

Temperature effect on the refractive indices and Kerr constant of doped nematic liquid crystals with right-handed dopants

Mahsa Khadem Sadigh*

Department of Laser and Optical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

Received: 05.04.2023 Final revised: 11.10.2023 Accepted: 27.11.2023

Doi: [10.22055/jrmbms.2024.18895](https://doi.org/10.22055/jrmbms.2024.18895)

Abstract

Liquid crystals with high optical and electro-optical responses play an important role in optics and photonics. Therefore, providing a simple method to increase the optical behavior of liquid crystals under the influence of external fields can be considered one of the most challenging research areas. In this experimental work, the effects of temperature and right-handed chiral material with different weight percentages on the refractive indices and optical properties of E7 nematic liquid crystal under the influence of an external electric field were investigated. Despite the reduction of the Kerr constant with increasing the weight percentage of chiral dopants and temperature, the highest amount of optical response in the presence of the electric field was obtained for the nematic liquid crystal doped with 3% of right-handed material. In this case, the value of the Kerr constant is almost 2 times that of pure liquid crystal. This interesting result can be related to the order parameter changes caused by different molecular interactions. Thus, the results obtained in this research can be used as a simple method to increase the optical response of nematic liquid crystals in the presence of an external electric field.

Keywords: Chiral, Electric Field, Kerr Constant, Liquid Crystal, Refractive Index, Temperature

* Corresponding Author: mahsa.sadigh@ubonab.ac.ir

اثرات دما بر روی ضرایب شکست و ثابت کر بلورمایع نماتیک آلاییده شده با مواد راستگرد

مهسا خادم صدیق*

مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶ ویرایش نهائی: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

Doi: [10.22055/jrmb.2024.18895](https://doi.org/10.22055/jrmb.2024.18895)

چکیده

بلورمایع‌ها با پاسخ‌های نوری و الکترواپتیکی بالا نقش مهمی در اپتیک و فوتونیک دارند. از این‌رو، ارائه روشی ساده برای افزایش رفتارهای نوری بلورمایع‌ها تحت تأثیر میدان‌های خارجی را می‌توان یکی از چالش‌برانگیزترین حوزه‌های پژوهشی دانست. در این کار تجربی، اثرات دما و ماده کایرال راستگرد با درصدهای وزنی مختلف بر روی ضرایب شکست و خواص نوری بلورمایع نماتیک E7 تحت اعمال میدان خارجی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. علیرغم کاهش ثابت کر با افزایش درصد وزنی آلاینده‌های کایرال و دما، بیشترین مقدار پاسخ نوری در حضور میدان الکتریکی برای بلور مایع نماتیک آلاییده شده با ۳٪ از ماده راستگرد به دست آمد. در این حالت مقدار ثابت کر تقریباً ۲ برابر نمونه بلورمایع خالص است. این نتیجه جالب می‌تواند مربوط به تغییرات پارامتر نظم ناشی از برهم‌کنش‌های مختلف مولکولی باشد. بدین ترتیب نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان روشی ساده به منظور افزایش پاسخ نوری بلورمایع‌های نماتیک در حضور میدان الکتریکی خارجی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌گان: بلورمایع، ثابت کر، دما، کایرال، میدان الکتریکی

مقدمه

نسبتاً ساده‌تر بیشتر مورد بررسی و آزمایش قرار می‌گیرند. در این حالت ویژگی‌های فیزیکی بلورمایع‌های نماتیک مانند دوشکستی و قطبش‌پذیری می‌تواند تحت تأثیر برخی از عوامل خارجی مانند شدت میدان اعمالی و دما قرار گیرد. از این‌رو، مطالعات بر روی ویژگی‌های بلورمایع‌ها در اطراف دمای گذار می‌تواند شامل اطلاعات ارزشمندی جهت طراحی ادوات اپتیکی و فوتونیک باشد.

به‌منظور بهبود ویژگی‌های الکترواپتیکی در بسیاری از ابزارهای اپتوالکترونیکی طراحی شده بر اساس بلورمایع‌ها، انواع مختلفی از بلورمایع‌ها به‌طور خالص و آلاییده شده با گروه‌های دیگری از مواد نوری مورد

بلورمایع‌ها با فاز میانی بین جامدات و مایعات معمولی بیش از یک قرن سابقه دارند. اولین مشاهده رفتار بلورمایعی توسط یک گیاه‌شناس اتریشی در سال ۱۸۸۸ میلادی صورت گرفت. از آن زمان به بعد بلورمایع‌ها به‌عنوان یکی از شاخه‌های اصلی علم مورد توجه قرار گرفته‌اند. این گروه از مواد یک موقعیت کلیدی در زندگی مدرن را اشغال می‌کنند و به‌طور گسترده در نمایشگرها [۱-۳]، سنسورها [۴-۵] و عدسی‌ها [۶]، فیلترها [۷] و پنجره‌های هوشمند [۹-۱۰] مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان انواع مختلف بلورمایع‌ها، نماتیک‌ها با ساختار مولکولی

mahsa.sadigh@ubonab.ac.ir *



مواد و روش‌ها

در این کار تجربی بلورمایع نماتیک E7 و ماده کایرال راستگرد R-811 از شرکت مرک خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. ساختار مولکولی مواد مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

