

۲	مقدمه: .....
۳	۱-۱) معرفی بلورهای مایع .....
۴	۲-۱) طبقه بندی بلورهای مایع .....
۸	۳-۱) ساختار بلورهای مایع .....
۸	۱-۳-۱) هسته: .....
۹	۲-۳-۱) گروههای انتهای: .....
۱۰	۱-۲-۱) بلورهای مایع نماتیک .....
۱۱	۲-۲-۱) بلورهای مایع سمکتیک .....
۱۲	۳-۲-۱) کلستریکها .....
۱۴	۴-۱) ناهمسانگردی و دوشکستی در بلورهای مایع .....
۱۶	۵-۱) جهت دهی بلورهای مایع .....
۱۷	۶-۱) رنگینه‌ها .....
۱۹	۷-۱) پارامتر نظم در فاز نماتیک .....
۲۱	۸-۱) کاربردهای بلور مایع .....
۲۲	۹-۱) غیرخطیت بلورهای مایع .....
۲۶	۱۰-۱) انتشار نور در یک محیط غیرخطی .....
۲۷	۱۱-۱) ضریب شکست وابسته به شدت و اثر خودکانونی .....
۳۰	۱۲-۱) جذب غیرخطی .....

- ۱-۱۲-۱) جذب دوفوتونی ..... ۳۰
- ۱-۱۲-۲) اشباع جذب ..... ۳۱
- ۱-۱۳) سازوکارهای تغییرات ضریب شکست القایی توسط لیزر در بلورهای مایع ..... ۳۲
- ۱-۱۴) جهتگیری مجدد مولکولی در بلورهای مایع نماتیک آلائیده با رنگینه ..... ۳۴
- ۱-۱۵) اثر جانوسی ..... ۳۶
- ۱-۱۶) روش جاروب Z برای اندازه گیری پاسخ نوری غیرخطی مرتبه سوم ..... ۳۸
- ۱-۱۶-۱) مقدمه ..... ۳۸
- ۱-۱۶-۲) اصول روش جاروب-Z ..... ۳۹
- ۱-۱۶-۳) فرمول بندی روش جاروب Z ..... ۴۲
- ۱-۱۶-۴) اثر جذب غیرخطی ..... ۴۸
- ۲-۱) مواد مورد استفاده ..... ۵۲
- ۲-۱-۱) بلور مایع 1294-1b ..... ۵۲
- ۲-۱-۲) رنگینه حلال آبی ۵۹ ..... ۵۲
- ۲-۱-۳) رنگینه حلال آبی ۳۵ ..... ۵۴
- ۲-۱-۴) رنگینه حلال سبز ۳ ..... ۵۵
- ۲-۱-۵) رنگینه نیل بلو<sup>۱</sup> ..... ۵۶
- ۲-۲) تهیه سلولهای بلور مایع ..... ۵۸
- ۲-۲-۱) سلول بلور مایع با آرایش موازی ..... ۵۸

---

<sup>1</sup> - Nile blue

۵۹.....	۲-۲-۲) سلول بلور مایع با آرایش عمودی
۶۰.....	۳-۲) اثر میهمان- میزبان
۶۲.....	۴-۲) سیستم جابجا کننده
۶۳.....	۵-۲) آرایش جاروب-Z با استفاده از لیزر هلیوم-نئون (He-Ne)
۶۶.....	۱-۳) محاسبه ضریب شکست غیرخطی ( $n_2$ )
۶۷.....	۲-۳) اندازه‌گیری طیف مرئی و دورنگ نمایی خطی
	۳-۱-۱) نمودارهای جاروب-Z با روزنه بسته برای تعیین اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی
	$n_2$ ، بلور مایع نماتیک 1294-1b آلاینده با رنگینه‌های حلال آبی ۵۹، حلال آبی ۳۵ و حلال سبز ۳
۶۸.....	
	۳-۱-۲) نمودار جاروب-Z با روزنه بسته برای تعیین اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی، $n_2$
۷۹.....	بلور مایع نماتیک 1294-1b آلاینده با رنگینه Nile blue
۸۱.....	۳-۳) محاسبه ضریب جذب غیرخطی ( $\beta$ )
۸۵.....	نتیجه‌گیری

