طراحی نانو پالایشگر پلاسمونیکی چنددندانهای زنجیرهای (CM_{1-r}-TPNF) برای به کار گیری در افزارههای ریزساختار پزشکی

اکارشناس ارشد فوتونیک گرایش الکترونیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. استادیار فیزیک، دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

فريبا سعيد'

حسن فاطمي ً

نویسنده ٔ مسئول: فریبا سعید، تلفن ۹۱۳۳۴۰۶۴۹۰ پست الکترونیک: fariba.saeed@gmail.com

مقدمه

انسان از دیرباز تاکنون سعی در هرچه کوچکترکردن ابعاد هندسی ابزار تبدیل و انتقال انواع انرژیها برای کاربردهای گوناگون داشته است. عواملی چون شتاب انقلاب صنعتی، رشد فناوریهای نانو و همچنین دستیافتن به تکنولوژی ساخت افزارههای نانواپتیکی زمینه را برای گسترش صنایع پیشرفتهٔ ساخت مکانیزمهای ریزساختار تبدیل و یا انتقال انرژی حاصل از امواج الکترومغناطیس فراهم آورده است. بدیهی است ضرورت استفاده از این مکانیزمها در بسیاری از حوزههای کاربردی همچون پزشکی از اهمیت ویژهای برخوردار است. لذا در این مقاله به معرفی نوع جدیدی از نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی پرداخته شده است که

خلاصه

مقدمه: در این مقاله به طراحی پالایشگر جدیدی بهنام نانوپالایشگر پلاسمونیکی چنددندانهای زنجیرهای (CM_{1-r}-TPNF) پرداخته شده است که بهدلیل داشتن عملکرد گذردهی زیر طول موجی امواج الکترومغناطیس میتوان آن را در ابعاد هندسی بسیار ریز، در مقیاس نانومتر، طراحی و تولید کرد و در ساخت ابزار ریزساختار دقیق پزشکی مانند MEMSها به کار گرفت.

روش بررسی: این نانوپالایشگر با مدلسازی بهروش تفاضل محدود در حوزهٔ زمان(FDTD) در فضای مجازی طراحی و شبیهسازی شده و بررسی عملکرد آن با استفاده از اصل برهمنهی صورت گرفته است. برای اطمینان درستی نتایج با نتایج حاصل از روش همارزمداری(ECM) مقایسه شده است.

یافتهها: CM_{1-r}-TPNF از کنارهم قرارگرفتن زنجیروار r نانوپالایشگر پلاسمونیکی چنددندانهای شکل می گیرد و در محدودهٔ طول موجهای ۴۰۰ نانومتر تا ۵ میکرومتر کاربرد دارد و میتواند هم نواحی بسیار باریک میانگذر و هم پهناهای بسیار وسیع میاننگذر را با دقت بالا تولید نماید که فرآیند مربوط به هر دو مورد در مثالهایی آورده شده است.

نتیجهگیری: باتوجه به ویژگیهای CM_{1-r} -TPNF استفاده از آن در ساخت ابزار دقیق و ریز ساختار فوتونیکی بسیار مناسب است. در بیناب گذردهی نسبی، آن دو فاکتور شدت دامنه و پهنای باریکهٔ گذردهی بههم وابستهاند که میتوان برحسب مورد و برای کاربردهای گوناگون یکی را نسبت به دیگری در اولویت قرار داد. البته بر اثر افزایش درصدی Δc_1 موج رفتاری نوسانی پلکانی و Δc_1 عملکردی کاواک گونه خواهند داشت.

واژههای کلیدی: نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی، نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی چنددندانهای، روش تفاضل محدود در حوزهٔ زمان

برای به کار گیری در ساخت دستگاههای دقیق پزشکی طراحی شده و با شبیه سازی در فضای مجازی چگونگی عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است.