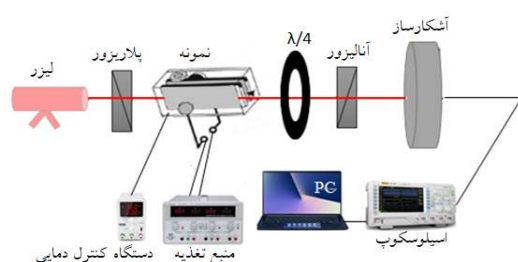
در این کار تجربی، بررسی پاسخ الکترواپتیکی بلورمایع خالص E7 و آلاییده به مواد کایرال راستگرد با درصدهای وزنی ۱٪، ۳٪، ۶٪، ۸٪ و ۱۰٪ در فاز همسانگرد انجام می‌شود. به همین منظور یک میدان الکتریکی AC مربعی کم فرکانس (یک کیلو هرتز) از طریق دو الکتروود فلزی به نمونه‌های مورد مطالعه اعمال گردید. اعمال چنین میدانی سبب جهتگیری مولکول‌های بلورمایع در فاز همسانگرد شده و به عبارتی یک حالت شبه‌نماتیکی با درجه‌ای از نظم جهتی ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر در حضور میدان خارجی، کمینه انرژی آزاد سیستم مربوط به حالت شبه‌نماتیکی و نه فاز همسانگرد خواهد بود. تأثیر اعمال این میدان خارجی می‌تواند بر روی گذار فاز همسانگرد به نماتیک بررسی شده و مطالعات جالبی را در خصوص رفتارهای الکترواپتیکی محیط در نزدیکی و بالاتر از دمای گذار بلورمایع مورد مطالعه ارائه دهد.

در این کار تجربی برای اندازه‌گیری ثابت کر نمونه‌های مورد مطالعه، از روش تجربی شدت خنثی شده استفاده شده است [۲۰-۱۸]. اساس این روش بر پایه خنثی کردن پاسخ نوری حاصل از اعمال میدان الکتریکی خارجی به سلول کر مورد مطالعه به وسیله چرخش آنالیزور به کار رفته در آرایش تجربی نشان داده شده در شکل ۲ است. در این آرایش تجربی، سلول کر که حاوی بلورمایع مورد مطالعه است بین دو قطبشگر عمود بر هم قرار می‌گیرد به طوری که امتداد میدان الکتریکی اعمالی به نمونه در درون سلول تحت زاویه

استفاده قرار می‌گیرند. از دیدگاه ویژگی‌های اپتیکی، آلاییدن بلورمایع‌ها با انواع و غلظت‌های مختلف برخی از مواد به‌عنوان آلاینده و تحت تأثیر میدان‌های خارجی به‌وضوح توجهات خاصی را می‌طلبد [۱۲-۱۱]. در این حالت علاوه بر ویژگی‌های نوری خطی، ویژگی‌های نوری غیرخطی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تحت این شرایط، بلورمایع‌ها با ویژگی‌های فیزیکی منحصر به فرد می‌توانند در زمره مواد نوری با پاسخ نوری غیرخطی بزرگ قرار گیرند. در حال حاضر روش‌های مختلفی مانند اختلاط چهار موج تبهگن [۱۳]، روش جاروب زد [۱۶-۱۴] و روش الکترواپتیک کر [۱۷] جهت بررسی پاسخ نوری غیرخطی مواد نوری وجود دارد. از میان انواع روش‌های ذکر شده، روش الکترواپتیک کر به‌عنوان روشی ساده و ارزان جهت اندازه‌گیری پاسخ نوری غیرخطی انواع مختلف بلورمایع‌ها می‌باشد. در حقیقت، این روش اطلاعات ارزشمندی در مورد دوشکستی القایی در نمونه مورد مطالعه تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی ارائه می‌دهد. بدین ترتیب با بررسی ویژگی‌های بلورمایع‌های خالص و آلاییده تحت تأثیر میدان‌های خارجی می‌توان روشی مناسب برای بهبود عملکرد ادوات اپتوالکترونیکی بر پایه بلورمایع‌ها ارائه نمود.

در این کار تجربی، ابتدا اثرات دما بر روی ضرایب شکست بلور مایع نماتیک خالص و آلاییده به مواد کایرال راستگرد مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس پاسخ نوری نمونه‌های تهیه شده تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی اعمالی بررسی می‌شود. بدین ترتیب نتایج به‌دست آمده می‌تواند به‌عنوان روشی ساده به‌منظور بهبود پاسخ نوری بلورمایع‌ها نماتیک تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی تلقی شود.

حالت چرخش آنالیزور توسط سیستم کنترل کننده آن در جهتی انجام می‌شود که سبب کاهش شدت نور رسیده به آشکارساز شده و پاسخ نوری محیط به این میدان خارجی را کاملاً خنثی نماید. بدین ترتیب می‌توان رفتار نمونه‌های مورد مطالعه را تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمالی بررسی نمود.



