

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

رشته‌ی فیزیک

گرایش اتمی و مولکولی

بررسی ضریب جذب اپتیکی خطی در متمرکزکننده‌های

خورشیدی نورتاب نقطه کوانتومی هسته-پوسته

استاد راهنما:

دکتر حسن رنجبرعسکری

دانشجو:

بهاره السادات ابراهیمی پور

مهر ۱۳۹۲



دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده‌ی علوم پایه

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی ملکولی

خانم بهاره السادات ابراهیمی پور با عنوان

بررسی ضریب جذب اپتیکی خطی در متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب

نقطه کوانتومی هسته-پوسته

در تاریخ ۹۲/۷/۲۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه خیلی خوب به تصویب نهایی رسید.

امضاء
امضاء
امضاء
امضاء

با مرتبه‌ی علمی دانشیار	دکتر حسن رنجبر عسکری	۱- استاد راهنمای پایان‌نامه
با مرتبه‌ی علمی استادیار	دکتر سید مهدی بیضایی	۲- استاد داور داخل گروه
با مرتبه‌ی علمی استادیار	دکتر علی رحمتی	۳- استاد داور داخل از گروه
با مرتبه‌ی علمی استادیار	دکتر مرضیه محمدی	۴- نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
حاصل از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه
ولی عصر (عج) رفسنجان است.

تقدیر و تشکر

منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربتست و بشکر اندرش مزید نعمت، هر نفسی که فرو می رود ممد حیات است و چون بر می آید مفرح ذات پس در هر نفسی دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکری واجب.

اینک در انتهای این راه خدای را سپاس می گویم که همواره مرا یاری ساخت. و نیز وظیفه خود می دانم تا مراتب سپاس و قدردانی خویش را با نهایت خلوص و صمیمیت به محضر استاد گرانمایه، آقای **دکتر حسن رنجبر عسکری** تقدیم نمایم که در مقام استاد راهنمای این پایان نامه، با بزرگواری و سعه صدر مرا از راهنمایی ها و محبت های خویش بی هیچ مضایقه ای بهره مند نمودند، و علاوه بر راهنمایی های علمی از شخصیت والای ایشان نکته های اخلاقی بسیاری آموختم.

خداوند متعال را شاکرم که نعمت درک محضر اساتید گرانمایه، **دکتر سید مهدی بیضایی** و **دکتر مهدی سویزی** را در دوران کارشناسی ارشد، نصیب فرمود تا از محضرشان بهره مند گردم، مراتب سپاس و قدردانی خود را تقدیم ایشان می کنم.

و بوسه می زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، مقدس ترین واژگان زندگیم، **پدر و مادر عزیزم** و بعد از خدا، ستایش می کنم وجود مقدسشان را به پاس محبت های بی دریغ و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین حامیان من بوده اند.

از همراهی دوستان گرامی ام و تمام کسانی که در طی مدت تحصیل محبت و مهرشان در گوشه گوشه ی ذهن و قلبم جای دارد، بی نهایت متشکرم.