درحالحاضر نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی میانگذر و میاننگذر بهدلیل داشتن عملکرد گذردهی زیر طولموجی امواج الکترومغناطیس آنها در بسیاری از صنایع پیشرفتهٔ فوتونیکی کاربرد فراوان دارند. باتوجه بههمین ویژگی میتوان این پالایشگرها را در ابعاد هندسی بسیار ریز، نانومتر، کوچکتر از

¹¹Plasmonic Nano Filter

²Sub-Wavelength

طولموج ورودی و بدون ایجاد پدیدهٔ پراش و اتلاف انرژی حاصل از آن [٦١] طراحي و اجرا کرد تا نواحي ميانگذر بسيار باريک^۳ و میاننگذر بسیار وسیع ٔ را در محدودههای فرکانسی مورد نظر و با دقت مطلوب توليد نمايند [٣]. لذا باتوجه به ضرورت رشد فن آوری های به کاررفته در ساختار ابزار و ادوات پزشکی دقیق و کم حجم، مانند MEMSها، می توان از این ویژگی در زمینهٔ طراحی و تولید این افزارهها بیشازپیش بهره برد. از این بین، $^{\mathrm{a}}\mathrm{M} ext{-}\mathrm{TPNFs}$ نانويالايشگرهای پلاسمونيکی چنددندانهای و يا برای تولید نواحی گذردهی و یا پالایشی محدودهٔ مادون قرمز که برای تشخیص و درمان برخی بیماریها حائز اهمیت است، مناسب بهنظر می آیند. اما، درصد زیادی از آنها (چه از نوع میان گذر یا میان نگذر) قادر به تولید محدودههای کاربردی کامل نیستند. بنابراین برای رفع این عیب به طراحی نانوپالایشگرهای $^{5}\mathrm{CM}_{1 ext{-r}} ext{-TPNFs}$ پلاسمونیکی چنددندانهای زنجیرهای یا پرداخته شده است که می توانند ضمن ایجاد نواحی گذردهی یا پالایشی مورد نظر به اصلاح و بهینهسازی دقیق این محدودهها بپردازند.

روش بررسی

مدلسازى عددى محيط پلاسمونيكى بهروش عددى اختلاف محدود در حوزهٔ زمان یا FDTD^۷ [۶-۴] با دقت انجام شده است و در مرحلهٔ $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 2 nm$ کدنویسی بهدلیل تقارن ساختار هندسی مسئله بدون اینکه در نحوهٔ عملکرد این افزاره اختلالی ایجاد شود، محاسبات در فضای دوبُعدى انجام شده است تا طراحي و اجراي برنامهها زمانبري کمتری داشته باشند. قسمتی از این مراحل با کمک محیط نرمافزاری Meep^ [۷] که توسط دانشگاه MIT بهصورت کدباز [•] و مناسب برای محیطهای پلاسمونیکی ارائه شده، صورت گرفته است.

, $CM_{1-r}\text{-}TPNF$, where M_{1-r} , M_{1-r} , چگونگی ایجاد، اصلاح و بهینهسازی بینابهای گذردهی نسبی پالایشگر براساس مدل دروده-لورنتس' [۱۰–۸] و با استفاده از اصل برهمنهی'' بهطور هم زمان انجام پذیرفته است و برای

³Narrow-band

⁴Broad-band

⁵Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters

⁶Chain Cascaded Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters

⁷Finite Diference Time Domain Method

⁸MIT Electromagnetic Equation Propagation

در روش عددی، اختلاف محدود در حوزهٔ زمان دو معادلهٔ کرل ماکسول بههمراه معادلهٔ چگالی شار بهشکل تفاضل محدود در هر دو حوزهٔ فضا و زمان تبدیل می شوند [۱۶و۱۷]. در این معادلات میدان الکتریکی و مغناطیسی برحسب میدانها در زمان قبلی در هر لحظه محاسبه و بازنویسی می شوند. اگر k نشان دهندهٔ موقعیت و n_t نماد زمان باشند، معادلات (۱) و (۲) فرم اختلاف محدود در حوزهٔ زمان مؤلفهٔ x آنها هستند. بهطور مشابه این معادلات برای پنج مؤلفهٔ باقیمانده نیز نوشته شده است و برای گامهای زمانی بعدی و نقاط مکانی دیگر فضا در زمان واحد حل مىشوند.