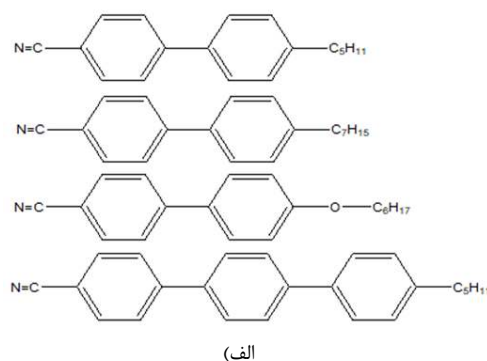
شکل ۲. چیدمان تجربی اثر کر.

همچنین دستگاه گرماسنجی روبشی تفاضلی (Shimadzu DSC-60) برای اندازه‌گیری دمای گذار نمونه‌های بلورماید مورد استفاده گردید. رفراکتومتر آبه (Bellingham Stanley Abbe 60ED) متصل به سیستم کنترل دمایی نیز برای اندازه‌گیری ضرایب شکست نمونه‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

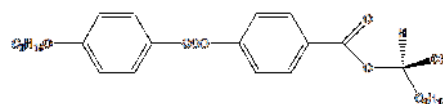
بحث و نتیجه‌گیری

به منظور بررسی اثرات دمایی بر روی تغییرات ضرایب شکست بلورماید های خالص و آلائیده، دمای گذار بلورماید های خالص و آلائیده با استفاد از منحنی‌های به دست آمده از DSC مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج به دست آمده با افزایش درصد وزنی ماده راستگرد افزوده شده به بلورماید نماتیک مورد مطالعه، دمای گذار کاهش می‌یابد. در این حالت، دمای گذار بلورماید خالص و آلائیده با ۱٪، ۳٪، ۶٪، ۸٪، ۱۰٪ به ترتیب برابر است با 59°C ، 58.98°C ، 57.35°C ، 54.59°C و 53.49°C ،

۴۵ درجه نسبت به امتداد قطبشی هرکدام از قطبشگرها باشد. نور لیزر کاوشگر با توان ۵ میلی‌وات، پس از عبور از پلاریزور و سلول کر، از یک تیغه ربع موج عبور می‌نماید.



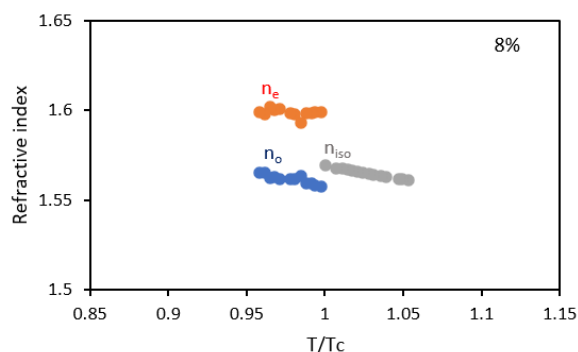
(الف)



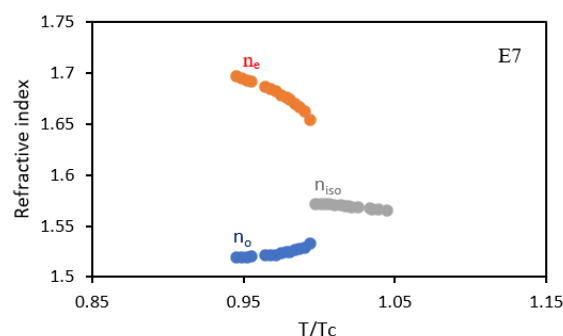
(ب)

شکل ۱. ساختار شیمیایی الف: بلورماید E7 و ب: ماده کایرال راستگرد R-811

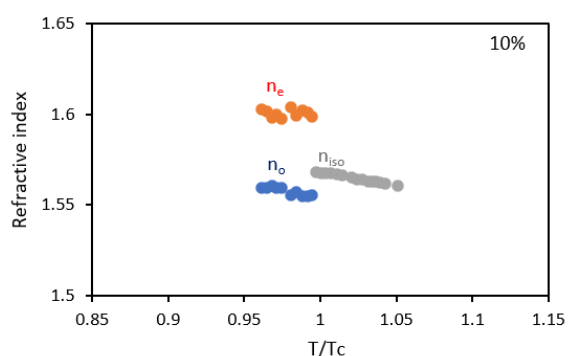
سپس نور خروجی از تیغه ربع موج از قطبشگر آنالیزور که در حالت کلی امتداد قطبشی آن عمود بر آنالیزور است، عبور کرده و به آشکارساز می‌رسد. چنانچه دمای نمونه مورد مطالعه را بالاتر از دمای گذار مربوطه تنظیم کنیم (با استفاده از دستگاه کنترل دمایی) و هیچ میدان الکتریکی نیز به نمونه اعمال نشده باشد، هیچ نوری از آنالیزور خارج و به آشکارساز نمی‌رسد. اما چنانچه میدان خارجی اعمال شود، به واسطه گشتاور نیرویی که به مولکول‌ها وارد می‌شود، جهتگیری معینی در مولکول‌ها القا شده و محیط نظمی شبه‌نماتیکی به خود می‌گیرد که سبب ایجاد ناهمسانگردی و در نتیجه دوشکستی در محیط می‌شود. بدین ترتیب قطبش نور عبوری از محیط بلورماید تحت تأثیر این محیط دوشکستی قرار گرفته و شدت نور رسیده به آشکارساز تغییر می‌کند. در این