- شکل ۱-۱ : (الف) یک مولکول بلور مایع دیسکی شکل (ب) یک مولکول بلور مایع میله ای شکل..... ۵
- شکل ۲-۱ گذار فازی در بلور مایع ترموتروپیک..... ۶
- شکل ۳-۱ ساختمان بلور مایع لیوتروپیک..... ۷
- شکل ۴-۱ ساختمان بلور مایع پلیمریک. (الف) زنجیره اصلی، (ب) زنجیره جانبی..... ۷
- شکل ۵-۱ ساختار مولکولی بلور مایع..... ۸
- شکل ۶-۱ ساختار مولکولی بلور مایع nCB (الف) 5CB، (ب) 6CB، (ج) nCB. با افزایش n خواص فیزیکی بلور مایع دستخوش تغییر میشود..... ۱۰
- شکل ۷-۱ (الف) ساختار مولکول سمکتیک c (ب) ساختار مولکول سمکتیک c\*..... ۱۱
- شکل ۸-۱ ساختار مولکولی بلور مایع کلستریک..... ۱۲
- شکل ۹-۱ آرایشهای مزوفازهای مختلف ترموتروپیک (الف) نماتیک: نظم جهتی دارند ولی نظم مکانی ندارند، (ب) سمکتیک: نظم جهتی دارند و اندکی نیز نظم مکانی (لایه‌ای) دارند، (ج) کلستریک: دارای نظم جهتی از نوع نماتیکی هستند ولی لایه‌ها نسبت به هم دارای پیچش میباشند..... ۱۳
- شکل ۱۰-۱ دوشکستی مولکول بلور مایع..... ۱۶
- شکل ۱۱-۱ جهت دهی مولکولهای بلور مایع در داخل سلول..... ۱۶
- شکل ۱۲-۱ مولکولهای گروه آزو، (الف) آزوبنزن، (ب) آمینوآزوبنزن (ج) سودواستیلین..... ۱۸
- شکل ۱۳-۱ پارامتر نظم اسکالر، جهتگیری مولکولهای بلور مایع را حول بردار راهنما نشان میدهد..... ۱۹
- شکل ۱۴-۱ پارامتر نظم به صورت تابعی از دما..... ۲۰
- شکل ۱۵-۱ الف- نمایشگر کریستال مایع، ب- پنجره های کریستال مایع..... ۲۲
- شکل ۱۶-۱ جذب دو فوتونی..... ۳۱
- شکل ۱۷-۱ (الف) مولکولها در حالت پایه (ب) حالت برانگیخته (ج) اثر مولکولهای رنگینه در حالت پایه و برانگیخته بر مولکولهای میزبان..... ۳۷
- شکل ۱۸-۱ آرایش تجربی روش جاروب Z..... ۴۰
- شکل ۱۹-۱ منحنی های تراگسیل بهنجار شده جاروب Z برای مواد با ضریب شکست مثبت و منفی..... ۴۲

شکل ۲۰-۱ منحنی های جاروب z از بالا به پایین به ترتیب برای جذب اشباع، جذب خطی و جذب دوفوتونی ۴۸	
شکل ۱-۲ ساختار مولکولی رنگینه حلال آبی ۵۹.....	۵۳
شکل ۲-۲ ساختار مولکولی رنگینه حلال آبی ۳۵.....	۵۴
شکل ۳-۲ ساختار شیمیایی رنگینه حلال سبز ۳.....	۵۵
شکل ۴-۲ ساختار شیمیایی رنگینه Nileblue.....	۵۷
شکل ۵-۲ مدولاسیون الکترواپتیک نور توسط سیستم میهمان-میزبان الف) بدون اعمال میدان ب) با اعمال میدان	
.....	۶۲
شکل ۶-۲ آرایش تجربی روش جاروب Z- با استفاده از لیزر هلیوم- نئون.....	۶۴
شکل ۱-۳ منحنی تراگسیلیدگی جاروب-z با روزنه بسته برای بلور مایع 1294-1b آلابیده شده با رنگینه حلال	
آبی ۵۹.....	۶۹
شکل ۲-۳ منحنی تراگسیلیدگی جاروب z با روزنه بسته برای نمونه 1294-1b آلابیده با رنگینه حلال آبی ۳۵	
.....	۷۰
شکل ۳-۳ منحنی تراگسیلیدگی جاروب z با روزنه بسته برای نمونه 1294-1b آلابیده با رنگینه حلال سبز ۳۰۳	
شکل ۴-۳ طیف جذبی رنگینه حلال آبی ۵۹ در داخل حلالهای آلی (۱- Dioxane -۲ Acetone -۳ Ethanol	
۴- DMF -۵ Methanol -۶ 1294-1b liquid crystal).....	۷۴
شکل ۵-۳ طیف جذبی رنگینه حلال آبی ۳۵ در داخل حلالهای آلی (۱- Dioxane -۲ Acetone -۳ Ethanol	
۴- DMF -۵ Methanol -۶ 1294-1b liquid crystal).....	۷۴
شکل ۶-۳ طیف جذبی رنگینه حلال سبز ۳ در داخل حلالهای آلی (۱- Dioxane -۲ Acetone -۳ Ethanol	
۴- DMF -۵ Methanol -۶ 1294-1b liquid crystal).....	۷۵
شکل ۷-۳ طیف جذبی قطبشی رنگینه حلال آبی ۵۹ در داخل بلور مایع 1294-1b.....	۷۶
شکل ۸-۳ طیف جذبی قطبشی رنگینه حلال آبی ۳۵ در داخل بلور مایع 1294-1b.....	۷۷
شکل ۹-۳ طیف جذبی قطبشی رنگینه حلال سبز ۳ در داخل بلور مایع 1294-1b.....	۷۷
شکل ۱۰-۳ منحنی تراگسیلیدگی جاروب z با روزنه بسته برای نمونه 1294-1b آلابیده با رنگینه Nile blue	
.....	۷۹