$$E_{x}^{n_{t}+\frac{1}{2}}(k) = E_{x}^{n_{t}-\frac{1}{2}}(k) - \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta x} \left[H_{y}^{n_{t}}(k+\frac{1}{2}) - H_{y}^{n_{t}}(k-\frac{1}{2})\right]$$
(Y)
$$H_{x}^{n_{t}+1}(k+\frac{1}{2}) = H_{x}^{n_{t}}(k+\frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta x} \left[F_{x}^{n_{t}+\frac{1}{2}}(k+1) - F_{x}^{n_{t}+\frac{1}{2}}(k)\right]$$
(Y)

$$H_{y}^{n_{r}+1}(k+\frac{1}{2}) = H_{y}^{n_{r}}(k+\frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\mu \Delta x} [E_{x}^{n_{r}+\frac{1}{2}}(k+1) - E_{x}^{n_{r}+\frac{1}{2}}(k)]$$
(Y

در مدل همارزمداری که براساس تئوری خطوط انتقال مخابراتی عمل می کند و همارزمداری ساختار پالایشگرها را شبیهسازی میکند، ماتریس گذردهی نسبی هر یک از دندانههای M-TPNF به صورت زیر است:

(٣

 $T = A(L)B(Z_{Tooth}^{(1)})A(\Delta_1)B(Z_{Tooth}^{(i)})A(\Delta_i)...B(Z_{Tooth}^{(i+1)})...A(\Delta_{M-1})B(Z_{Tooth}^{(M)})A(L)$

$$\mathbf{A}(z) = \begin{pmatrix} \exp(-j\beta z) & 0 \\ 0 & \exp(-j\beta z) \end{pmatrix}$$
(*
$$\mathbf{B}(Z_{Tooth}^{(i)}) = \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} & -\frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} \\ \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{Tooth}} & 1 - \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{Tooth}} \end{pmatrix}$$
(\$

$$Z_{MDM} = \frac{\beta(h)h}{h} \tag{9}$$

¹²Circuit Equivalent Method

⁹Open Source

¹⁰Drude-Lorentz model ¹¹Super position principle

 $[\]mathscr{O}\mathcal{E}_{0}\mathcal{E}_{1}$ به بیان ساده می توان اصل برهمنهی به طور همزمان را مجموع و یا هم پوشانی

همزمان تأثیر دو یا چند عامل اثرگذار را در یک موقعیت دانست که در برخی از پدیدههای فیزیکی صادق است.

$$Z_{Tooth} = \frac{\beta(w) w \sqrt{\varepsilon_1} - j \sqrt{\varepsilon_2} \tan \beta(w) d}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_1 \sqrt{\varepsilon_2} - j \sqrt{\varepsilon_1} \tan \beta(w) d}$$
(Y

که در آن A(L) ماتریس انتقال امواج الکترومغناطیسی توصیفکنندهٔ انتشار موج در قسمتهای ابتدایی و انتهایی موجبر، $A(\Delta_i)$ ماتریس مربوط به انتقال در فاصلههای بین دندانههای موجبر، $B(Z_{Tooth}^{(i)})$ توصیفکنندهٔ جفتشدگی بین موجهای ورودی و بازتابشی مربوط به هریک از دندانهها و $Z_{To \ o \ t}$ و Z_{MDM} موجبر و هریک از دندانهها میباشند[۱۵].

يافتهها

۱-ساختار هندسی CM_{1-r}-TPNF

شکل ۱ مقطع عرضی از الگوی طراحی شده برای یک نانوپالایشگر پلاسمونیکی چنددندانه ای زنجیره ای را نشان می دهد. CM_{1 ت} TPNF از کنارهم قرار گرفتن زنجیروار r پالایشگر از نوع -M TPNF تشکیل می شود.