تقدیم به

همسر بزرگوارم

آینه تمام نمای زندگیم

که همواره مشوق من برای رسیدن به فردایی بهتر

و آینده ای روشن تر است

چکیده

متمرکز کننده‌های خورشیدی نورتاب شامل صفحات مسطحی از جنس پلیمر شفاف یا شیشه هستند که با گونه‌های نورتاب آلائیده شده‌اند، این گونه‌های نورتاب تابش نور خورشید فرودی را جذب و با انتقال به قرمز و بازده کوانتومی بالا گسیل می‌کنند. در این متمرکزکننده از یک ماده نورتاب با بازدهی بالا، مانند یک نقطه‌ی کوانتومی هسته-پوسته، استفاده می‌شود که عملکرد ضعیف سلول‌های خورشیدی را در ناحیه‌ی فرابنفش، با استفاده از اثر جابجایی طول موجی، بهبود می‌بخشد. در این شرایط فوتون‌ها با انرژی بالاتر در ناحیه فرابنفش جذب و در ناحیه مرئی، جایی که بازده کوانتومی سلول‌های خورشیدی بالاتر است، گسیل می‌شوند. افزودن پوسته به هسته نقاط کوانتومی موجب بهبود ویژگی‌های نوری از جمله جذب اپتیکی، افزایش بازده کوانتومی نوری، و پایداری در برابر اکسایش نوری و اثرات محیط که در نهایت منجر به افزایش بازده متمرکزکننده می‌شود. در این پژوهش ضریب جذب اپتیکی خطی متمرکز کننده نقطه کوانتومی کروی هسته-پوسته/هسته-پوسته وارونه به روش‌های عددی و در چارچوب تقریب جرم مؤثر بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در نقطه‌ی کوانتومی هسته-پوسته CdSe/ZnS (ZnS/CdSe) هنگام گذار از حالت پایه به حالت برانگیخته با کاهش ضخامت لایه پوسته تا مقدار 0.1 نانومتر، ضریب جذب اپتیکی خطی افزایش (کاهش) و در نتیجه بازده متمرکزکننده افزایش (کاهش) می‌یابد. اما در نقطه‌ی کوانتومی ZnS/CdSe کاهش می‌یابد. در نقطه‌ی کوانتومی هسته-پوسته CdSe/ZnS (ZnS/CdSe) در یک شعاع پوسته ثابت با افزایش شعاع هسته، در طیف ابتدا انتقال به آبی (قرمز)، در مقادیر بالاتر انتقال به قرمز (آبی) تشدید می‌شود و در نهایت با افزایش تا حد شعاع پوسته دوباره انتقال به آبی (قرمز) رخ می‌دهد. اما در حالتی که شعاع هسته ثابت و شعاع پوسته افزایش می‌یابد، در هر دو نوع نقاط کوانتومی انتقال به قرمز رخ می‌دهد.

واژگان کلیدی: جذب اپتیکی خطی، متمرکزکننده خورشیدی نورتاب، نقطه کوانتومی هسته-پوسته

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱.....	فصل اول: مقدمه
۱-۱.....	۱-۱ مقدمه
۵.....	فصل دوم: متمرکزکننده‌ی خورشیدی نور تاب
۵.....	۱-۲ مقدمه
۷.....	۲-۲ اتلاف در LSC
۸.....	۳-۲ عوامل موثر بر بازدهی اپتیکی کل
۸.....	۱-۳-۲ کسری از نور تابشی منتقل شده به داخل صفحه
۹.....	۲-۳-۲ احتمال بازتاب داخلی کلی
۹.....	۳-۳-۲ بازدهی جذب
۱۰.....	۴-۳-۲ بازدهی کوانتومی فوتولومینسانس
۱۰.....	۵-۳-۲ بازدهی استوکس
۱۰.....	۶-۳-۲ بازدهی ماده میزبان
۱۱.....	۷-۳-۲ بازدهی بازتاب داخلی کلی نور
۱۱.....	۸-۳-۲ بازتاب جذب
۱۲.....	۴-۲ فاکتورهای مهم در یک LSC
۱۲.....	۵-۲ واکنش مولکول به نور
۱۳.....	۱-۵-۲ فرایندهای بدون تابش
۱۴.....	۲-۵-۲ فرایندهای همراه با تابش
۱۶.....	۶-۲ مواد نورتاب
۱۶.....	۱-۶-۲ رنگ‌دانه‌های نورتاب آلی
۱۷.....	۲-۶-۲ نقاط کوانتومی

۱۹	..... عناصر خاکی کم‌یاب
۲۰	..... ۴-۶-۲ کمپلکس‌های آلی - معدنی
۲۲	..... LSC صفحه‌های
۲۲	..... ۱-۷-۲ ماده میزبان
۲۳	..... ۲-۷-۲ شکل صفحه
۲۴	..... ۳-۷-۲ اتلاف مخروط گریز
۲۶	..... ۸-۲ پلیمر
۲۶	..... ۱-۸-۲ تقسیم بندی پلیمرها
۲۷	..... ۲-۸-۲ پدیده دوشکستی در پلیمرها
۲۹	..... فصل سوم: نقاط کوانتومی
۲۹	..... ۱-۳ مقدمه
۳۰	..... ۲-۳ نحوه عملکرد نقاط کوانتومی
۳۰	..... ۱-۲-۳ نیم‌رساناها
۳۱	..... ۱-۲-۳ محدودیت کوانتومی
۳۲	..... ۳-۲-۳ فلورسانس
۳۳	..... ۳-۳ تقریب جرم مؤثر
۳۵	..... ۴-۳ نانو ساختارهای نیم‌رسانا
۳۶	..... ۱-۴-۳ نقاط کوانتومی
۳۹	..... ۵-۳ نقاط کوانتومی هسته-پوسته
۳۹	..... ۱-۵-۳ انگیزه ایجاد نقاط کوانتومی هسته-پوسته
۴۰	..... ۲-۵-۳ انواع نقاط کوانتومی هسته-پوسته
۴۱	..... ۳-۵-۳ سیستم هسته-پوسته CdSe/ZnS
۴۳	..... فصل چهارم: ضریب جذب متمرکزکننده خورشیدی نقطه کوانتومی هسته-پوسته
۴۳	..... ۱-۴ مقدمه
۴۳	..... ۲-۴ تئوری و محاسبات

