سومین کنفرانس الکترومغناطیس مهندسی (کام) ایران
۱۳-۱۲ آذرماه ۱۳۹۳

وزارت علوم، تحقیقات وفناوری
سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

بررسی تأثیرات پارامترهای هندسی یک مایکروپیلار استوانه‌ای با سطح مقطع بیضوی بر روی فاکتور پرسل

ندا نهرشهری*[۱]، احمدرضا دارائی[۲]
[۱ و ۲] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۱- n.nahrshahri@gmail.com و ۲- daraei@phys.usb.ac.ir

چکیده – محبوس‌سازی و تشدید نور گسیل شده از نقاط‌کوانتومی، کاربردهای مفید زیادی از جمله ارتقاء صنایع الکترونیک، محاسبات کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی و ابزارهایی مانند لیزر، دیودهای نوری و رایانه‌ها را به‌دنبال دارد. این تشدیدسازی تحت پدیده‌ای به نام اثر پرسل (Purcell) میسر می‌گردد. در این مقاله، به بررسی اثر پرسل در یک ساختار مایکروکاواک استوانه‌ای با سطح مقطع بیضوی پرداخته می‌شود. این ساختار و نقاط کوانتومی تعبیه شده در کاواک، با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده است. میدان الکتریکی مدهای مربوطه و تأثیر تغییرات مشخصات هندسی مایکروکاواک بر اثر پرسل بررسی خواهد شد.

کلید واژه- اثر پرسل (Purcell)، مایکروکاواک استوانه‌ای، نقطه کوانتومی، متلب.

۱- مقدمه

محبوس‌سازی و تشدید نور گسیل‌شده از تابش‌گرهایی مانند نقاط‌کوانتومی که به اتم‌های مصنوعی معروفند، کاربردهای مفید زیادی از جمله در ارتقاء صنایع الکترونیک، با ابزارهایی مانند لیزر، دیودهای نوری را به‌دنبال دارد. نقاط کوانتومی، به دلیل داشتن خاصیت‌ها و ویژگی‌های بسیار مناسب گسیل نور، برای تشدید و محبوس‌سازی در ساختاری به نام "کاواک" مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. برای بررسی اثر متقابل نور و ماده در نیم‌رساناها، ساختار مایکروکاواک با فاکتور کیفیت بالا و نقاط کوانتومی تعبیه شده در آن، یکی از گزینه‌های مناسب است[۲].

مایکروکاواک‌ها انواع مختلفی دارند، که در بین آن‌ها مایکروکاواک استوانه‌ای (مایکروپیلار)، کاواک بلورهای فوتونیکی و مایکرودیسک از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. مایکروکاواک مورد بررسی در این مقاله، مایکروکاواک استوانه‌ای است که قابلیت محبوس‌سازی مدهای فوتونیکی منفصل در حجم مدی کوچک را دارد. تابش نور در این مایکروکاواک‌ها به خوبی در راستای محور استوانه تشدید و جهت‌گیری می‌شود. یکی دیگر از دلایل انتخاب این ساختار، داشتن مد گاؤسی تک قله و در نتیجه قابلیت پذیرش نقطه کوانتومی برای کوپل شدگی در دو رژیم قوی و ضعیف است[۳]. کوپل‌شدگی ضعیف منجر به افزایش گسیل خودبه‌خودی تحت اثر پرسل می‌شود.

فاکتور پرسل، در سال ۱۹۴۶ توسط ادوارد پرسل برای میزان افزایش گسیل خودبه‌خودی تابش‌گر با استفاده از کاواک برای بهینه کردن کوپل‌شدگی میدان دوقطبی و چگالی مدهای فوتون در دسترس، بیان شد[۲]. طبق اثر پرسل، وقتی یک تابش‌گر نانومتری نظیر نقطه کوانتومی در داخل یک مایکروکاواک نوری تعبیه می‌شود، میزان تابش حاصله از آن به طور قابل ملاحظه‌ای تقویت می‌شود؛ که با رابطه زیر بیان می‌شود[۶-۴]:

$$F_P = \frac{3}{4\pi^2}\left(\frac{\lambda}{n}\right)^3\left(\frac{Q}{V_{eff}}\right) \qquad (1)$$

در این رابطه، Q فاکتور کیفیت کاواک، V_{eff} حجم مؤثر کاواک، n ضریب شکست ماده کاواک و λ طول موج نور در محیط خارج کاواک است.

۲- ساختار هندسی مایکروپیلار و اثر پرسل

مایکروکاواک نوری استوانه‌ای، ساختاری است که دو سری