---

شکل ۱۱-۳ طیف جذبی رنگینه Nile blue در داخل بلور مایع 1294-1b	۸۰
شکل ۱۲-۳ منحنی تراگسیلیدگی نرمالیزه جاروب-z با روزنه باز برای بلور مایع 1294-1b آلابیده با رنگینه	
حلال سبز ۳	۸۲
شکل ۱۳-۳ منحنی تراگسیلیدگی نرمالیزه جاروب-z با روزنه باز برای بلور مایع 1294-1b آلابیده با رنگینه	
حلال آبی ۵۹	۸۳
شکل ۱۴-۳ منحنی تراگسیلیدگی نرمالیزه جاروب-z با روزنه باز برای بلور مایع 1294-1b آلابیده با رنگینه	
Nile blue	۸۳

جدول ۱-۲	مشخصات فیزیکی بلور مایع نماتیک مخلوط 1294-1b	۵۲
جدول ۲-۲	خواص فیزیکی رنگینه حلال آبی ۵۹	۵۳
جدول ۳-۲	خواص فیزیکی رنگینه حلال آبی ۳۵	۵۴
جدول ۴-۲	خواص فیزیکی رنگینه حلال سبز ۳ (Solvent green 3)	۵۵
جدول ۵-۲	ماکزیمم جذب و گسیل رنگینه Nile blue در حلالهای مختلف	۵۶
جدول ۶-۲	خواص فیزیکی رنگینه Nile blue	۵۷
جدول ۱-۳	مقادیر تجربی بدست آمده برای نمونه های مذکور در داخل بلور مایع	۷۱
جدول ۲-۳	ماکزیمم طول موج جذب رنگینه های حلال آبی ۵۹، حلال آبی ۳۵ و حلال سبز ۳ در داخل بلور مایع 1294-1b و حلالهای آلی	۷۵
جدول ۳-۳	نتایج تجربی برای نسبت دورنگ نمایی و پارامتر نظم	۷۸
جدول ۴-۳	نتایج تجربی برای رنگینه Nile blue در داخل بلور مایع 1294-1b	۸۱
جدول ۵-۳	نتایج تجربی جاروب-z با روزنه باز برای نمونه های مختلف	۸۱

# فصل اول

## کلیات

(مفاهیم اساسی و مقدمه‌ی پژوهشی)



**مقدمه:**

در این پروژه خواص اپتیک غیرخطی تعدادی از بلورهای مایع نماتیک آلیبده بارنگینه مطالعه شده است. یکی از اهداف اصلی توسعه بلورهای مایع و رنگینه‌های جدید، مطالعه بر روی پارامترهای فیزیکی آنها برای بهبود و توسعه عملکرد آنها، کاربردهای موجود و جستجوی کاربردهای جدید می‌باشد.

علاوه بر بزرگ بودن غیرخطیت نور القایی در بلورهای مایع، با استفاده از یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی با قدرت کم، این خواص نوری براحتی قابل کنترل است. خواص اساسی بلورهای مایع از جمله دماهای گذار فاز، چسبندگی و غیره می‌تواند با مخلوط آنها با یکدیگر تغییر یابد. و این ویژگیهای بلورهای مایع است که آنها را به عنوان موادی مناسب برای کاربردهای زیادی از جمله، نمایشگرها، ذخیره کننده‌های نوری و غیره معرفی کرده است.

هرچند که بلورهای مایع اساساً موادی با خاصیت غیرخطی بالا هستند، با وجود این پاسخ جهت‌گیری مجدد مولکولی در بلورهای مایع با افزودن مقدار کمی از یک رنگینه دو رنگ و جاذب نور، با ضریب بزرگی تقویت می‌شود. افزایش غیرخطیت بلورهای مایع در حضور رنگینه از این واقعیت نشأت می‌گیرد که در این حالت علاوه بر اثر گشتاور اپتیکی، جهت‌گیری مجدد بردار راهنما با مشارکت یک گشتاور دیگر بنام گشتاور رنگینه القایی انجام می‌گیرد. با به حساب آوردن توزیع فضایی شدت پرتو نوری، ضریب شکستی که توسط پرتو نور در داخل ماده تجربه می‌شود تابع شدت آن خواهد بود. ضریب شکست وابسته به شدت، محیط را به یک عدسی غیرخطی تبدیل می‌کند و باعث می‌شود که ضریب شکست و در نتیجه سرعت انتشار نور در قسمتهای مختلف پرتو متفاوت شده و منجر به پدیده‌های خود-کانونی یا خودواکانونی شود.

در این پروژه، برای مطالعه خواص اپتیک غیرخطی بلورهای مایع آلاینده با رنگینه، برای تعیین اندازه و علامت ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی بلورهای مایع آلاینده با رنگینه از روش ساده جاروب Z استفاده شده است.

مطالب پایان نامه در سه فصل به صورت زیر طبقه‌بندی شده است: در فصل اول مقدمه‌ای بر معرفی و تاریخچه بلورهای مایع و همچنین برخی منابع و کارهایی که از قبل انجام شده است آورده شده است. در فصل دوم مواد و روشهای تجربی مورد استفاده برای انجام پروژه آورده شده است و در فصل دوم نتایج تجربی به همراه بحث و نتیجه‌گیری آورده شده است.

