

ارائه ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی به منظور مدیریت مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع و بهبود مخابرات باندهای کاربردی مخابراتی

مریم مجیدزاده

استادیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر، آموزشکده فنی و حرفه‌ای دختران ارومیه، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان آذربایجان غربی، ایران
mmajidzadeh@tvu.ac.ir

چکیده: این مقاله، ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی با هدف مدیریت مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع و همچنین بهبود کیفیت مخابرات باندهای پرکاربرد فرکانسی را ارائه می‌کند. بهره‌گیری از شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی اگرچه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد، به صورت همزمان اثر تضعیفی بر سیگنال‌های باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز شامل باندهای مورد نیاز برای مخابرات موبایل، GPS و GSM دارد. در ساختار اصلاح شده کاهنده مصرف انرژی پیشنهادی، یک حلقه بیضوی از روی پوشش اکسید فلزی برش خورده است که می‌تواند میزان انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز را به اندازه ۲۰/۲۲ دسی بل بهبود داده و درصد انتقال آن را از ۶۸/۷۸٪ به‌ازای شیشه کاهنده مصرف انرژی به ۸۷/۷۵٪ برساند که به‌اندازه ۱۸/۹۷٪ بهبود دارد. شایان ذکر است که با اصلاح انجام شده میزان انتقال انرژی گرمایی از ۴۳٪ به ۴۵/۴۹٪ می‌رسد. بهبود به‌دست آمده در باند ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز به‌ازای تنها ۲/۵٪ افزایش در میزان انتقال انرژی گرمایی حاصل شده است که قابل اغماض است. ساختار ارائه شده و بهبودهای ناشی از استفاده از این نوع شیشه در مدیریت مصرف انرژی و بهبود کیفیت کانال‌های کاربردی مخابراتی در طول مقاله، به‌دقت مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: شیشه کاهنده مصرف انرژی، باند مادون قرمز، باند امواج مرئی، شیشه اصلاح شده کاهنده مصرف انرژی، برش حلقه بیضوی.

مصرف انرژی به‌معنای داشتن محیطی خنک‌تر در تابستان و محیطی گرم‌تر در زمستان خواهد بود. این اتفاق به‌نوبه خود منجر به کاهش استفاده از وسایل سرمایشی و گرمایشی شده و تا حد زیادی کاهش مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که امواج مرئی به‌آسانی امکان عبور از این شیشه‌ها را دارند؛ یعنی افزون بر اینکه استفاده از این شیشه‌ها تأثیری بر دید از طریق شیشه ندارند، منجر به کاهش مصرف انرژی نیز می‌شوند.

گرچه استفاده از این روش، نوآوری قابل توجهی به شمار می‌آید و می‌تواند به‌نحو مناسبی کاهش مصرف انرژی را در پی داشته باشد، با این حال عیب عمده دارد که کاربرد آن را با مشکلاتی مواجه می‌کند و محدود می‌سازد. عیب عمده این ساختارها در آن است که افزودن لایه به یک سمت شیشه نه‌تنها منجر به تضعیف امواج در باند فرکانسی مادون‌قرمز می‌شود بلکه امواج کاربردی و ضروری در باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز را که شامل سیگنال‌های موبایل، GPS، GSM می‌شود تا حد زیادی تضعیف می‌کند. به این ترتیب استفاده از این سیگنال‌ها در ساختمان محدود شده و کیفیت سرویس‌دهی به کاربران کاهش می‌یابد. در راستای ارائه راهکاری برای رفع این مشکل، ساختار پوشش اکسید فلزی استفاده‌شده در شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی اصلاح می‌شود تا بتواند انتقال باند فرکانسی فوق را تا حد امکان افزایش دهد. به این منظور، المان‌های با ساختارها و اشکال مختلف از روی پوشش اکسید فلزی برش می‌خورند تا در آن محل‌ها تنها شیشه معمولی به جا بماند. با این کار، پوشش روی شیشه مانند یک فیلتر میان‌گذر عمل می‌کند. با تنظیم ابعاد و ساختار ناحیه برش خورده می‌توان باند عبور و قطع فیلتر میان‌گذر ایجادشده را روی باند فرکانسی مورد نظر متمرکز کرد. شایان ذکر است که استفاده از این ساختارها تأثیری روی دید از طریق شیشه نداشته و امکان دید واضح همچنان وجود دارد.