 $CM_{1-r} - TPNF$ شكل ۱: مقطع عرضي از الگوي طراحي شده براي

اگر M-TPNF های مفروض m_1 -TPNF ، n_1 -TPNF های مفروض M-TPNF ، n_r -TPNF اگر m_r -TPNF باشند، به ترتیب از ابتدای پالایشگر m_r -TPNF باشند، n_r -TPNF دندانهٔ عمود بر موجبر MDM که با هریک دارای n_r ... n_2 , n_1 دندانهٔ عمود بر موجبر MDM که با فاصلهٔ Δc_{r-1} ,..., Δc_2 , Δc_1 فاصلهٔ بین دندانههای مجاور فاصلهٔ ایک دندانههای محلور ارتفاع و پهنای دندانهها و همچنین فاصلهٔ بین دندانههای مجاور ارتفاع و پهنای دندانه و همچنین فاصلهٔ بین دندانههای مجاور موجبر Δc_r , Δc_2 , Δc_1 ، Δc_2 , Δc_2 , Δc_1 ، Δc_2 , Δc_1

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega - i\gamma)\omega} + \sum_{n=1}^5 \frac{f_n \omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2 - i\gamma_n \omega} \quad (\lambda$$

 CM_{1-r} -TPNF به تاوردن بیناب گذردهی نسبی We با توجه به این که بیناب گذردهی نسبی هر پالایشگر تأثیر پاسخ محیطی آن سیستم بر موج الکترومغناطیس ورودی می باشد و ماتریس انتقال سیستمهای اپتیکی چندگانه از حاصل ضرب ماتریسهای انتقال هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ آنها شکل می گیرد، اگر تأثیر برهم نهی همزمان r پالایشگر M-TPNF که به صورت زنجیروار چیده شدهاند، شکل ۱ مورد نظر باشد، بنابراین می توان با ضرب کردن بیناب های گذردهی نسبی آنها در یکدیگر و اضافه کردن تأثیر ΔC های شرکت کننده در ساختار هندسی پالایشگر، بیناب گذردهی نسبی آن را به دست آورد.

باتوجه به مقالاتی که پیش از این ارائه شدهاند [۱۸،۲۰]، در هر پالایشگر M-TPNF هریک از دندانهها و فاصلهٔ بین دندانههای مجاور، Δ ، همانند کاواکهای فابری- پرو با اندازهٔ آینههای محدود عمل میکنند و میتوانند طی فرآیند تشدید، برخی فرکانسها و همچنین هارمونیکهای آنها را جذب کنند و شدت انرژی موج الکترومغناطیس را در فرکانسهای مذکور تضعیف نمایند. البته راین موضوع در CM_{1-r}-TPNF برای $\Delta c_{r-1} \Delta c_{r-1}$ ها هستند نیز که بهترتیب فاصلهٔ بین دندانهها و M-TPNFها هستند نیز صادق میباشد.

بدیهی است سیستم مطلوب پالایشگری سیستمی است که بتواند بیشترین جذب و یا گذردهی را در محدودههای پالایشی مورد نظر داشته باشد. با درنظر گرفتن کاربردهای متفاوت، درمواردی لازم است در یک محدودهٔ پالایشی گسترده تنها ناحیهٔ بسیار باریکی از بازهٔ فرکانسی اجازهٔ گذردهی داشته باشد یا برعکس در برخیموارد ایجاد محدودهٔ پالایشی گستردهتری موردکاربرد میباشد. درهرصورت معمولاً ابتدا محدودهای تقریبی از بازهٔ پالایشی مطلوب را تولید میکنند و سپس طی فرآیندی حاصل شود. البته این روند برای بهینهسازی نواحی پالایش شده نیز کاربرد دارد. بنابراین میتوان با انتخاب صحیح M-TPNF هایی که بینابهای گذردهی نسبیشان همپوشانی مناسبی با یکدیگر داشته باشند به ایجاد، اصلاح و بهینهسازی محدودههای گذردهی و پالایشی مطلوب دست یافت. درادامه، برای واضحتر

شدن مطلب با دو مثال کاربردی نحوهٔ عملکرد CM_{1-r}- TPNF برای تولید پالایشگرهای میانگذر و میاننگذر توضیح داده شده است.