۴۶.....	۳-۴ میدان الکتریکی در مکان‌های مختلف درون نقطه‌ی کوانتومی
۵۱.....	۴-۴ حل معادله شرودینگر پذیرفتاری نوری خطی
۵۱.....	۴-۴-۱ جواب اختلالی معادله شرودینگر
۵۳.....	۴-۴-۲ پذیرفتاری نوری خطی
۵۴.....	۴-۴-۳ پذیرفتاری خطی در فرمول‌بندی ماتریس چگالی
۵۶.....	۴-۴-۴ جذب خطی در فرمول‌بندی ماتریس چگالی
۵۷.....	۴-۵ بحث و نتایج
۶۸.....	فصل پنجم: نتیجه‌گیری
۷۰.....	فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: سطح مقطع متمرکزکننده خورشیدی نورتاب	۶.....
شکل ۲-۲: حالت‌های الکترونی مولکول، زیر حالت‌های ارتعاشی و انتقالات بین این حالت‌ها	۱۳.....
شکل ۳-۲: نمودار انرژی سه فرآیند موجود در فلورسانس: جذب فوتون، واهلش ارتعاشی، گسیل فوتون	۱۵.....
شکل ۴-۲: طیف‌های جذب و گسیل نقاط کوانتومی CdSe/ZnS و سولفید سرب PbS	۱۸.....
شکل ۵-۲: تراز انرژی یابلونسکی برای کمپلکس Eu^{3+}	۲۱.....
شکل ۶-۲: طیف جذب و طیف گسیلی کمپلکس Eu^{3+} ، انتقالات گسیل در شکل مشخص شده است	۲۲.....
شکل ۱-۳: گاف انرژی برای فلزات، نیم‌رساناها، و عایق‌ها	۳۰.....
شکل ۲-۳: نوارهای انرژی نیم‌رساناهای کیه‌ای، نقاط کوانتومی، و مولکول‌ها	۳۱.....
شکل ۳-۳: چگالی حالات به عنوان تابعی از محدودیت کوانتومی	۳۱.....
شکل ۴-۳: نقطه کوانتومی با قابلیت تنظیم گاف انرژی	۳۲.....
شکل ۵-۳: مکانیزم برانگیختن و جذب ناشی از باز ترکیب تابشی یک الکترون و حفره	۳۲.....
شکل ۶-۳: وجود کمینه در $k=0$ در مرکز منطقه‌ی بریلوئن	۳۳.....
شکل ۷-۳: نمایی از چاه، سیم و نقطه کوانتومی با نمایش ابعاد محدود شده در نیم‌رسانا	۳۶.....
شکل ۸-۳: طول موج نور نشر شده توسط نقطه کوانتومی با تغییر اندازه ذره قابل تنظیم است	۳۷.....
شکل ۹-۳: طبقه بندی نوارهای ظرفیت و رسانش سیستم‌های هسته-پوسته متفاوت	۴۰.....
شکل ۱۰-۳: سطوح انرژی الکتریکی نیم‌رساناهای نوع III-V و II-VI براساس مبدهای نوار ظرفیت	۴۱.....
شکل ۱۱-۳: تصویر نقطه‌ی کوانتومی CdSe قبل و بعد از پوشش توسط ZnS	۴۱.....
شکل ۱۲-۳: رابطه مرتبه دوم بین ضخامت پوسته ZnS و بازده کوانتومی	۴۲.....
شکل ۱-۴: مدل دو بعدی و نمودار پتانسیل نقطه کوانتومی هسته-پوسته CdSe/ZnS	۴۴.....
شکل ۲-۴: نقطه‌ی کوانتومی هسته-پوسته درون محیط دی‌الکتریک و در معرض پرتوهای نور خورشید	۴۷.....
شکل ۳-۴: نمودار وابستگی انرژی گذار به شعاع هسته در (الف) CdSe/ZnS، (ب) ZnS/CdSe، با $b=3nm$	۵۸.....
در محیط پلیمری PMMA	۵۸.....