### ۱-۱) معرفی بلورهای مایع<sup>۱</sup>

بلور مایع یک فاز جدید از ماده است و به موادی گفته می‌شود که بین دو فاز مایع همسانگرد و جامد بلوری قرار دارند. اگر از دیدگاه ساختاری به موضوع پردازیم مولکولهای یک بلور جامد مکانهای مشخص را اشغال کرده‌اند و محور مولکولی آنها مقید به نظم در جهت‌های ویژه می‌باشند بنابراین یک جامد بلوری هم نظم مکانی و هم نظم جهتی دارد. از سوی دیگر در مایعات معمولی مولکولها به طور تصادفی در کنار هم قرار گرفته‌اند لذا مایعات معمولی فاقد نظم جهتی و نظم مکانی هستند. بلورهای مایع خواص حدواسط دو فاز جامد و مایع را دارند. بلورهای مایع مانند مایعات معمولی جاری می‌شوند و از طرفی مانند بلورهای جامد خواص ناهمسانگردی از خود نشان می‌دهند. بلور مایع برای نخستین بار در سال ۱۸۸۸ توسط راینیتیزر<sup>۲</sup> مشاهده گردید. راینیتیزر گیاه شناس اتریشی بود که در هنگام مطالعه بنزوات کلسترول متوجه وجود دو نقطه ذوب برای این ماده گردید. وی

<sup>۱</sup> - Liquid crystals

<sup>۲</sup> - Raynitzer

دریافت که این ماده ابتدا در ۱۴۵/۵ درجه سانتیگراد ذوب شده و مایعی کدر بوجود می آورد. سپس در دمای ۱۷۸/۵ درجه سانتیگراد ناگهان به رنگ آبی مایل به بنفش شفاف تبدیل می گردد. در اثر سرد کردن نیز حالت کدر دوباره پدیدار گشته و سپس تبدیل به بلورهای سفید متبلور می گردد. بعد راینیتیزر نمونه را برای همکارش لهما فرستاد.

نام بلور مایع اولین بار توسط اُ- لهما<sup>۱</sup> در سال ۱۸۹۰ بکار برده شده است. از آنجائیکه خواص مکانیکی و تقارن مواد بلور مایع مابین خواص مایعات معمولی و بلورهای جامد است آنها را فاز میانی<sup>۲</sup> یا مزومورفیک نیز می نامند. مولکولهای بلور مایع به دو شکل میله ای<sup>۳</sup> و دیسکی<sup>۴</sup> هستند [۱ و ۲]. شکل ۱-۱ ساختار مولکول بلور مایع میله ای و دیسکی را نشان می دهد.

## ۱-۲) طبقه بندی بلورهای مایع

بلورهای مایع به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- بلورهای مایع ترموتروپیک<sup>۵</sup>