تاکنون مطالعاتی در زمینه طراحی شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی با برش‌هایی روی پوشش اکسید فلزی آن‌ها انجام شده است. برای مثال در مرجع [۶] رفتار شیشه کاهنده مصرف انرژی در برابر امواج فرکانس‌های مختلف بررسی شده است. نشان داده شده است که استفاده از چنین شیشه‌هایی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شوند، اما در صورت نصب در ساختمان منجر به کاهش کیفیت مخابره سیگنال‌های پرکاربرد مخابراتی می‌شوند. مرجع [۷] ساختاری را معرفی می‌کند که برای رسیدن به هدف کاهش مصرف انرژی اقدام به برش یک حلقه مربعی و یک برش ترکیبی دیگر از روی پوشش شیشه نموده است. این کار باعث

افزایش دمای کره زمین و تغییرات آب‌وهوایی ناشی از آن دلیل اصلی بشر برای نیاز به ارائه راهکاری کاهش مصرف انرژی است. با توجه به مصرف شدن بخش عظیمی از انرژی در مناطق مسکونی، لازم است راه‌حلی مناسب و کاربردی برای مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌ها تدبیر شود. تاکنون مطالعاتی در زمینه تهویه مطبوع ساختمان‌ها انجام گرفته است [۱-۲]. اما از آنجایی که حدود یک‌سوم هدررفت انرژی در ساختمان از طریق پنجره‌ها صورت می‌گیرد، به نظر می‌رسد طراحی شیشه‌هایی که قابلیت کنترل ردوبدل شدن گرما را دارند، می‌تواند نقش قابل توجهی در مدیریت انرژی، تهویه هوای مطبوع و کاهش هزینه‌های مرتبط داشته باشد. این موضوع درباره فضاهایی که سطح وسیعی از آن‌ها توسط شیشه پوشیده می‌شود، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. یک روش پیشنهادشده برای کاهش مصرف انرژی، استفاده از شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی^۱ است. این شیشه‌ها با ایجاد تغییراتی در ساختار شیشه‌های معمولی تولید می‌شوند. در واقع شیشه کاهنده مصرف انرژی از یک شیشه معمولی تشکیل شده است که روی یک سمت آن، پوششی از جنس خاص نشانده می‌شود تا عمل کاهندگی مصرف انجام گیرد. نشان دادن پوشش بر شیشه معمولی با هدف تولید شیشه کاهنده مصرف انرژی، از دو طریق امکان‌پذیر است. در یک نوع که به پوشش سخت^۲ معروف است، لایه سخت از جنس خاص در یک سمت شیشه نشانده می‌شود. این روش قابل اطمینان است و نیاز به مراقبت خاص از شیشه و لایه نشانده‌شده روی آن ندارد و می‌توان از آن به‌راحتی استفاده کرد. در نوع دیگر که به نام پوشش نرم^۳ شناخته می‌شود، لایه‌نشانی اکسید فلزی در یک سمت شیشه انجام می‌شود. در این روش، شیشه باید مورد مراقبت قرار بگیرد و با احتیاط استفاده شود تا به لایه افزوده‌شده آسیبی وارد نشود [۳].

افزودن این لایه باعث تغییر رفتار شیشه در برابر امواج فرکانس‌های مختلف می‌شود. شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی می‌توانند به‌صورت مطلوبی از عبور امواج مادون‌قرمز^۴ جلوگیری کند، به‌طوری که میزان انتقال این امواج در شیشه معمولی ۸۴٪ و در شیشه کاهنده مصرف انرژی ۴۳٪ است؛ که ۵۱٪ کاهش را نشان می‌دهد [۴] و [۵]. با توجه به اینکه انرژی گرمایی توسط امواج با باند فرکانسی مادون‌قرمز حمل می‌شود، کاهش انتقال این امواج از شیشه‌های کاهنده

1. Energy Saving Glass
2. Hard Coating
3. Soft Coating
4. Infrared

5. Global Positioning System
6. Global System for Mobile Communication

شیشه معمولی کاهش نشان می‌دهد. این در حالی است که انتقال باندهای فرکانسی کاربردی به اندازه ۱۸/۹۷٪ نسبت به شیشه کاهنده انرژی نوعی بهبود پیدا می‌کند. این دستاورد تنها با ۲/۵٪ افزایش انرژی گرمایی همراه است که در برابر بهبود به دست آمده قابل صرف نظر کردن می‌باشد. بهبود حاصله با برش یک حلقه بیضی شکل از روی پوشش فلزی شیشه کاهنده مصرف انرژی حاصل شده است. شایان ذکر است بررسی‌ها در طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (امواج مرئی)، ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر (مادون قرمز)، باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز که مربوط به باند فرکانسی امواج رادیویی و شامل باندهای پرکاربرد مخابراتی است انجام می‌شوند.