شکل ۴-۴: نمودار ضریب جذب خطی برحسب انرژی فوتون فرودی برای نقطه کوانتومی CdSe/ZnS با $b=3\text{nm}$ ، شعاع هسته متغیر از ۱ تا ۲/۹ رسم شده است، محیط پلیمری اطراف نقطه PMMA است.۵۹

شکل ۴-۵: نمودار ضریب جذب خطی برحسب انرژی فوتون فرودی برای نقطه کوانتومی CdSe/ZnS با $b=4\text{nm}$ ، شعاع هسته متغیر از ۱ تا ۳/۹ رسم شده است، محیط پلیمری اطراف نقطه PMMA است.۶۰

شکل ۴-۶: نمودار ضریب جذب خطی برحسب انرژی فوتون فرودی برای نقطه کوانتومی CdSe/ZnS با $a=2\text{nm}$ ، شعاع پوسته متغیر از ۲/۱ تا ۴ رسم شده است، محیط پلیمری اطراف نقطه PMMA است.۶۱

شکل ۴-۷: نمودار ضریب جذب خطی برحسب انرژی فوتون فرودی برای نقطه کوانتومی ZnS/CdSe با $a=2\text{nm}$ ، شعاع پوسته متغیر از ۲/۱ تا ۴ رسم شده است، محیط پلیمری اطراف نقطه PMMA است.۶۲

شکل ۴-۸: نمودار وابستگی انرژی گذار به شعاع هسته در (الف) CdSe/ZnS، (ب) ZnS/CdSe، با $b=3\text{nm}$ در محیط پلیمری PMMA.۶۳

شکل ۴-۹: نمودار ضریب جذب خطی برحسب انرژی فوتون فرودی برای نقطه کوانتومی هسته-پوسته (الف) CdSe/ZnS و (ب) ZnS/CdSe، با $b=3\text{nm}$ برای ثابت‌های دی‌الکتریک مختلف.۶۶

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۵۷.....	جدول ۴-۱: پارامترهای مواد ساختار هسته- پوسته _
۶۷.....	جدول ۴-۲: مقادیر انرژی گذار و ماکزیمم ضریب جذب در شعاع پوسته ۳ نانومتر

فصل اول

مقدمه

مقدمه

تأمین انرژی همواره یکی از دغدغه‌های اصلی بشر بوده است. امروزه به دلیل افزایش هزینه و آلاینده‌های زیست محیطی سوخت‌های فسیلی استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید در تأمین انرژی بشر جایگاه ویژه‌ای یافته است.

فناوری بهره‌برداری از انرژی خورشید در حال حاضر رشد و سرمایه‌گذاری قابل توجهی را با هدف تولید نیروی برق با هزینه‌ی کمتر به خود اختصاص داده است. یک روش جالب برای تبدیل نور خورشید به نیروی برق، متمرکزکننده‌ی صفحه تخت نورتاب است که با متمرکز کردن انرژی خورشیدی به جای یک سطح بزرگ از یک سطح کوچک‌تر استفاده می‌کند و به این ترتیب مقدار ماده نیم‌رسانای مورد نیاز، در واحد سطح، را کاهش می‌دهد و نیروی برق کم هزینه‌تری را نسبت به سلول‌های خورشیدی متعارف تولید می‌کند [۱].

مزیت اساسی متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب^۱ نسبت به سایر فن‌آوری‌های خورشیدی از جمله سلول‌های خورشیدی منفرد این است که این نوع متمرکزکننده‌ها نور خورشید مستقیم^۲ و پراکنده‌شده^۳ را با بازده یکسانی متمرکز می‌کنند و نیازمند ردیابی نور خورشید نیستند. به‌علاوه، متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب قابلیت تبدیل بخش عمده‌ای از طیف پرنرژی را به فوتون‌هایی با طول موج مطلوب برای سلول‌های خورشیدی دارند که موجب افزایش بازده سلول متصل شده، می‌شود. این نوع متمرکزکننده‌ها دارای وزن کم و انعطاف پذیری بالا و قابلیت منحصربه‌فرد در کاربردهای ساختمانی هستند [۲].