۲- بلورهای مایع لیوتروپیک<sup>۶</sup>

۳- بلورهای مایع پلیمریک<sup>۷</sup>

<sup>۱</sup> - O. Lehman

<sup>۲</sup> - Mesophase

<sup>۳</sup> - Clamitic

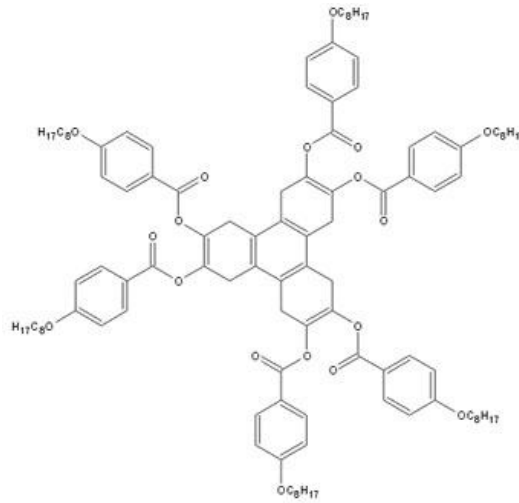
<sup>۴</sup> - Discotic

<sup>۵</sup> - Thermotropic

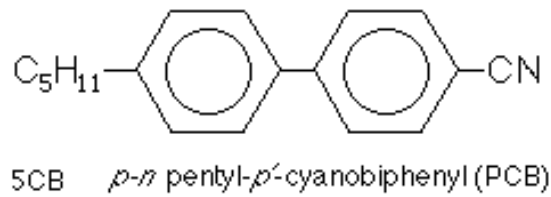
<sup>۶</sup> - Lyotropic

<sup>۷</sup> - Polymeric

الف

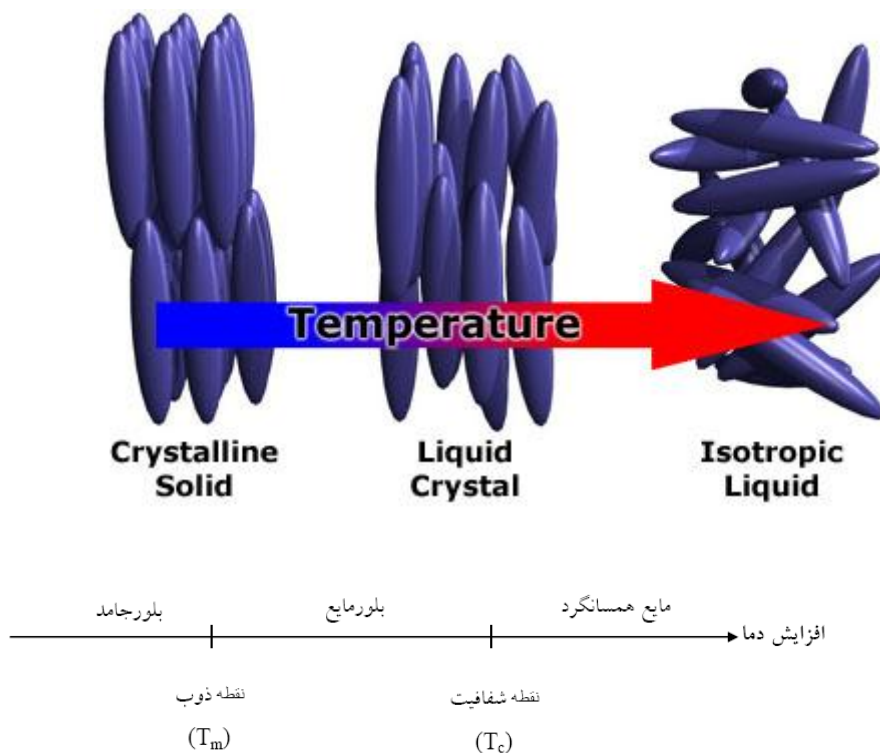


ب



شکل ۱-۱: (الف) یک مولکول بلور مایع دیسکی شکل (ب) یک مولکول بلور مایع میله ای شکل

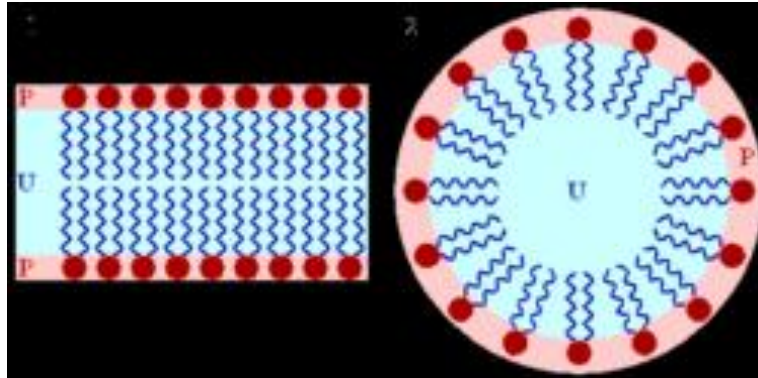
بلورهای مایع ترموتروپیک موادی هستند که با تغییرات دما شکل می‌گیرند. در واقع گذار فازی در این دسته از بلورهای مایع با تغییر دما رخ می‌دهد. ناحیه‌های فازی مختلف بر حسب دما در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



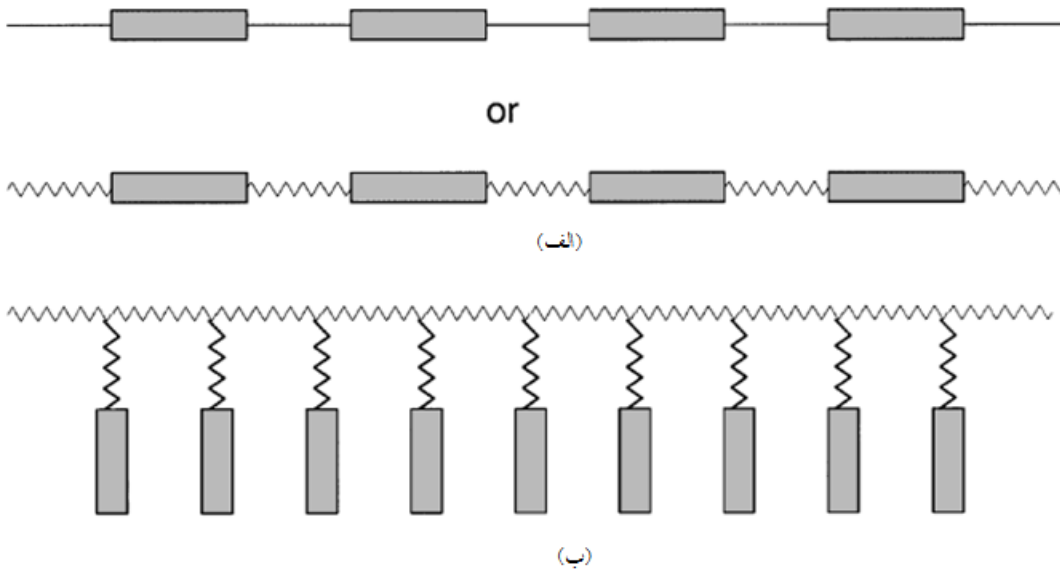
شکل ۲-۱ گذار فازی در بلور مایع ترموتروپیک

نوع دیگری از بلورهای مایع وجود دارند که با اضافه شدن به یک حلال و در غلظت معینی تبدیل به فاز میانی می‌شوند و یا با تعبیری دیگر، گذار فازی در این دسته از مواد به واسطه تغییر چگالی ماده و یا تغییر غلظت اتفاق می‌افتد. به این دسته از مواد بلورهای مایع لیوتروپیک می‌گویند. شکل ۳-۱ ساختار عمومی یک بلور مایع لیوتروپیک را نشان می‌دهد.