-۱-۳ استفاده از CM_{1-r}-TPNF برای پالایش پهنای گستردهای از بازهٔ فرکانسی در طولموجهای بخصوص

در این مرحله بهعنوان مثال، طراحی پالایشگر میاننگذر برای ایجاد پهنای پالایشی بین طولموجهای ۱ تا ۲/۳ میکرومتر مورد

نظر میباشد. برای این کار مشاهده میشود هم پوشانی بینابهای گذردهی نسبی پالایشگرهای 3-TPNF با ارتفاع دندانههای ۲۰۰ نانومتر و 3-TPNF با ارتفاع دندانههای ۳۰۰ نانومتر میتوانند این محدوده را پوشش دهند. حاصل ضرب این دو بیناب نتیجهٔ برهمنهی این دو TPNF میباشد که در شکل ۲ نمایش داده شده است. درصورتی که اثر Δc_1 اضافه شود، بیناب گذردهی نسبی C3-TPNF بدست میآید (بیناب ۴).





3-TPNF در این پالایشگر فرض بر این است فاصلهٔ بین 3-TPNF نخست و Δc_1 دوم (یا Δc_1) برابر با فاصلهٔ بین هردو دندانهٔ مجاور در هریک از M-TPNFها (یعنی؛ $\Delta c_1 = \Delta_1 = \Delta_2$) باشد. با توجه به اندازهٔ یکسان $\Delta c_1 \Delta_2 e_1 \Delta_3$ ، این پارامترها از عملکرد مشابهی دررابطه با انتخاب و حذف طول موجهای مناسب برخوردارند. بنابراین همان گونه که در شکل ۲ دیده می شود، بیناب(۴) نسبت به بیناب(۳) از افت دامنهٔ گذردهی بیشتری در طول بازهٔ فرکانسی برخوردار است.

برای پهنتر نمودن بازهٔ پالایشی کافیاست M-TPNFهای مناسب دیگری را به سیستم اضافه کرد تا بیناب گذردهی نسبی آنها بتواند باقیمانده بازهٔ فرکانسی مورد نظر را پالایش دهد.

بدیهی است با توجه به افزایش تعداد دندانهها، تعداد $_{r}$ ها و همچنین $\Delta \alpha$ ها کیفیت فرآیند پالایشگری افزایش می یابد و دامنهٔ بیناب گذردهی کاهش پیدا می کند. همان گونه که در شکل (۳- الف) نشان داده شده است یک پالایشگر FONF دیگر با ارتفاع دندانههای ۴۰۰ نانومتر به مجموعهٔ پالایشگر شکل (۲-الف) اضافه شده است. در شکل (۳- ب) با مقایسهٔ بینابهای گذردهی نسبی TPNF-د-C3، بیناب (۱)، و C3-3-TPNF، بیناب (۲)، می توان به سهولت به محدودهٔ پالایشی پهن تر اشاره نمود.



شکل۳: الف)مقطع عرضی از C3-3-3-TPNF ب)بینابهای گذردهی نسبی C3-3-TPNF بیناب(۱) و C3-3-3-TPNF بیناب(۲)

۲-۳- استفاده از CM_{1-r}-TPNF برای گذردهی باریکهای از بازهٔ فرکانسی در طول موجهای بخصوص

طراحی پالایشگر میانگذری که باریکهٔ گذردهی را در طول موج ۱ میکرومتر و با دامنهٔ گذردهی نسبی حداقل ۴۵ درصد به گونهای ایجاد کند که گذردهی طول موجهای پیرامون آن صفر باشد.

شکل (۴-ج) بیناب گذردهی C4-6-TPNF، بیناب(۳) را بهازای d₁=350nm و d₂=1100nm نشان میدهد. همان گونه که دیده میشود ناحیهٔ پالایشی از بازهٔ فرکانسی در تمام طول موجها از دامنهٔ صفر برخوردار نیست. بنابراین برای بهدست آوردن محدودهٔ پالایشی دقیق تر با دامنهٔ صفر دوباره از اصل برهم نهی استفاده می شود تا بتوان گسترهٔ پالایشی و باریکهٔ گذردهی مورد نظر را ایجاد نمود.