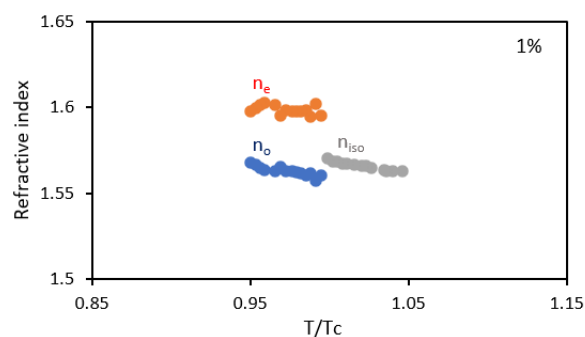
ج



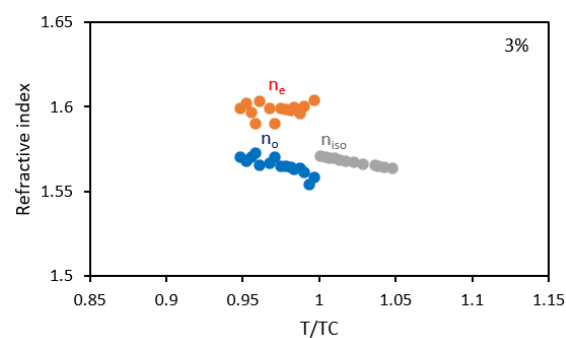
الف



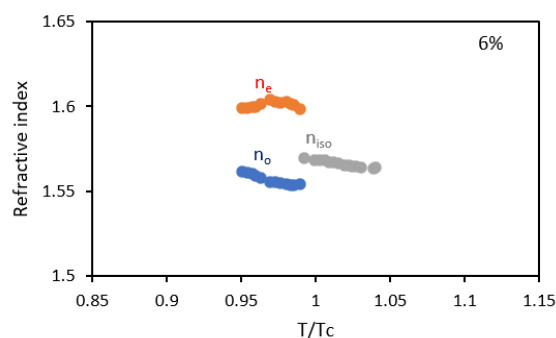
ج



ب



پ



ت

شکل ۳. تغییرات ضرایب شکست عادی و غیرعادی بلورمایع‌های آلانیده با الف: ۰٪ (خالص) و ب: ۱٪، پ: ۳٪، ت: ۶٪، ج: ۸٪ و ج: ۱۰٪ از ماده کایرال راستگرد.

در حالت کلی، بلورمایع‌ها، مایعاتی هستند که ضریب شکست آنها به جهتگیری بردار الکتریکی موج نوری نسبت به محور نوری مایع جهت یافته بستگی دارد. چنین ناهمسانگردی آنها را از مایعاتی متمایز می‌کند که در آن دوشکستی فقط توسط میدان‌های خارجی قابل اعمال است. بنابراین می‌توان گفت یک بلورمایع نماتیک مشابه با یک کریستال دوشکستی تک محور عمل می‌کند. از این رو، محور نوری همیشه موازی بردار راهنما در یک بلورمایع نماتیک می‌باشد. ضریب شکست برای یک پرتو نور قطبیده با بردار الکتریکی موازی با محور نوری، ضریب شکست پرتوهای غیرعادی یا به‌طور ساده ضریب شکست غیرعادی

درصدهای وزنی مختلف می‌تواند منجر به تغییر پای پیچ گردد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های مربوط به ثابت کر با استفاده از روش شدت خشی و در دماهایی نزدیک به دمای گذار و دماهای بالاتر صورت گرفته است. بیشترین تأثیر بر روی رفتار الکترواپتیکی بلورمایع خالص ناشی از افزودن آلاینده‌های کایرال می‌تواند ناشی از تغییرات ایجاد شده در نظم ساختاری بلورمایع به واسطه برهم‌کنش‌های بین مولکولی باشد. همان‌طوری که در شکل ۴ نشان داده شده است، علاوه بر دما، میزان ماده کایرال اضافه شده به بلورمایع خالص نیز نقش مهمی در تغییرات ضرایب شکست دارد. یک مقایسه بین ضرایب شکست بلورمایع نماتیک خالص و آلاینده با ماده کایرال راستگرد نشان می‌دهد که بلور مایع خالص دارای ضرایب شکست عادی و غیر عادی بزرگتری نسبت به نمونه‌های آلاینده شده می‌باشد. مطابق شکل ۴ با افزایش درصد وزنی ماده راستگرد به بلورمایع نماتیک مورد مطالعه، رفتار نامنظمی در دماهای نزدیک به دمای گذار مشاهده می‌شود. با افزایش درصد وزنی ماده راستگرد، ماکزیمم تغییرات ضرایب شکست عادی (No) و مینیمم مقدار ضرایب شکست غیرعادی (Ne) در بلورمایع آلاینده با ۳٪ وزنی از ماده راستگرد مشاهده گردید. در واقع این نوع بی‌نظمی در رفتار بلورمایع خالص با تغییر درصد وزنی ماده کایرال می‌تواند مربوط به اثرات متفاوت درصد وزنی ماده راستگرد بر روی نظم ساختاری بلورمایع نماتیک مورد مطالعه باشد. در این حالت با افزایش درصد وزنی ماده کایرال علاوه بر برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های بلور مایع با یکدیگر، برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های ماده کایرال و بلورمایع با یکدیگر نیز وجود خواهد داشت. به تدریج نیز با افزایش درصد وزنی برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های ماده کایرال با یکدیگر نیز در رفتار بلور مایع مورد