در ادامه این مقاله در بخش ۲ رفتار فرکانسی نوع خاصی از شیشه کاهنده مصرف انرژی به نام Suncool بررسی می‌شود. سپس در بخش ۳ میزان تأثیرپذیری انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز با استفاده از این شیشه مورد بحث قرار می‌گیرد. در ادامه در بخش ۴، ساختار شیشه اصلاح شده کاهنده مصرف انرژی ارائه شده در این مقاله معرفی می‌شود و میزان تأثیرپذیری باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز بررسی می‌گردد. در نهایت میزان کاهش مصرف انرژی به دست آمده با استفاده از ساختار اصلاح شده ارائه شده در بخش ۵ مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نتیجه‌گیری از کار پیش رو در بخش ۶ ارائه خواهد شد.

۲. بررسی رفتار فرکانسی شیشه Suncool در برابر امواج الکترومغناطیسی

امروزه انواع مختلفی از شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی برای استفاده در ساختمان‌ها تولید و استفاده می‌شوند. یکی از کارخانه‌های تولیدکننده این شیشه‌ها کارخانه تولید شیشه Pilkington است که به تولید انواع مختلفی از شیشه‌های کاهنده انرژی می‌پردازد. یکی از پرکاربردترین تولیدات این کارخانه به نام تجاری Suncool شناخته می‌شود [۴]. Suncool شیشه‌ای با قابلیت کنترل انتقال گرمای بالاست که می‌تواند درصد زیادی از امواج مرئی را از خود عبور دهد؛ از این رو در فرایند دید از طریق شیشه تأثیر مخرب نداشته و به راحتی در ساختمان‌ها با هدف کاهش مصرف انرژی به کار می‌رود. در این مقاله، روی شیشه Suncool متمرکز شده و مطالعات بر اساس ویژگی‌های این نوع ساختار شیشه‌ای انجام خواهند شد. شکل (۱) منحنی پاسخ فرکانسی شیشه Suncool را در چهار حالت مختلف در باندهای فرکانسی مرئی و مادون قرمز نشان می‌دهد [۱۲]. حالت اول شیشه معمولی بدون پوشش کاهنده مصرف انرژی است. همان طور که در منحنی دیده می‌شود، در این حالت انتقال انجام شده در باند فرکانسی مرئی و مادون قرمز زیاد است و بیشتر موج تابش شده از شیشه عبور می‌کند. در

کاهش ۱۲/۳۵٪ از مساحت کل شیشه و افزایشی به همین اندازه در انتقال باند مادون قرمز شده است. همچنین به ازای زوایای ۰ تا ۶۰ درجه رفتار ثابت و پایدار به دست آمده است. در ساختار ارائه شده در مرجع [۸] با هدف بهبود انتقال باند فرکانسی امواج رادیویی و مایکروویو، حلقه‌های شش ضلعی از روی شیشه کاهنده مصرف انرژی بریده شده‌اند. در این مطالعه تا ۲۰ دسی‌بل بهبود در باند فرکانسی ۰/۱ تا ۲/۳ گیگاهرتز به دست آمده است. در مرجع [۹] نیز از ترکیب دو ساختار بالاگذر و پایین‌گذر برای ایجاد خاصیت فیلتری لازم برای تقویت انتقال امواج تضعیف شده در اثر حضور پوشش اکسید فلزی استفاده شده است. نویسندگان در مرجع [۱۰] به معرفی ساختاری جدید با انتقال حدود ۸۰٪ در طول موج کاری ۳ تا ۵ میکرومتر برای امواج مادون قرمز پرداخته و ساختار ارائه شده را به دقت بررسی کرده‌اند. به عنوان مثالی دیگر از چنین شیشه‌هایی، یک ساختار سه لایه فراپهن باند برای استفاده در پوشش شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی در مرجع [۱۱] ارائه شده است. این ساختار قادر است به خوبی بازه فرکانسی مادون قرمز را تضعیف نموده و امواج باند مرئی را از خود عبور دهد. همچنین در باند فرکانسی ۰/۶۲ تا ۲/۰۲ گیگاهرتز که مربوط به باند فرکانسی GSM، GPS و UHF TV است، افزایش انتقال به وسیله این ساختار به دست آمده است. مطالعه انجام شده در مرجع [۱۲] ابتدا رابطه بین میزان مساحت برش خورده از روی پوشش شیشه کاهنده مصرف انرژی را بررسی کرده و سپس از طریق ارائه ساختاری جدید توانسته است انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز را بهبود دهد. همچنین نشان داده شده است که استفاده از این ساختار تأثیر مخربی بر دید از طریق شیشه ندارد. ساختارهای متنوع دیگری از انواع شیشه‌های اصلاح شده کاهنده مصرف انرژی نیز در مراجع [۱۳-۱۶] ارائه شده‌اند که راهکارهایی را برای انتقال مناسب باند فرکانسی رادیویی و مایکروویو و تضعیف باند فرکانسی مادون قرمز ارائه می‌کنند. با اینکه ساختارهای ارائه شده تاکنون توانسته‌اند به خوبی هدف اصلی استفاده از شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی را فراهم کنند، می‌توان گفت تاکنون مطالعه جدی در زمینه بررسی میزان کاهش مصرف انرژی همراه با بهبود کیفیت مخابره امواج رادیویی و مایکروویو از طریق استفاده از این شیشه‌ها مطرح نشده است.