بلورهای مایع پلیمریک، گونه‌های پلیمری تشکیل شده از واحدهای مونومری هستند و بسته به نوع چینش واحدهای بلور مایع در دو گروه زنجیره اصلی و زنجیره جانبی تقسیم می‌شوند [۳ و ۴]. در شکل ۴-۱ ساختار کلی یک بلور مایع پلیمریک نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ ساختمان بلور مایع لیوتروپیک



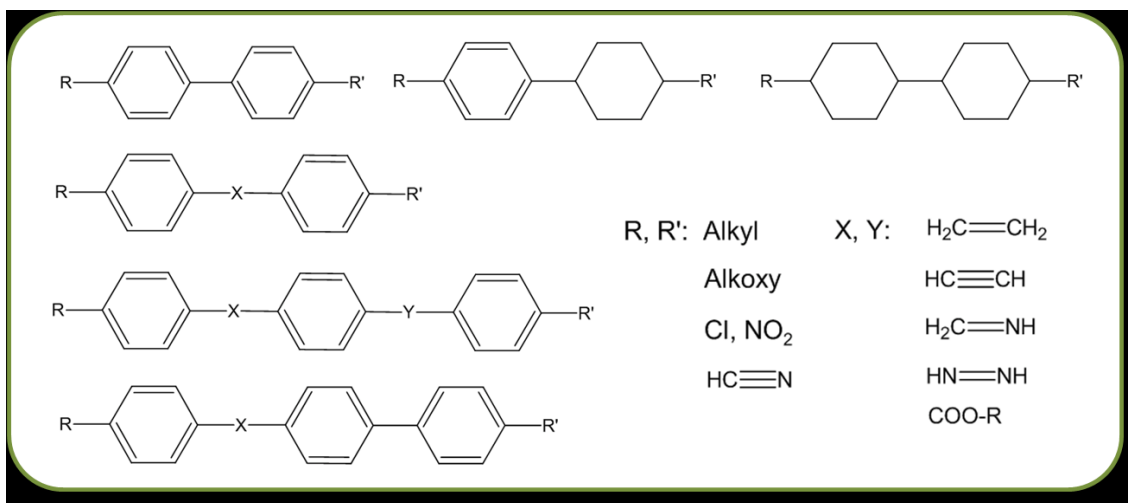
شکل ۴-۱ ساختمان بلور مایع پلیمریک. (الف) زنجیره اصلی، (ب) زنجیره جانبی

### ۳-۱ ساختار بلورهای مایع

شکل ۱-۵ ساختار عمومی یک مولکول بلور مایع را نشان می‌دهد که از بخشهای زیرتشکیل شده است [۵].

#### ۱-۳-۱ هسته:

که شامل دو یا چند حلقه آروماتیک می‌باشد. که می‌تواند یک سیکلو هگزان کاملاً اشباع شده، فنیل غیراشباع شده، بای فنیل و . . . باشد که به وسیله یک زنجیره (گروه اتصالی) به هم وصل شده باشد که خود گروه اتصالی می‌تواند شامل حلقه‌های آروماتیک، گروههای آلی و یا پیوندهای ساده یگانه، دوگانه و یا سه گانه باشد.



شکل ۱-۵ ساختار مولکولی بلور مایع

### ۱-۳-۲) گروه‌های انتهای:

گروه‌های انتهای  $R$  و  $R'$  گروه‌های کوچک و یا زنجیره‌های کوتاه هستند که نقش مهمی در میزان ناهمسانگردی دی‌الکتریک بلور مایع ایفاء می‌کنند. که می‌تواند شامل گروه‌های قطبی (مثل سیانو و نیترو) و گروه‌های غیرقطبی (مثل گروه‌های آلکیل  $(C_nH_{2n+1})$ ، آلوکسی  $(C_nH_{2n+1}O)$  و ...) باشند. بسته به اینکه هر دو طرف قطبی و یا غیرقطبی باشند خواص فیزیکی متنوعی را ایجاد می‌کنند. اگر به جای یکی از اتم‌های هیدروژن یا گروه انتهای، یک اتم دیگر جایگزین شود حالتی ایجاد می‌شود که بسته به مقدار الکترونخواهی خاصیت حلقه را تغییر می‌دهد.

پایداری شیمیایی مولکول‌های بلور مایع به گروه اتصال و وابسته است. در صورتیکه این گروه‌های اتصال از نوع «شیف-باز»<sup>۱</sup> باشد، معمولاً بلور مایع ناپایدار است و اگر از نوع گروه‌های آزاد باشد بلور مایع دارای پایداری بیشتری است [۵].

ترکیبات بدون گروه اتصال دارای پایداری بیشتری می‌باشند.  $CB$  شناخته شده‌ترین بلور مایع است که با نداشتن گروه اتصال، پایداری بالایی دارد. نامگذاری این بلور مایع از روی گروه انتهایی آلکیلی  $(C_nH_{2n+1})$  صورت می‌گیرد و با افزایش  $n$  حجم اختصاصی مولکول افزایش پیدا کرده که منجر به افزایش ناهمسانگردی و گرانیروی و تغییر سایر خواص فیزیکی ماده می‌شود. ساختار مولکولی خانواده  $nCB$  در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.