ایده متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب برای کاربردهای فوتولتائیک در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی توسط گوئتزربرگر و گروبل [۳]، وبر و لمب [۴] مطرح شد. این متمرکزکننده‌ها شامل صفحات مسطحی از جنس پلیمر شفاف یا شیشه هستند که با گونه‌های نورتاب^۴ آلائیده شده‌اند، و تابش نور خورشید فرودی را جذب و مجدداً نشر می‌کنند. نوری که مجدداً نشر شده و به سمت قرمز انتقال یافته از طریق بازتاب کلی داخلی^۵ به لبه‌های صفحه، جایی که سلول‌های خورشیدی قرار گرفته‌اند، هدایت و به نیروی برق تبدیل می‌شود [۲].

سازوکار اتلافی در LSC نشر فوتون‌ها درون مخروط فرار^۶ - جذب توسط محیط پلیمری و یک بازده کوانتومی نورتابی کمتر از ۱۰۰ درصد را به‌وجود می‌آورد. جذب مجدد فوتون‌ها توسط ماده نورتاب دارای سازوکار اتلافی بزرگ‌تری است زیرا فرصت بیشتری را برای نشر فوتون‌ها درون مخروط فرار ایجاد می‌کند. به منظور جلوگیری از بازجذب فوتون‌ها یک جابه‌جایی استوکس بزرگ که هم‌پوشانی طیفی بین جذب و نشر را در ترکیب شیمیایی فلورسنت کاهش می‌دهد مطلوب است [۲].

مهم‌ترین مواد نورتاب مورد استفاده در LSC، رنگ‌دانه‌های آلی^۷ و نقاط کوانتومی معدنی^۸ هستند. قبل از استفاده از نقاط کوانتومی در متمرکزکننده‌های خورشیدی از رنگ‌دانه‌های آلی

^۱ - Luminescent Solar Concentrator (LSC)

^۲ - Direct sunlight

^۳ - Diffuse sunlight

^۴ - Fluorophores

^۵ - Total Internal Reflection (TIR)

^۶ - Light cone

^۷ - Organic dyes

^۸ - Inorganic Quantum Dots

استفاده می‌شد. نقاط کوانتومی نسبت به رنگ‌دانه‌های آلی مزایای فراوانی دارند، نقاط کوانتومی در برابر کاهش مرتبه‌ی نوری پایدارترند و گستره طیفی وسیعتری را، به خصوص در ناحیه UV جذب می‌کنند. طول موج نشر می‌تواند با تغییر قطر نقطه‌ی کوانتومی تنظیم شود که این از نتایج محدودیت کوانتومی است. و در آخر، به عنوان مهم‌ترین مزیت، هم‌پوشانی طیفی بین طیف جذبی و نشری را می‌توان کنترل کرد و به یک مقدار مینیمم کاهش داد. برای مثال، با استفاده از نقاط کوانتومی مرتبه ۲ (نقاط کوانتومی هسته-پوسته) یا نقطه‌ی کوانتومی سرب سولفید [۲].

با پیشرفت‌های اخیر فن‌آوری نانو در زمینه نیم‌رساناها، مطالعه‌ی ویژگی‌های فیزیکی سیستم‌های کوانتومی با ابعاد کم مانند چاه‌ها، سیم‌ها و نقاط کوانتومی افزایش یافته است. در میان نانوساختارهای نیم‌رسانا، نقاط کوانتومی به دلیل ویژگی‌های اپتیکی و الکترونیکی غیرعادی‌شان توجه زیادی را به خود معطوف کرده‌اند. برخلاف نوارهای انرژی در مواد نیم‌رسانای کپه‌ای، اثرهای اندازه کوانتومی به شکل‌گیری سطوح انرژی گسسته شبه-اتمی در این ساختارها منجر می‌شود. در این میان ترکیبی غیرهمگن از نقاط کوانتومی با یک هسته در مرکز و یک یا چندین لایه از پوسته‌های متفاوت که نقطه کوانتومی با ساختار هسته-پوسته نامیده می‌شود، بسیاری از دانشمندان را مجذوب خود کرده است. از آن‌جا که این نوع ساختارها در افزایش ویژگی‌های اپتیکی نقاط کوانتومی نقش به‌سزایی دارند، در متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با پیشرفت‌های فن‌آوری نانو، نقاط کوانتومی هسته-پوسته فراوانی ترکیب و ویژگی‌های اپتیکی آن‌ها بررسی شده است [۵و۶] و نشان داده شده که تشکیل ساختارهای هسته-پوسته موجب افزایش ویژگی‌های اپتیکی نقاط کوانتومی می‌شود.