با توجه به بحث مطرح شده، مطالعه پیش رو درصدد ارائه یک ساختار اصلاح شده از شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی برآمده است که بتواند به طور همزمان هم مصرف انرژی را کنترل کند و در عین حال بتواند باندهای مورد نیاز فرکانسی را به خوبی انتقال دهد. به وسیله ساختار ارائه شده، انتقال انرژی گرمایی به اندازه ۳۸/۵۱٪ نسبت به

فرکانسی همچون ^۱WiMAX، ^۲WLAN، GSM و GPS است نیز کاهش میزان انتقال امواج مشاهده می‌شود. گرچه کاهش انتقال امواج باند مادون‌قرمز بسیار مطلوب است، اختلال در انتقال امواج در باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز نامطلوب بوده و استفاده از این شیشه‌ها را دچار محدودیت‌های اساسی خواهد کرد.

با هدف ارائه راهکاری برای حل این مشکل، در ساختارهای اصلاح‌شده شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی به ایجاد برش‌هایی روی پوشش اکسید فلزی روی شیشه پرداخته می‌شود. با این کار در محل برش خورده، فقط شیشه معمولی باقی خواهد ماند. از لحاظ مغناطیسی رفتار چنین ساختاری مشابه یک فیلتر میان‌گذر خواهد بود. با تنظیم دقیق ابعاد قسمت برش خورده و محل برش می‌توان باند فرکانسی مطلوب را که در اینجا همان باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز است، در باند عبور قرار داده و انتقال بالایی را در این بازه به دست آورد. البته باید توجه داشت که چون بخشی از پوشش اکسید فلزی برش می‌خورد و قسمت برش خورده رفتار شیشه معمولی را از خود نشان می‌دهد، این امر منجر به افزایش انتقال باند فرکانسی مادون‌قرمز خواهد شد که مطلوب نیست. با ایجاد مصالحه‌ای بین میزان افزایش انتقال باند فرکانسی مادون‌قرمز و افزایش انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز می‌توان هم به هدف مدیریت و کاهش مصرف انرژی دست یافت و هم باندهای پرکاربرد مخابراتی را به‌خوبی تحت پوشش قرار داد. در ضمن دید از طریق شیشه دچار اختلال نخواهد شد.

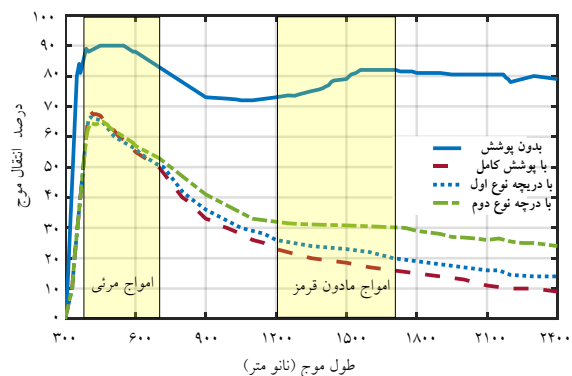
با توجه به اینکه هدف اصلی از استفاده از این شیشه‌ها کاهش مصرف انرژی است، بخش ۳ میزان افزایش انتقال نامطلوب باند فرکانسی مادون‌قرمز را در اثر ایجاد برش روی پوش اکسید فلزی بررسی می‌کند.