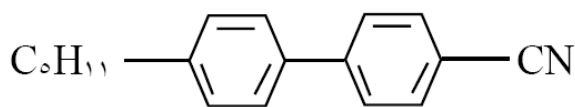
بلورهای مایع ترموتروپیک شامل سه نوع فاز میانی بسیار معروف هستند که بر اساس پارامترهای فیزیکی از قبیل نظم، تابع توزیع جهتی و نیروهای بین مولکولی تعریف می‌شوند [۶].

<sup>۱</sup> - Schiff-Base

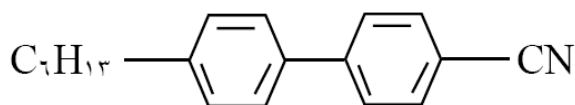


۱-۲-۱) بلورهای مایع نماتیک<sup>۱</sup>

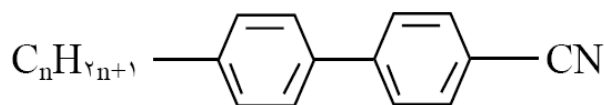
در این دسته از بلورهای مایع نظم جهتی وجود دارد ولی نظم مکانی وجود ندارد بنابراین مولکولها در امتداد یک جهت ترجیحی بنام بردار راهنما<sup>۲</sup> از لحاظ موقعیت کاتوره‌ای ولی از لحاظ جهتی با یک تابع توزیع معین قرار می‌گیرند. تفاوت بلورهای مایع نماتیکی با مایعات معمولی در وجود یک نظم جهتی بلند برد مولکولی می‌باشد.



(الف)



(ب)



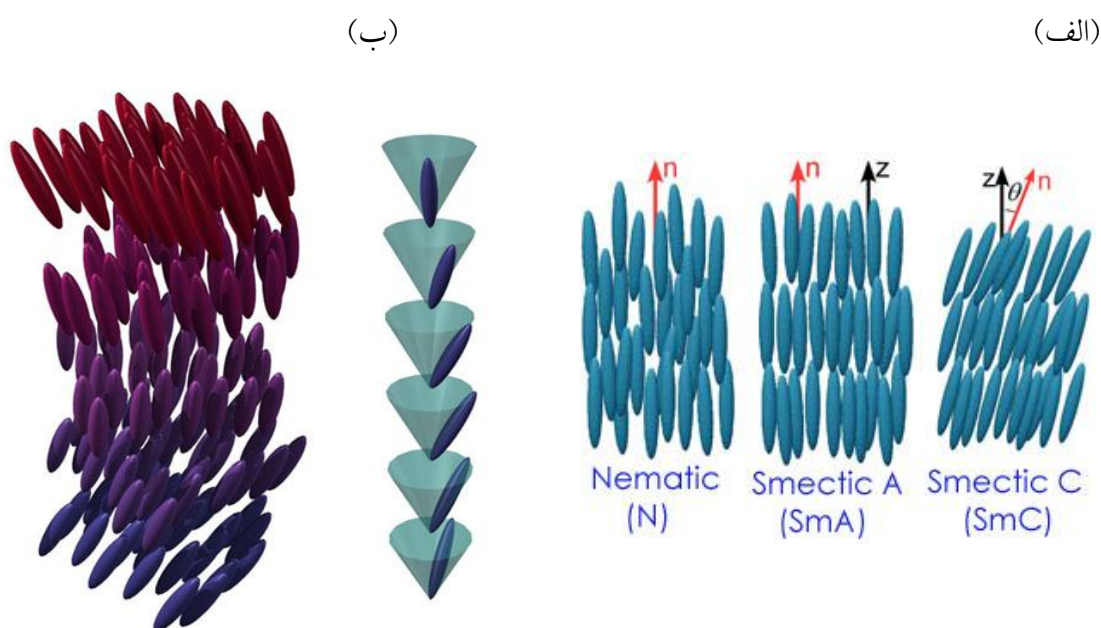
(ج)

شکل ۱-۶) ساختار مولکولی بلورمایع nCB (الف) 5CB، (ب) 6CB، (ج) nCB با افزایش n خواص فیزیکی بلورمایع دستخوش تغییر می‌شود.

