnek polimer iskeleti yine de, mezogenlerin yeniden düzenlenmelerine izin verir (Şekil-a).

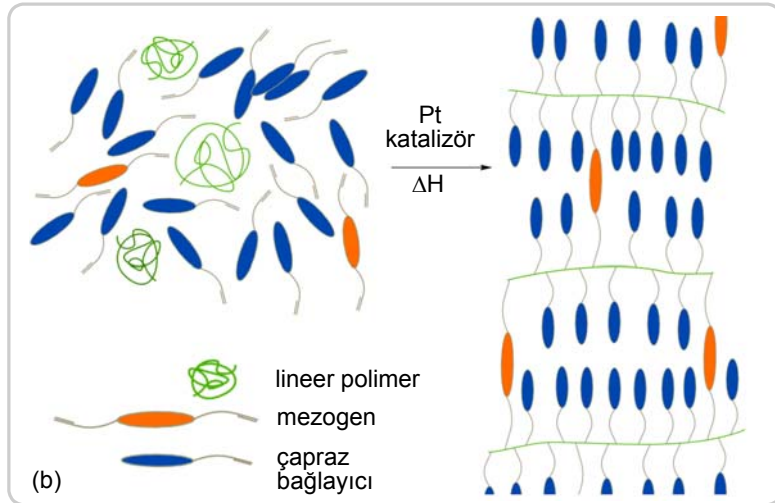
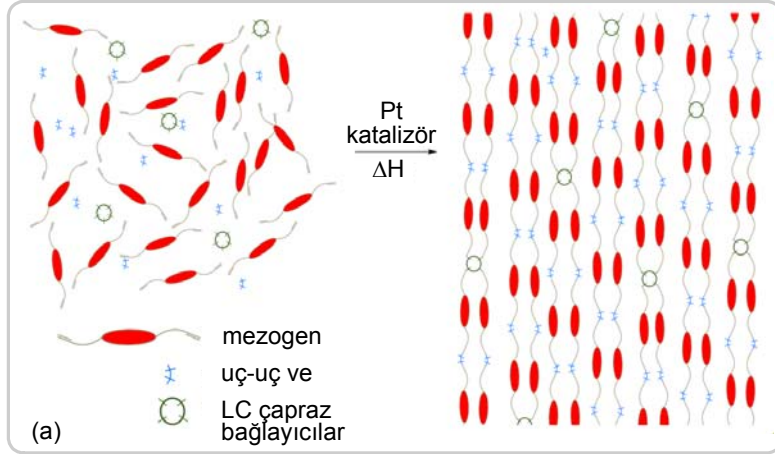
Sıcaklık değişimiyle, veya elektrik alanı uygulanmasıyla meydana gelen mezogenlerin düzenindeki değişim, gerilmeler ve gevşemeler yaratır ve polimer iskelet yapı tarafından mekanik iş olarak transfer edilir. Ferroelektrik sıvı kristaller bir dış elektrik alanı uygulandığında büzülür ve genişler, mezogenik birimlerin yerleşimleri değişir (Şekil-b). Yeniden düzenlenme sistemde gerilme ve gevşemelere sebep olur.



Ferroelektrik sıvı kristal elastomer; polimer iskeleti (yeşil kare) siloksan, ve mezogenler (pembe, oval) <http://www.actuatorweb.org/index.php?page=actuatorLCE>

## LCE ÖRNEKLER

([http://nlcmf2.lci.kent.edu/about\\_the\\_nlcmf/whatR\\_response.htm](http://nlcmf2.lci.kent.edu/about_the_nlcmf/whatR_response.htm))



*Vinil mezogenin metilhidrosiloksan polimeriyle, hidrosilasyon reaksiyonu yoluyla elde edilmiş olan (a) ana zincir LCE, (b) yan zincir LCE*

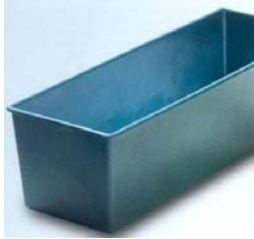
## Uygulama Alanları

Sıvı kristal polimerler (LCP) aromatik polyesterlerdir; son derece kararlıdır, reaksiyona girmezler ve yanmaya karşı dirençlidir. Gerilme kuvveti ve modülü, dielektrik kuvveti yüksektir, kimyasal maddelere ve aşınmaya dirençlidir, nem absorpsiyonu çok düşüktür.

LCP, mikrodalga frekansa karşı etkindir, yiyecek kapları, düz ekran televizyonlar, kol saati, digital saatler, laptop ekranları, mikroelektromekanik sistemler gibi. Çok iyi sterilize edilebildiğinden tıpta çeşitli amaçlarla, termometrelerde v.s.de kullanılır. Otomotiv sektöründe, elektrik malzemeleri ve mekanik parçalar üretiminde, yiyecek paketlemede, yüksek kuvvetler ve kimyasal direnç gerektiren malzemeler üretiminde kullanılmaktadır.

Sıvı kristal görüntülemelerin (LCD) geniş bir kullanım alanı vardır; bilgisayar monitörleri televizyonlar, enstrüman panelleri, uçak kokpit görüntüleri, tabelalar gibi. Tüketici malzemeleri arasında video oynatıcılar, oyun aletleri, saatler, hesap makineleri, telefonlar önemli kullanım alanlarıdır. LCD, enerji yönünden CRT'den (katot ışını tüpü) daha verimlidir, daha az elektrik tüketir.

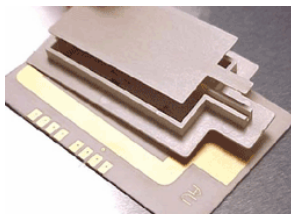
Sıvı kristal elastomerler (LCE) yüksek termoelastik özelliklere sahiptir; bu özellikleri nedeniyle tıpta çeşitli amaçlarla kullanılırlar, örneğin yapay kas uygulamaları gibi. LCE'ler dar bir sıcaklık aralığında yüksek gevşeme özelliği gösterirler. Polimerik maddeye ve yapıya göre yumuşak veya yarı yumuşak elastik yapıda olabilirler. Liyotropik sıvı kristaller sıkıştırılmayla izotropik yapılanmadan nematik duruma geçerler. LCE'lerden liyotropik nematik jeller, karbon nanotüpler ve elastomerik membranlar gibi çok çeşitli malzemeler üretilmektedir.



[http://www.rutlandplastics.co.uk/high\\_heat\\_plastics.shtml](http://www.rutlandplastics.co.uk/high_heat_plastics.shtml)



<http://spinoff.nasa.gov/spinoff2002/goddard.html>



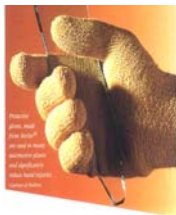
<http://www.empf.org/empfasis/2006/june06/lcd-0606.html>



<http://mfg355.groups.et.byu.net/pages/lectures/powerpoint>



<http://www.madehow.com/Volume-1/Liquid-Crystal-Display-LCD.html>



Courtesy of



<http://chem.yonsei.ac.kr/chem/upload/CHE3109-01-00/111701495842165.ppt#27>