۳. تأثیرپذیری انتقال امواج باند فرکانسی مادون‌قرمز

با برش پوشش شیشه کاهنده مصرف انرژی

همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد، برش بخش‌هایی از پوشش اکسید فلزی در شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی منجر به افزایش انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز می‌شود؛ در نتیجه این امر به‌طور همزمان، میزان انتقال باند مادون‌قرمز نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش انتقال باند مادون‌قرمز به دلیل افزایش ردوبدل شدن گرما نامطلوب است اما در هر صورت باید توجه داشت در صورتی که این میزان افزایش در انتقال باند مادون‌قرمز را مفید در نظر نداشت، عملاً استفاده از شیشه‌های

حقیقت، دید مناسب و واضح از طریق شیشه و یا تماس‌های تلفنی با کیفیت از پشت موانع شیشه‌ای، دلیلی بر این ادعاست که یک شیشه معمولی دارای توان انتقال بالای باندهای فرکانسی مختلف است. در حالت دوم دیده می‌شود که با افزودن پوشش اکسید فلزی به شیشه و ایجاد یک شیشه کاهنده مصرف انرژی، پاسخ فرکانسی دچار تغییر می‌شود؛ به‌طوری که هم میزان انتقال امواج مرئی و هم امواج مادون‌قرمز کاهش می‌یابد. البته باید دقت کرد میزان کاهش امواج مادون‌قرمز بسیار بیشتر از کاهش امواج مرئی است. در حقیقت این همان کارکرد مورد انتظار از این نوع شیشه‌هاست. کاهش انتقال باندهای فرکانسی از طریق شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی را به این صورت نیز می‌توان توجیه کرد که با افزودن لایه، دیگر شیشه معمولی نخواهیم داشت، بلکه شیشه همراه با پوشش وجود خواهد داشت. همین امر رفتار شیشه معمولی را تغییر می‌دهد و بدیهی است که دیگر به‌اندازه زمانی که تنها شیشه معمولی وجود داشت، انتقال باندهای فرکانسی وجود نداشته باشد. با توجه به اینکه گرما از طریق امواج مادون‌قرمز منتقل می‌شود، با کاهش میزان انتقال این امواج در واقع میزان گرمای ردوبدل‌شده از طریق شیشه کاهش یافته است که این امر به‌نوبه خود منجر به کاهش مصرف انرژی می‌گردد. همچنین دید از طریق شیشه که از طریق امواج مرئی صورت می‌گیرد، کمتر دچار آسیب می‌شود و همچنان کیفیت بالایی دید در حدود ۷۰٪ وجود دارد.



شکل (۱): منحنی درصد انتقال امواج باند فرکانسی مرئی و مادون‌قرمز در چهار حالت کاری مختلف شیشه [۱۲]

با توجه به بحث انجام‌شده به نظر می‌رسد شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی، با کنترل میزان ردوبدل شدن گرما بین فضای داخل خانه و فضای بیرون، می‌توانند به‌نحو مؤثری در ساختمان‌ها استفاده شوند. اما با نگاهی دقیق‌تر به رفتار این شیشه‌ها می‌توان دریافت که اگرچه استفاده از شیشه کاهنده مصرف انرژی می‌تواند به کنترل انتقال گرما کمک شایانی نماید، به‌طور همزمان انتقال امواج فرکانسی پرکاربرد همچون امواج موبایل را دچار اختلال می‌کند؛ به این معنی که در باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز که شامل باندهای پرکاربرد و مفید