اخیراً نقاط کوانتومی هسته-پوسته در متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولی در همه این پژوهش‌ها تنها سنتز و ساخت متمرکزکننده‌ها به‌طور تجربی بررسی شده است [۲] و باوجود نقش عمده‌ای که ویژگی‌های اپتیکی نقاط کوانتومی هسته-پوسته در این دستگاه‌ها ایفا می‌کند، بررسی نظری ویژگی‌های اپتیکی به‌ویژه جذب خطی متمرکزکننده‌های خورشیدی نورتاب تاکنون انجام نشده است که این پژوهش به بررسی این مهم می‌پردازد.

در فصل دوم ضمن بررسی فرآیندهای موجود در LSC کارهای انجام گرفته در زمینه افزایش بازده و طول عمر این متمرکزکننده ها در طی ۳۰ سال گذشته بیان شده است. در فصل سوم به معرفی مواد نورتاب مورد استفاده در این کار نظری یعنی نقاط کوانتومی و نقاط کوانتومی با ساختار هسته-پوسته پرداخته شده است. در فصل چهارم با انتخاب سیستمی غیرنسبیتی شامل یک متمرکزکننده خورشیدی نورتاب نقطه کوانتومی، مسئله با دید کوانتومی بررسی می شود. با نوشتن معادله شرودینگر (مستقل از زمان) برای نقاط کوانتومی کروی هسته-پوسته با پتانسیل تحدید ثابت و یافتن مجموعه عملگرهای جابه جا شونده با هامیلتونی توابع موج و ترازهای انرژی سیستم به روش های عددی و در چارچوب تقریب جرم مؤثر محاسبه می گردند. و در نهایت با در نظر گرفتن ویژگی های اپتیکی سیستم، محاسبه ضریب جذب اپتیکی خطی انجام می گردد.

فصل دوم

متمرکزکننده خورشیدی نورتاب

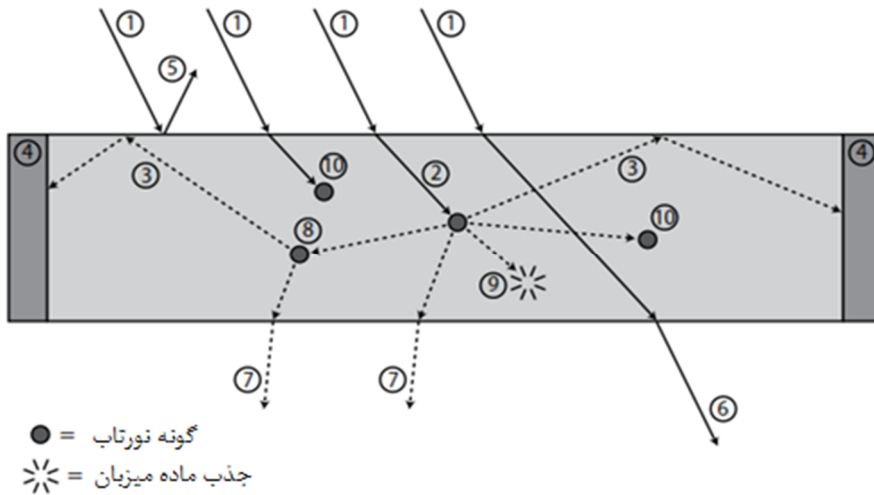
۱-۲ مقدمه

متمرکزکننده خورشیدی نورتاب اولین بار در اواخر دهه ۱۹۷۰م به عنوان وسیله‌ای برای متمرکز کردن تابش خورشیدی مطرح شد. گرچه ایده‌ی به دام اندازی فلورسانس درون یک جسم شفاف با استفاده از بازتاب داخلی کلی در سال ۱۹۴۹ شناخته شده بود [۷]. مطالعات گسترده‌ای روی فن‌آوری LSC تا دهه‌ی ۱۹۸۰ انجام گرفت تا این که محدودیت‌های رنگ‌دانه‌های فلورسانس در آن زمان مانع پیشرفت‌های بیشتر شد [۸ و ۹]. ابداع مواد نورتاب جدید مانند نقاط کوانتومی [۱۰] و مواد کمیاب خاک^۱ [۱۱] مجدداً توجه افراد زیادی را به پیشرفت LSC جلب کرد.