شکل۴: الف)مقطع عرضی از C4-6-TPNF ب)مقطع عرضی از C3-4-6-TPNF ج)بینابهای گذردهی نسبی 3-TPNF بیناب(۱)، C4-6-TPNF شکل۴: الف)مقطع عرضی از (۱)، d₃ = 1100nm ,d₂ = 350nm ,d₁ = 740nm بیناب(۲) درازای C3-4-6-TPNF بیناب(۲) و C4-6-TPNF

C3-4-6- باتوجه به شکل (۴-ج) که بیناب گذردهی نسبی -6-4-3 TPNF بیناب(۳) را از برهمنهی بینابهای گذردهی نسبی -3 TPNF بیناب(۱) با TPNF

ملاحظه می شود اندازهٔ دامنهٔ بازهٔ پالایشی حاصل صفر و همچنین اندازهٔ دامنهٔ ناحیهٔ باریک گذردهی با بزرگی مطلوب می باشد.

 CM_{1-r} -TPNF با ثانیر تغییرات Δc_1 بر بیناب گذردهی نسبی Δc_1 در بیناب با فرض ثابت بودن دیگر پارامترها تأثیر تغییرات Δc_1 در بیناب گذردهی نسبی پالایشگر CM_{1-r} -TPNF بررسی شد. در شکل نمودارهای تغییرات طولموجهای مرکزی بازههای پالایشی و نقاط بیشینهٔ بینابهای گذردهی نسبی CPNF -0-4-6-3 ناشی از تغییرات درصدی Δc_1 نمایش داده شده است. رفتار پلکانی تکرارشوندهٔ موجود مبین رفتار موج نسبت به پارامتر Δc_2

عملکرد کاواک گونهٔ فضای Δc_1 میباشد. اگر R اندازهٔ درصد اضافه شده به Δc_1 باشد در درصدهای کمتر و یا مساوی با ۱۰۰ طول موج مرکزی ناحیهٔ پالایشی و نقطهٔ بیشینهٔ باریکهٔ گذردهی به سمت طول موجهای بلندتر و در درصدهای بیشتر از ۱۰۰ به سمت طول موجهای کوتاهتر جابهجا می شوند. این روند جابه جایی در درصدهای بیشتر نیز دیده می شود.



شکل۵: نمودارهای تغییرات طولموجهای مرکزی محدودههای پالایشی (۱) و تغییرات نقطهٔ بیشینه (۲) برروی بیناب گذردهی نسبی C3-4-6-TPNF شکل۵: نمودارهای تغییرات درصدی (۲) مروی میناب گذردهی نسبی بهازای تغییرات درصدی (۲) مردم (±% مردم) مردم (۲) م

درواقع، پالایشگر CM_{1-r}-TPNF را میتوان به گونهای طراحی نمود که فاصلهٔ بین TPNFهای تشکیلدهندهٔ آن در یکی از این بازههای تکرارشونده قرار بگیرد.

بحث و نتيجه گيري

همان گونه که در شکلهای ۲ و ۴ دیده می شود M-TPNFها به تنهایی قادر به تولید بازههای گذردهی و یا پالایشی مورد نظر CM_{1-r}- یه طور کامل نیستند. اما با توجه به بینابهای گذردهی -CM_{1-r} TPNFها، شکلهای ۳ و ۴ که از تأثیر عملکرد همزمان دو یا چند M-TPNF شکل گرقتهاند، می توان محدودههای میان گذر و میان نگذر مطلوب را تولید کرد. این محدودههای تولید شده از شدت دامنه و پهنای گذردهی مناسب برخوردارند درصورتی که این دو فاکتور در بینابهای گذردهی مناسب برخوردارند درصورتی که دقت کافی را ندارند. بنابراین نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی چنددندانهای زنجیرهای (CM_{1-r}-TPNF) که از کنارهم قرار گرفتن زنجیروار r پالایشگر از نوع M-TPNF شکل گرفتهاند می توانند در فنآوریهای پیشرفته و ساخت ابزار دقیق برای

تولید، اصلاح و بهینهسازی محدودههای میانگذر بسیار باریک و همچنین محدودههای میاننگذر بسیار وسیع، با دقت نانومتر، بهکار روند.