کاهنده مصرف انرژی میسر نخواهد بود؛ چراکه مخابره با کیفیت امواج رادیویی و مایکروویوی از طریق این شیشه‌ها قابل حصول نیست. اگر نتایج به دست آمده در شکل (۱) به دقت بررسی شوند، دیده می‌شود اگر یک درجه با ابعاد $2/5 \times 3$ میلی متر مربع (درجه نوع اول) از شیشه کاهنده مصرف انرژی با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ میلی متر مربع برش بخورد که برابر $2/9\%$ مساحت کل شیشه است، میزان انتقال باند فرکانسی مادون قرمز نسبت به حالتی که پوشش کامل روی شیشه وجود داشته باشد، به اندازه $2/8\%$ افزایش پیدا می‌کند. اگر درجه بزرگ‌تری با ابعاد $6/9 \times 3/5$ میلی متر مربع (درجه نوع دوم) معادل $7/7\%$ مساحت کل از روی پوشش شیشه برش داده شود، میزان انتقال باند فرکانسی مادون قرمز نسبت به پوشش کامل به اندازه $7/9\%$ افزایش خواهد داشت [۱۲]. نتیجه گرفته می‌شود هرچه قدر مساحت بیشتری از پوشش اکسید فلزی روی شیشه برش بخورد، میزان انتقال باند فرکانسی مادون قرمز بیشتر خواهد شد. این در حالی است که برای حفظ خاصیت کاهندگی مصرف انرژی لازم است تا حد امکان میزان انتقال باند مادون قرمز را در سطح پایین‌تری نگه داشت. با بررسی میزان انتقال باند فرکانسی مادون قرمز به ازای مساحت‌های مختلف برش یافته از پوشش شیشه، می‌توان به این نتیجه مهم رسید که بین مساحت برش خورده و میزان افزایش انتقال مادون قرمز از شیشه کاهنده مصرف انرژی، رابطه خطی با تقریب خوبی برقرار است [۱۲]؛ یعنی با افزایش میزان مساحت برش خورده، میزان بیشتری از امواج مادون قرمز فرصت انتقال از شیشه را پیدا می‌کنند. در این راستا برای حداقل کردن میزان افزایش ایجاد شده در انتقال امواج مادون قرمز، لازم است تا حد امکان مساحت قسمت‌های بریده شده کوچک در نظر گرفته شود.

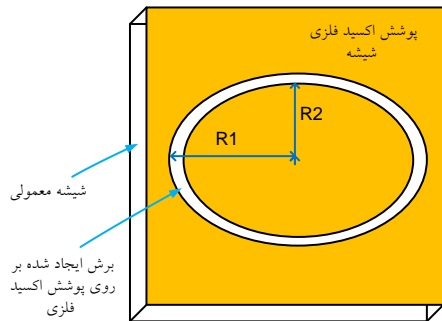
۴. معرفی ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی و مطالعه رفتار فرکانسی آن

در این قسمت، ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی معرفی و بررسی می‌شود. موارد زیر در طراحی این ساختار مدنظر قرار گرفته است:

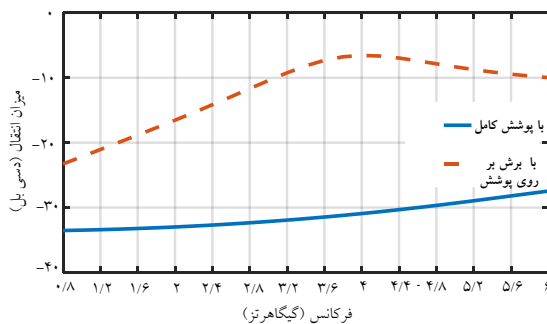
- ارائه ساختاری ساده تا هزینه ساخت آن مقرون به صرفه باشد.
- ارائه ساختاری با مساحت اندک برش خورده تا کمترین تأثیرگذاری را بر افزایش انتقال باند فرکانسی مادون قرمز داشته باشد.
- ارائه ساختاری که بتواند میزان انتقال باند فرکانسی $0/8$ تا 6 گیگاهرتز را به طور قابل قبولی افزایش دهد.

ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی و قسمت برش خورده روی آن در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود، ابعاد شیشه 20×20 میلی متر مربع در نظر گرفته شده است. نتایج

به دست آمده برای این نمونه قابل تعمیم به شیشه با ابعاد بزرگ‌تر است. روی این شیشه، پوشش کاهنده مصرف انرژی از جنس اکسید فلز قرار داده شده است. با هدف بهبود انتقال باند فرکانسی $0/8$ تا 6 گیگاهرتز، یک حلقه بیضوی از روی پوشش اکسید فلزی شیشه بریده شده است. این قسمت در واقع همان نقش فیلتر میان‌گذر را داشته و افزایش انتقال باند فرکانسی $0/8$ تا 6 گیگاهرتز را به دنبال خواهد داشت. ساختار نشان داده شده یک بار با پوشش کامل و بار دیگر با حلقه بیضوی برش خورده از روی پوشش شبیه‌سازی شده و منحنی انتقال در شکل (۳) نشان داده شده است.