(Ne) نامیده می‌شود. به‌طور مشابه، برای پرتو نوری با بردار الکتریکی عمود بر محور نوری، ضریب شکست عادی (no) را خواهیم داشت. یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر روی چنین ویژگی از بلورمایع‌های مورد مطالعه اثرات دمایی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضرایب شکست بلورمایع خالص و آلاینده (شکل ۳) نشان می‌دهد که ضرایب شکست عادی و غیرعادی در دماهای پایین‌تر از دمای گذار شدیداً وابسته به دما می‌باشد و با تغییر دما دوشکستی مثبت ($\Delta n = n_e - n_o > 0$) از خود نشان می‌دهند. با افزایش دما و در دماهای بالاتر از دمای گذار (در فاز همسانگرد)، وابستگی دمایی ضرایب شکست به دما کاهش یافته، به‌طوری که میزان دو شکستی در فاز همسانگرد صفر می‌شود. در واقع در دماهای بالاتر از دماهای گذار نظم جهتی بلورمایع‌های نماتیک از بین می‌رود [۲۱].

هنگامی که یک آلاینده کایرال به بلورمایع نماتیک اضافه می‌شود، ساختار دستخوش یک اعوجاج مارپیچی می‌شود. فاصله‌ای را که در آن بردار راهنما به اندازه ۳۶۰ درجه دوران می‌کند را پای پیچ می‌نامند. بنابراین بلورمایع‌های کلستریک (کایرال نماتیک‌ها) که از خانواده ترموتروپیک بوده و دارای ساختاری مارپیچی هستند. این ساختار مارپیچی منجر به نمایش خواص اپتیکی منحصر به فردی که بر پایه بازتاب براگ است، می‌شود و تغییرات پای پیچ، تغییرات این خواص را به همراه خواهد داشت. پای پیچ می‌تواند معمولاً با تغییر دما، اعمال ولتاژ و همچنین اضافه کردن مولکول‌هایی تغییر کند. بلورمایع‌های کلستریک به دلیل ساختار مارپیچیشان قادر به بازتاب نور هستند و طول موج انعکاسی نور وابسته به پای پیچ است. از طرفی پای پیچ کلستریک وابسته به غلظت آلاینده‌های کایرال می‌باشد [۲۲-۲۳]. از این رو افزودن آلاینده کایرال با

در رابطه فوق I_0 ، ماکزیمم شدت نور فرودی و α زاویه چرخش صفحه قطبش می‌باشد. با اعمال میدان الکتریکی و القا دوشکستی در نمونه‌های بلورمایع شدت نور برابر است با:

$$I = I_0 \sin^2\left(\alpha + \frac{\delta}{2}\right) \quad ۲$$

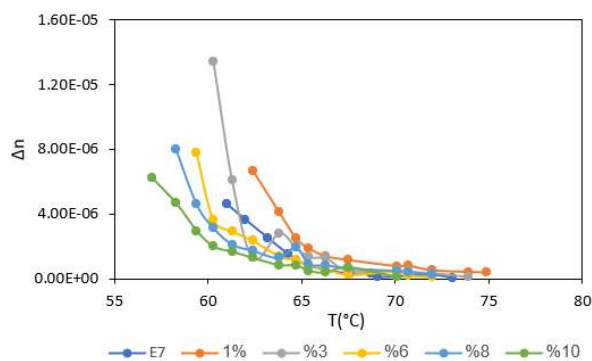
که در آن δ نشان‌دهنده اختلاف فاز ایجاد شده در حضور میدان الکتریکی اعمالی می‌باشد و مطابق با رابطه ۳ به α مربوط می‌شود [۲۴].

$$\alpha = \frac{\delta}{2} \quad ۳$$

بدین ترتیب دوشکستی القا شده تحت اعمال میدان الکتریکی خارجی مطابق با رابطه ۴ به ثابت کر مربوط می‌شود.

$$B = \frac{n_{\parallel} - n_{\perp}}{\lambda E^2} \quad ۴$$

در رابطه ۴، n_{\parallel} و n_{\perp} به ترتیب توصیف کننده ضرایب شکست موازی و عمود بر میدان اعمالی می‌باشند. مطابق با شکل ۵، اختلاف بین این دو ضریب شکست نشان‌دهنده دوشکستی القایی در سیستم می‌باشد. همچنین B نشان دهنده ثابت کر می‌باشد.



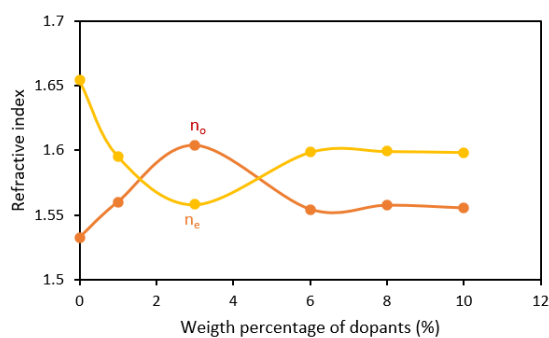
شکل ۵. تغییرات دوشکستی القایی توسط میدان الکتریکی برحسب دما برای بلورهای مایع خالص و آلاینده.