LSC شامل صفحات مسطحی از جنس پلیمر شفاف یا شیشه است که با گونه‌های نورتاب آلائیده شده است، و تابش نور خورشید فرودی را جذب و مجدداً نشر می‌کنند. نوری که مجدداً

^۱ - Rare-earth Material

نشر شده و به سمت قرمز انتقال یافته از طریق بازتاب کلی داخلی به لبه‌های صفحه جایی که سلول‌های خورشیدی قرار گرفته‌اند، هدایت و به نیروی برق تبدیل می‌شود. در حالت ایده‌آل برای رسیدن به بازدهی تبدیل نسبتاً واحد، باید انرژی فوتون‌های گسیل شده، کمی بیشتر از گاف انرژی سلول‌های خورشیدی متصل به لبه‌های متمرکزکننده باشد. مهم‌ترین چالش در این دستگاه، افزایش بازدهی تبدیل فوتون به الکترون می‌باشد.



شکل ۲-۱: سطح مقطع متمرکزکننده خورشیدی نورتاب [۱۲]

با توجه به شکل ۱-۲ نور فرودی با عبور از سطح بالایی متمرکزکننده (شکل ۱-۲ پرتو ۱) می‌تواند توسط گونه نورتاب جذب شده (شکل ۱-۲ پرتو ۲) و متناسب با بازده کوانتومی آن، باعث گسیل فلورسانس شود. اگر زاویه گسیل بزرگ‌تر از زاویه بحرانی باشد، در این صورت نور گسیلی توسط بازتاب داخلی کلی، به لبه‌های متمرکزکننده انتقال پیدا می‌کند (شکل ۱-۲ پرتو ۳) و توسط سلول خورشیدی جمع‌آوری می‌شود (شکل ۱-۲ پرتو ۴). در این متمرکزکننده‌ها اتلاف‌های متعددی وجود دارد که باعث کاهش بازده خروجی می‌شوند، به این ترتیب که: کسر کوچکی (تقریباً ۴ درصد) از نور فرودی توسط سطح بالایی بر اساس بازتاب فرنل تلف می‌شود (شکل ۱-۲ پرتو ۵). اگر گونه نورتاب محدودیت جذب در قسمتی از طیف خورشیدی را داشته باشد آن قسمت از پرتوها بدون جذب از صفحه عبور می‌کنند (شکل ۱-۲ پرتو ۶). اگر زاویه فرودی فلورسانس گسیلی با سطح داخلی متمرکزکننده بزرگ‌تر از زاویه بحرانی باشد، در آن صورت نور در داخل صفحه به دام می‌افتد ولی اگر زاویه مورد نظر، کوچک‌تر از زاویه بحرانی باشد، نور از صفحه متمرکزکننده خارج می‌شود، که به آن اتلاف مخروط گریز می‌گویند (شکل ۱-۲

پرتو ۷). فلورسانس گسیلی یک گونه نورتاب می‌تواند توسط گونه‌های نورتاب دیگری که طیف جذبی آن‌ها با طیف گسیلی گونه گسیلنده هم‌پوشانی دارد، بازجذب شود (شکل ۲-۱ پرتو ۸). این بازجذب می‌تواند باعث تولید فلورسانس دیگری شده و به لبه‌ی متمرکزکننده منتقل شود (شکل ۲-۱ پرتو ۳) و یا توسط مخروط گریز از صفحه متمرکزکننده خارج شود (شکل ۲-۱ پرتو ۷). عمل بازجذب نیز می‌تواند موجب اتلاف بزرگ‌تری شود، چون احتمال دارد که فلورسانس به دام افتاده، توسط بازجذب به خارج متمرکزکننده هدایت شود و یا توسط ماده میزبان جذب شده و تلف شود (شکل ۲-۱ پرتو ۹). در نهایت، اگر گونه نورتاب دارای بازده کوانتومی غیر واحد باشد، ممکن است فوتون جذب شده توسط گونه، باعث گسیل لومینسانس نشود (شکل ۲-۱ پرتو ۱۰).