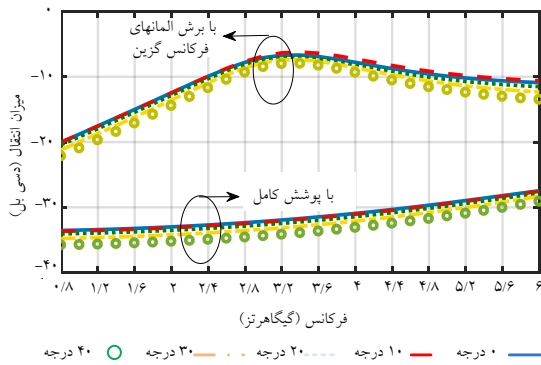
شکل (۲): ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی همراه با برش ایجاد شده روی پوشش اکسید فلزی



شکل (۳): منحنی انتقال بر حسب دسی بل در حالت شیشه با پوشش کامل اکسید فلزی و با ایجاد برش روی پوشش

همان طور که دیده می‌شود، افزودن این ساختار منجر به افزایش انتقال موج به اندازه حداقل $13/53$ دسی بل در فرکانس $0/8$ گیگاهرتز و به اندازه حداکثر $25/23$ دسی بل در فرکانس $3/2$ گیگاهرتز شده است. بنابراین ساختار ارائه شده می‌تواند به خوبی میزان انتقال باند فرکانسی $0/8$ تا 6 گیگاهرتز را افزایش دهد. برای انتخاب بهترین مقدار برای ابعاد قسمت برش خورده از روی پوشش شیشه کاهنده مصرف انرژی، برش‌های با اندازه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. منحنی‌های انتقال به ازای مقادیر مختلف در شکل (۴) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند بیشترین میزان افزایش انتقال باند فرکانسی $0/8$ تا 6 گیگاهرتز به ازای اندازه 16 میلی متر برای قطر بیرونی بیضی و 14 میلی متر برای قطر درونی بیضی رخ داده است. با داشتن این ابعاد کمترین افزایش انتقال $13/53$ دسی بل در فرکانس 800 مگاهرتز و $25/23$ دسی بل در فرکانس $3/2$ گیگاهرتز و

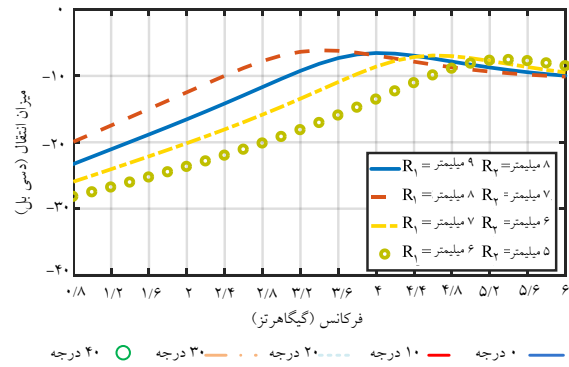
به صورت میانگین برابر ۲۰/۲۲ دسی‌بل در کل بازه فرکانسی مورد نظر خواهد بود.



شکل (۶): منحنی‌های انتقال با پوشش کامل و با ایجاد برش روی پوشش به‌ازای زوایای مختلف پلاریزاسیون TM

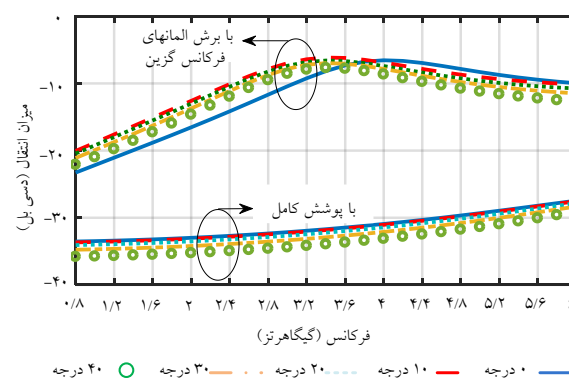
مشاهده شد که میزان انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز با ایجاد برش‌هایی به شکل حلقه‌های بیضی شکل روی پوشش شیشه کاهنده مصرف انرژی به خوبی افزایش یافت. این افزایش به طور میانگین ۲۰/۲۲ دسی‌بل در کل باند فرکانسی فوق است. قبلاً نیز بیان شد که ساختار اصلاح‌شده افزون بر افزایش میزان انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز، همزمان منجر به افزایش انتقال امواج با باند فرکانسی مادون قرمز نیز می‌شود. با توجه به این موضوع که انرژی گرمایی از طریق امواج با باند فرکانسی مادون قرمز منتقل می‌شود، افزایش انتقال آن نامطلوب است.