اختلاف فاز القایی نیز می‌تواند به شرح زیر به ثابت کر مربوط شود [۲۴-۲۶]:

$$\delta = \frac{2\pi l v^2}{d^2} B \quad ۵$$

مطالعه تأثیرگذار خواهد بود. وابسته به نوع برهم‌کنش غالب، با تغییر درصد وزنی ماده کایرال راستگرد، تغییرات متفاوتی در پارامتر نظم بلورمایع نماتیک مورد مطالعه ایجاد خواهد شد. مطابق شکل ۴، برای بلورمایع با ۳ درصد وزنی از ماده کایرال راستگرد تغییرات ایجاد شده در پارامتر نظم به واسطه برهم‌کنش‌های بین مولکولی بیشتر از حالات دیگر می‌باشد.

به‌علاوه، ضریب شکست عادی برای بلورمایع خالص، با افزایش دما روندی افزایشی داشته است در حالی که چنین روندی در نمونه‌های آلاینده شده مشاهده نمی‌شود. رفتار ذکر شده نیز می‌تواند به دلیل تغییر ایجاد شده در نظم ساختاری بلورمایع نماتیک با افزودن ماده کایرال می‌باشد.

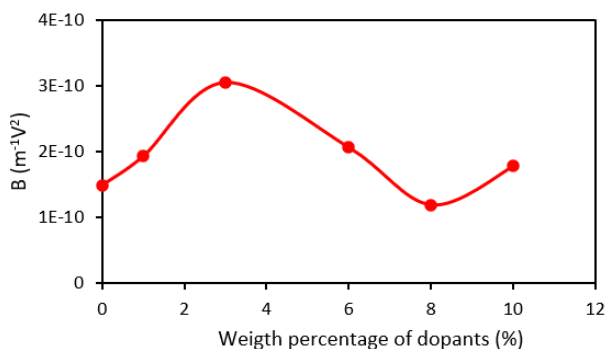


شکل ۴. تغییرات ضرایب شکست عادی و غیرعادی برحسب درصد ماده راستگرد افزوده شده به بلورمایع نماتیک.

به‌منظور بررسی دقیق این رفتار نامنظم با افزایش درصد وزنی ماده کایرال راستگرد، پاسخ نوری نمونه‌های خالص و آلاینده تحت تأثیر میدان خارجی نیز مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور مطابق با چیدمان تجربی نشان داده شده در شکل ۲، روش شدت خنثی مورد استفاده قرار گرفت. در این حالت بدون اعمال میدان خارجی شدت میدان نور فرودی برابر است با [۲۴-۲۵]:

$$I = I_0 \sin^2 \alpha \quad ۱$$

راستگرد به دست آمد. در واقع این رفتار غیر عادی را می‌توان به دلیل حضور برهم‌کنش‌های متفاوت مولکولی با تغییر در صد وزنی ماده راستگرد افزوده شده در نظر گرفت.



شکل ۷. تغییرات ثابت کر برحسب میزان درصد وزنی ماده راستگرد افزوده شده در دماهای نزدیک به دمای گذار.

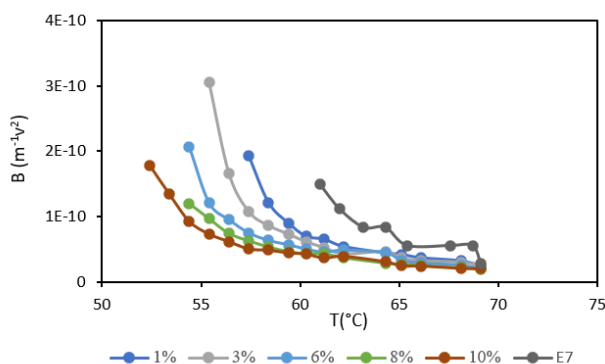
در حالت کلی هر یک از این برهم‌کنش‌ها می‌توانند سهم‌های مختلف در رفتار نوری بلورمایع‌های مورد مطالعه تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمالی داشته باشند. در درصد‌های پایین، برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های راستگرد قابل صرف نظر کردن است. در این حالت برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های بلورمایع نماتیک با سهم غالب نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی بلورمایع ایفا می‌کنند. با افزایش درصد وزنی ماده کایرال، سهم برهم‌کنش‌های بین مولکول‌های کایرال با یکدیگر افزایش و در نهایت منجر به کاهش ثابت کر بلورمایع‌های آلاییده می‌شوند. در واقع رقابت بین برهم‌کنش‌های مختلف مولکولی با سهم‌های مختلف با تغییر درصد وزنی ماده کایرال می‌تواند منجر به تغییر در پارامتر نظم و قطبش‌پذیری مولکولی گردد. مطابق با نتایج به دست آمده می‌توان گفت، برای بلورمایع‌های آلاییده شده با ۳٪ از ماده کایرال، برهم‌کنش‌های مختلف مولکول تمایل به تقویت پارامتر نظم مولکولی را دارند. بدین ترتیب با افزودن ماده راستگرد با درصد وزنی مشخص به بلورمایع نماتیک

همچنین با توجه به روابط فوق می‌توان رابطه ۵ را به شکل زیر نوشت:

$$\alpha = \frac{\pi l B}{2d^2} v^2 = \frac{\pi l B}{2} E^2 \quad (6)$$

در روابط فوق v ، d و l به ترتیب ولتاژ مؤثر، فاصله بین الکترودها و طول راه نوری هستند.