 ${
m CM}_{1-r}$ البته باتوجه به اینکه بینابهای گذردهی نسبی ${
m M-TPNF}$ و همچنین ${
m M-TPNF}$ ها حاصل از برهمنهی همزمان r، ${
m M-TPNF}$ و همچنین تأثیر نقش پالایشگری ${
m \Delta} c$ ها میباشند از افت دامنهٔ چشمگیری نسبت به بینابهای گذردهی نسبی هریک از ${
m M-TPNF}$ های اولیه برخوردار هستند. لذا، ${
m M-TPNF}$ هایی که در آنها تعداد دندانهها کمتر و اندازهٔ ارتفاع کوچکتر باشد، میتوانند بهترین گزینهها برای طراحی این پالایشگرها باشند.

دقت در نمودارهای شکل ۵ که حاصل از بررسی انجام شده درخصوص افزایش درصدی Δc_1 میباشند، برای انتخاب اندازهٔ صحیح Δc_1 در هر پالایشگر مفروض ضروری است. رفتار نوسانی پلکانی موج و عملکردی کاواک گونه Δc_1 که براثر افزایش درصدی آن بروز می کند، مبین عملکردهای یکسان پالایشگرها در طراحیهای متفاوت است.

References

- 1. Maier S. Plasmonics Towards Subwavelength Optical Devices. Current Nanoscience 2005; 1: 17-22.
- 2. Kim K. Plasmonics Principles and Applications. InTech.: 2012.
- 3. Sorger V., Oulton R., Ma R., Zhang X. Toward integrated plasmonic Circuits. MRS Bull. 2012; 37: 728-38.
- Hu F., Yi H., Zhou Z. Band-pass plasmonic slot filter with band selection and spectrally splitting capabilities. Opt. Exp. 2011; 19: 4848- 55.
- 5. Hu F., Zhou Z. Wavelength filtering and demultiplexing structure based on aperture-coupled plasmonic slot cavities. J. Opt. Soc. Am. B 2011; 28: 2518-23.
- Tao J., Huang X. G., Lin X., Zhang Q., Jin X. A narrow-band subwavelength plasmonic waveguide filter with asymmetrical multipleteeth- shaped structure. Opt. Exp. 2009; 17: 13989-94.
- Oskooi A., Roundy D., Ibanescu M., Bermel P., Joannopoulos J.D., Johnson S. G. MEEP: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method. Compu. Phys. Commun. 2010; 181: 687–702.
- 8. Maier S. Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer Science+Business Media LLC: New York, 2007.
- Novotny L., Hecht B. Principles of Nano-Optics. Cambridge University Press: New York, 2006.
- 10.Jackson J. Classical Electrodynamics. John Wiely & Sons Inc.: New York, 1962.
- 11.Premaratne M., Pannipitiya A., Rukhlenko I. Analytical modeling of resonant cavities for plasmonic-slot-waveguide junctions. IEEE Photon. J. 2011; 3: 220–33.

- 12.Haroldo M., Pannipitiya T., Rukhlenko I., Agrawal G. Improved transmission model for metal-dielectric-metal plasmonic waveguides with stub structure. Opt. Exp. 2010; 18: 6191–204.
- 13.Pozar D. Microwave Engineering. Wiley: New York, 1998.
- 14.Zhang D. Electromagnetic Theory for Microwaves and Optoelectronics.2nd edn, Springer: Berlin, 2008.
- 15.Saeed F, Fatemi h, Khaksar A. Introducing and characterization of Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters (M-TPNFs) and Chained Cascaded M-TPNFs, using FDTD and CE methods. 19th Iranian Annual Physics Conference: Birjand university, June 2013.
- 16.Sullivan D. Electromagnetic Simulation using FDTD. IEEE Press: New York, 2000.
- 17.Taflove A., Hagness S. C., Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 3nd edn, Artech House Publishers: 2005.
- 18.Khaksar A, Fatemi H. Changes in the transmission properties of multi-tooth plasmonic nano-filters (M-TPNFs) caused by geometrical imperfection. J Opt 2012; 14: 085003-11.
- 19.Rakic A.D., Djurisic A.B., Elazar J.M., Majewski M.L., Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices Appl. Opt. 1998; 37: 5271-83.
- 20.Sheppard C, Fatemi H, Gu M. The Fourier optics of near-field microscopy. Scanning 1995; 17: 28-40.
- 21.Yariv A, Yeh P. Photonocs- Optical Electronics in Modern Communications. 6nd edn, Oxford University Press: New York, 2007.