<sup>۱</sup>- Nematic<sup>۲</sup>- Director

۱-۲-۲) بلورهای مایع سمکتیک<sup>۱</sup>

سمکتیک‌ها دسته‌ای از بلورهای مایع هستند که در آنها نظم جهتی وجود دارد و نظم مکانی هم تا حدی وجود دارد. در مولکول بلور مایع نظم مکانی به این صورت است که وقتی مولکولها در داخل یک کپه قرار می‌گیرند محور بلند هر مولکول در یک جهت مشخص قرار می‌گیرد اگر روی تمامی این محورهای بلند مولکولی متوسط‌گیری کنیم یک جهت ترجیحی بدست می‌آید (بردار راهنما) که می‌توان یک تابع توزیع مولکولی نسبت به بردار راهنما برای هر بالک نوشت. شکل ۱-۷ نوع چینش و ساختار مولکولهای بلور مایع سمکتیک را به صورت طرحوار نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷) (الف) ساختار مولکول سمکتیک C (ب) ساختار مولکول سمکتیک C\*

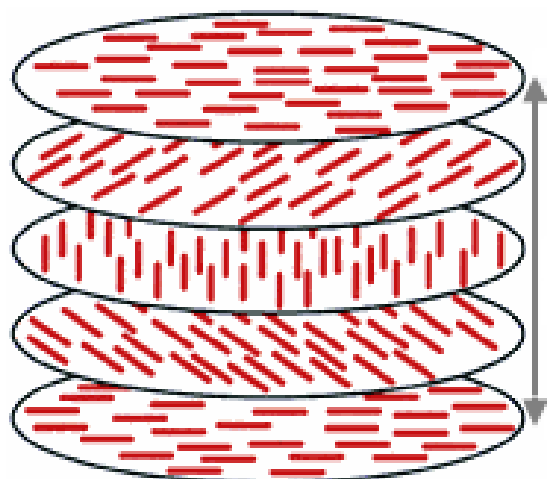
این نوع از بلورها دارای ساختار لایه‌ای می‌باشند که در آن مرکز گرانش مولکولها در صفحات موازی و هم فاصله باهم چیده شده‌اند. اگر محور عمود بر صفحه لایه، موازی جهت ترجیحی (بردار راهنما)

<sup>۱</sup> - Smectic

باشد آنچه داریم سمکتیک نوع A است و اگر محور عمود بر صفحه لایه با جهت ترجیحی (بردار راهنما) زاویه درست کند سمکتیک نوع C بدست می‌آید. اگر یکی از اتمهای کربن در موقع سنتز طوری قرار بگیرد که تقارن مولکول را از بین ببرد مولکول چرخشی می‌شود به این حالت  $SmC^*$  می‌گویند که فروالکتریک<sup>۱</sup> است.

### ۱-۲-۳) کلستریک‌ها<sup>۲</sup>

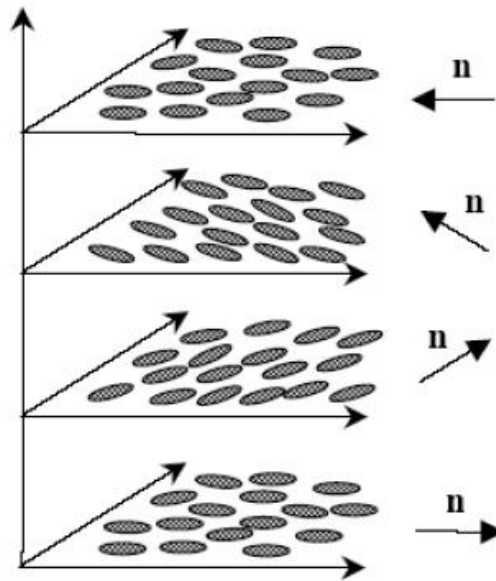
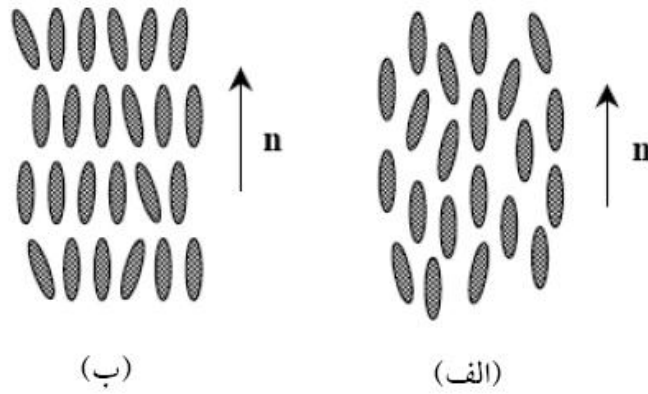
نام بلورهای مایع کلستریک از کلمه کلسترو<sup>۱</sup> گرفته شده است و ساختار فاز کلستریک که می‌توان به صورت ساختار فاز نماتیک پیچ خورده توصیف کرد. در واقع کلستریک‌ها نوعی از نماتیک‌ها هستند که در امتداد محور یک حالت پیچ خورده وجود دارد (تصویر آینه‌ای آنها با خودشان یکسان است) [۷]. در شکل ۸-۱ ساختار مولکولی بلور مایع کلستریک نشان داده شده است. و شکل ۹-۱ مزوفازهای مختلف بلورهای مایع ترموتروپیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱ ساختار مولکولی بلور مایع کلستریک

<sup>۱</sup> - Ferroelectric

<sup>۲</sup> - Colestic



شکل ۱-۹) آرایش‌های مزوفازهای مختلف ترموتروپیک (الف) نماتیک: نظم جهتی دارند ولی نظم مکانی ندارند، (ب) سمکتیک: نظم جهتی دارند و اندکی نیز نظم مکانی (لایه‌ای) دارند، (ج) کلستریک: دارای نظم جهتی از نوع نماتیکی هستند ولی لایه‌ها نسبت به هم دارای پیچش می‌باشند.