بدین ترتیب با رسم منحنی تغییرات α برحسب E^2 می‌توان ثابت کر نمونه‌های بلورمایع تهیه شده را به دست آورد. نتایج به دست آمده در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. تغییرات ثابت کر بلورمایع‌های خالص و آلاییده در دماهای مختلف.

مطابق نتایج به دست آمده، مقادیر ثابت کر وابسته به دما و میزان ماده راستگرد آلاییده شده می‌باشد. وابستگی دمایی ثابت کر از یک روند منظم پیروی می‌کند. با افزایش دما مقادیر ثابت کر روند نزولی از خود نشان می‌دهد.

در این حالت، مقادیر بالای ثابت کر مربوط به دماهای نزدیک به دمای گذار می‌باشد. با وجود یک روند منظم با افزایش دمای سل‌های نمونه‌های بلورمایع، روند منظمی با تغییر درصد وزنی ماده افزوده شده به بلور مایع نماتیک مشاهده نمی‌شود. همان‌طوری که در شکل ۷ نشان داده شده است، در این حالت بیشترین مقدار ثابت کر برای نمونه‌های حاوی ۳٪ از ماده

مرجع‌ها

- [1] I.C. Khoo, Liquid crystals, John Wiley & Sons, 2022.
- [2] P. Raynes, Liquid Crystals, Second Edition, Cambridge University Press, 1992.
- [3] S. Gauz, X. Zhu, W. Piecek, R. Dabrowski, S.T. Wu, Fast Switching Liquid Crystals for Color-Sequential LCDs, Journal of Display Technology, 3 (2007) 250-252.
<https://doi.org/10.1109/JDT.2007.900909>
- [4] A. Hussain, A.S. Pina, A.C.A. Roque, Bio-recognition and detection using liquid crystals, Biosensors and Bioelectronics, 25 (2009) 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.04.038>
- [5] S.E. Robinson, B.A. Grinwald, L.L. Bremer, K.A. Kupcho, B.R. Acharya, P.D. Owens, A Liquid Crystal-Based Passive Badge for Personal Monitoring of Exposure to Hydrogen Sulfide, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 11 (2014) 741-750.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2014.916808>
- [6] O. Pishnyak, S. Sato, O.D. Lavrentovich, Electrically tunable lens based on a dual-frequency nematic liquid crystal, Applied Optics, 45 (2006) 4576-4582.
<https://doi.org/10.1364/AO.45.004576>
- [7] H.V.J. Masterson, G.D. Sharp, K.M. Johnson, Ferroelectric liquid-crystal tunable filter, Optics Letters, 14 (1989) 1249-1251.
<https://doi.org/10.1364/OL.14.001249>
- [8] P. Kumar, S.W. Kang, S.H. Lee, Advanced bistable cholesteric light shutter with dual frequency nematic liquid crystal. Optical Materials Express, 2 (2012) 1121-1134.
<https://doi.org/10.1364/OME.2.001121>
- [9] M. Mitov, Cholesteric Liquid Crystals with a Broad Light Reflection Band,

می‌توان پاسخ نوری آن را تحت تأثیر میدان‌های خارجی تقویت نمود. همچنین، یک مقایسه بین نتایج تجربی به‌دست آمده از این پژوهش با کارهای پژوهشی صورت گرفته [۲۴-۲۶] نشان می‌دهد که آلاییدن بلورمایع خالص با مواد کایرال منجر به افزایش ثابت کر آن می‌شود. همچنین بررسی نتایج حاصل از این پژوهش و کارهای قبلی نشان می‌دهد که راستگرد و چپگرد بودن ماده کایرال و ساختار آن تأثیر قابل توجهی بر روی نتایج به‌دست آمده دارد. در این حالت با افزودن ۴ درصد وزنی از ماده کایرال چپگرد به بلورمایع نماتیک خالص موجب تقویت پاسخ الکترواپتیکی به ۲۰ برابر مقدار آن نسبت به بلورمایع خالص گردید. از این رو می‌توان با انتخاب مناسب ماده کایرال افزوده شده به بلورمایع نماتیک پاسخ الکترواپتیکی آن را کنترل نمود.