در پروژه طیف کامل^۱، عملکرد نقاط کوانتومی و رنگ‌دانه‌های آلی به عنوان انواع مواد نورتاب در LSC مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۱۳]. ویژگی‌های مهم رنگ‌دانه‌های آلی عبارت است از: ۱- بازدهی کوانتومی فوتولومینسانس (PLQY^۲) بالایی را می‌توانند ارائه دهند (تقریباً واحد). ۲- در رنگ‌های متنوعی وجود دارند. ۳- گونه‌های مولکولی جدیدی اکنون موجود هستند که ویژگی‌های بازجذبی بهتری دارند و می‌توانند پایداری فرابنفش مورد نیاز را تأمین کنند. ولی نقاط کوانتومی نسبت به رنگ‌دانه‌های آلی برتری‌های فراوانی دارند، نقاط کوانتومی در برابر کاهش مرتبه نوری پایدارترند و گستره طیفی وسیع‌تری را، به خصوص در ناحیه UV جذب می‌کنند. طول موج نشر می‌تواند با تغییر قطر نقطه‌ی کوانتومی تنظیم شود، به‌عنوان مهم‌ترین مزیت، هم‌پوشانی طیفی بین طیف جذبی و نشری را می‌توان کنترل کرد و به یک مقدار کمینه کاهش داد، برای مثال، با استفاده از نقاط کوانتومی مرتبه ۲ (نقاط کوانتومی هسته- پوسته) یا نقطه‌ی کوانتومی سرب سولفید.

۲-۲ اتلاف در LSC

سازوکارهای اتلاfi مختلفی در توصیف عملکرد LSC در بخش بالا ارائه شد. کاهش یا رفع این اتلاف‌ها یکی از چالش‌های عمده در پیشرفت LSC می‌باشد. در این بخش به بررسی جزئیات هریک از این سازوکارها پرداخته و بزرگی نسبی آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در بخش‌های

^۱-Fullspectrum

^۲-Photoluminescent Quantum Yield

بعد، انواع گزینه‌های مختلف برای هر مؤلفه‌ی LSC (مانند انتخاب گونه نورتاب و ماده میزبان) و تأثیرات آن‌ها را بر این سازوکارها مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

بازده اپتیکی کل یک LSC، η_{opt} ، به عنوان کسری از توان تابشی خورشیدی منتقل شده به لبه‌های متمرکزکننده تعریف می‌شود و می‌توان آن را به صورت نتیجه بازده‌های فرآیندهای مختلف موجود در داخل LSC بیان کرد. رابطه (۱-۲) که توسط گوئتزرگر مطرح شده است مقدار بازده اپتیکی کل متمرکزکننده را مشخص می‌کند [۱۴]. رابطه ۱-۲ تقریبی است، چون بازده‌های مختلف وابسته به هم هستند.

$$\eta_{opt} = (1-R) P_{TIR} \eta_{abs} \eta_{PLQY} \eta_{stokes} \eta_{host} \eta_{TIR} \eta_{self} \quad (1-2)$$

در رابطه‌ی (۱-۲)، R ضریب بازتاب سطح و $(1-R)$ کسر نور تابشی منتقل شده به داخل LSC، P_{TIR} احتمال به دام افتادن فلورسانس گسیلی در داخل صفحه توسط بازتاب داخلی کلی، η_{abs} بازدهی جذب، η_{PLQY} بازدهی کوانتومی فوتولومینسانس، η_{stokes} بازدهی استوکس، η_{host} بازدهی ماده میزبان، η_{TIR} بازدهی بازتاب داخلی کلی نور و η_{self} بازدهی بازجذب توسط ماده نورتاب می‌باشد.

۳-۲ عوامل مؤثر بر بازدهی اپتیکی کل^۱

۳-۲-۱ کسری از نور تابشی منتقل شده به داخل صفحه $(1-R)$

بخش کوچکی از اتلاف نور تابشی ناشی از بازتاب فرنل از سطح بالایی صفحه LSC است. اتلاف ناشی از بازتاب سطح برای تابش عمودی با رابطه $R = [(n-1)/(n+1)]^2$ نشان داده شده و مقدار آن برای محیطی با ضریب شکست $n=1/5$ حدود ۴ درصد می‌باشد. بازتاب از سطح زیرین صفحه متمرکزکننده اهمیت کمتری دارد. چون پیش از رسیدن نور به سطح زیرین، بخش عمده و مفید طول موج‌های تابشی توسط مواد نورتاب جذب می‌شود.

¹ - Overall optical efficiency