نتیجه‌گیری

در این کار تجربی رفتار نوری بلورمایع نماتیک E7 خالص و آلاییده شده با ماده کایرال راستگرد تحت تأثیر دماهای مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. به‌همین منظور ضرایب شکست عادی و غیرعادی و ثابت کر بلورمایع خالص و آلاییده شده به‌ماده راستگرد مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج به‌دست آمده دما و میزان ماده راستگرد اضافه شده به‌عنوان پارامتری مهم نقش قابل توجهی در عملکرد بلورمایع نماتیک مورد مطالعه دارد. در این حالت افزایش دما منجر به کاهش ضرایب شکست غیر عادی و ثابت کر می‌شود. به‌طوری‌که با نزدیک شدن به‌دمای گذار میزان پاسخ ماده مورد مطالعه تقویت می‌شود. در این حالت میزان ثابت کر بلورمایع آلاییده با ماده راستگرد حدود ۲ برابر بزرگتر نسبت به بلورمایع خالص می‌باشد. بیشترین تغییرات مربوط به بلورمایع آلاییده با ۳٪ از ماده راستگرد می‌باشد.

<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.108>

[17] H. Khoshshima, H. Tajalli, A. Ghnadzadeh Gilani, R. Dabrowski, Electro-optical Kerr effect of two high birefringence nematic liquid crystals. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39 (2006) 1495. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/8/007>.

[18] M. Fiaz, M. Beevers, Kerr constant of poly (N-vinylcarbazole), *European Polymer Journal*, 36 (2000) 1943-1950. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(99\)00248-7](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(99)00248-7)

[19] A.G. Gilani, H. Tajalli, E. Vahedi, Kerr effect studies on mixtures of the two toluene base liquid crystals, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 502 (2009) 99-108. <https://doi.org/10.1080/15421400902815795>.

[20] M.S. Beevers, G. Khanarian, Measurement of Kerr constants of conducting liquids, *Australian Journal of Chemistry*, 32 (1979) 263-269. <https://doi.org/10.1071/CH9790263>

[21] A. Ranjkesh, S. kiani, O. Strzeczysz, M.S. Zakerhamidi, T.H. Yoon, Optical anisotropy, order parameter and its critical behavior in temperature-dependent refractive indices of nematic liquid crystals, *Journal of Molecular Liquids*, 268 (2018) 536-544. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.089>

[22] M. Khadem Sadigh, P. Naziri, M.S. Zakerhamidi, A. Ranjkesh, T.H. Yoon, Temperature dependent features of polymer stabilized cholesteric liquid crystals based on selected liquid crystal characteristics, *Optik*, 230 (2021) 166354. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.166354>

[23] M. Khadem Sadigh, P. Naziri, A. Ranjkesh, M.S. Zakerhamidi, Relationship of pitch length of cholesteric liquid crystals with order parameter and normalized polarizability, *Optical Materials*, 119

Advanced materials, 24 (2012) 6260-6276. <https://doi.org/10.1002/adma.201202913>

[10] H. Khandelwal, A.P. Schenning, M.G. Debije, Infrared regulating smart window based on organic materials, *Advanced Energy Materials*, 7 (2017) 1602209. <https://doi.org/10.1002/aenm.201602209>

[11] A. Maleki, M.H. Majles Ara, Z. Mousavi, M. Rafiee, Z. Dehghani, S. Mohajer, Electro-optical Kerr effect of azo-dye-doped liquid crystals using nulled intensity method, *Phase Transitions*, 2016. 89 (2016) 1137-1145. <https://doi.org/10.1080/01411594.2016.1150472>

[12] S. Kiani, M. Zakerhamidi, H. Tajalli, Hydrogen bonding intermolecular effect on electro-optical response of doped 6PCH nematic liquid crystal with some azo dyes, *Optical Materials*, 55 (2016) 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.03.019>

[13] S. Friberg, P. Smith, Nonlinear optical glasses for ultrafast optical switches, *IEEE journal of quantum electronics*, 23 (1987) 2089-2094. <https://doi.org/10.1109/JQE.1987.1073278>

[14] M. Khadem Sadigh, M. Zakerhamidi, Third order nonlinear responses of Basic Blue 55 molecules in polar solvents, *Optik*, 130 (2017) 743-749. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.134>

[15] M. Khadem Sadigh, M. Zakerhamidi, Media polarity and concentration roles on the third order nonlinear behaviors of thiazine dyes, *Optics & Laser Technology*, 100 (2018) 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.10.007>

[16] M. Khadem Sadigh, M.S. Zakerhamidi, B. Rezaer, K. Milanchian, Environment effects on the nonlinear absorption properties of Methylene blue under different power of excitation beam. *Journal of Molecular Liquids*, 229 (2017) 548-554.

- electro-optical nonlinear responses of doped nematic liquid crystals: Towards optoelectronic devices, *Optics and Lasers in Engineering*, 159 (2022) 107229. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2022.107229>
- [26] M. Khadem Sadigh, A. Ranjkesh, B. Hayatifar, Improving the nonlinear electro-optical responses of doped nematic liquid crystals with chiral dopants, *Optical Materials*, 135 (2023) 113352. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.113352>
- (2021) 111373. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111373>
- [24] A. Ranjkeh, Z. Alipanah, S. Kiani, M.S. Zkerhamidi, T.H. Yoon, A method to find the initial temperature range of the short-range order in the isotropic phase of nematic liquid crystals based on the electro-optical Kerr effect. *Journal of Molecular Liquids*, 274 (2019) 646-652. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.11.028>
- [25] M. Khadem Sadigh, M.S. Zakerhamidi, A. Ranjkesh, Enhanced