مشاهده شد رابطه بین مساحت برش‌یافته و میزان افزایش انتقال باند فرکانسی مادون قرمز رابطه‌ای خطی است [۱۲]. با توجه به اینکه حلقه بیضی برش خورده از روی پوشش شیشه کاهنده مصرف انرژی تقریباً ۵/۸٪ مساحت کل شیشه را شامل می‌شود، با ضریب ۱/۰۵۸ افزایش نامطلوب انتقال باند فرکانسی مادون قرمز نیز وجود خواهد داشت. در ازای این افزایش نامطلوب، افزایش مطلوب ۲۰/۲۲ دسی‌بل معادل ۱۸/۹۷٪ نسبت به شیشه کاهنده مصرف انرژی نوعی در سراسر باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز به دست آمده است که به بهبود کیفیت مخابره سیگنال‌ها کمک شایانی می‌کند. بیشترین میزان افزایش مربوط به فرکانس ۳/۲ گیگاهرتز با ۲۵/۲۳ دسی‌بل افزایش و کمترین مقدار مربوط به فرکانس ۰/۸ گیگاهرتز با اندازه ۱۳/۵۳ دسی‌بل است. پرواضح است در ازای این دستاورد به دست آمده توسط ساختار ارائه شده، افزایش ناچیز عبور باند فرکانسی مادون قرمز با تقریب بسیار خوبی قابل صرف نظر کردن خواهد بود. در حقیقت می‌توان گفت مصالحه‌ای بین میزان افزایش انتقال باند فرکانسی مادون قرمز و بهبود مخابره باندهای پرکاربرد فرکانسی صورت گرفته است.



شکل (۴): منحنی‌های انتقال به‌ازای ابعاد مختلف برش حلقه بیضی

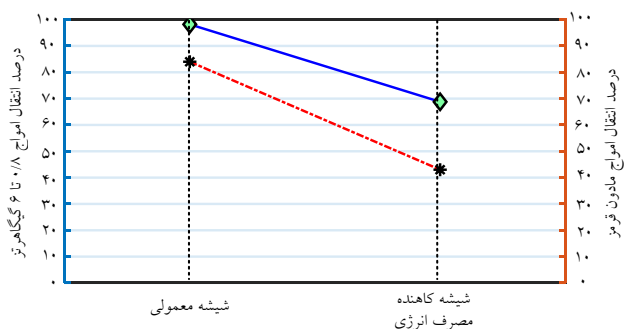
داشتن پاسخ پایدار در برابر شرایط متغیر محیطی یکی از عوامل مهم برای بررسی رفتار شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی است؛ زیرا بعد از نصب شیشه در محل مورد نظر، در معرض امواج با پلاریزاسیون‌ها و زوایای تابش مختلف قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود یک ساختار کاهنده مصرف انرژی مناسب بتواند در برابر شرایط کاری متغیر رفتار ثابت و پایدار از خود نشان دهد و میزان انتقال و تضعیف‌های ایجادشده دچار تغییر نشود. شکل‌های (۵) و (۶) منحنی‌های مربوط به شیشه با پوشش کامل و با ایجاد برش روی پوشش را تحت زوایای مختلف تابش تا ۴۰ درجه و برای دو نوع پلاریزاسیون TE و TM نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که پاسخ فرکانسی پایدار در هر دو حالت به دست آمده است که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان از کارایی این ساختار در کاربردهای واقعی می‌باشد. با توجه به اینکه باندهای فرکانسی کاری تحت شرایط کاری مختلف کاملاً حفظ شده‌اند، می‌توان با تقریب خوبی از این تغییرات جزئی صرف نظر کرد و ساختار را پایدار دانست. بنابراین می‌توان با اطمینان خاطر ساختار ارائه‌شده را روی شیشه‌های کاهنده مصرف انرژی مورد بهره‌برداری قرار داد.



شکل (۵): منحنی‌های انتقال با پوشش کامل و با ایجاد برش روی پوشش به‌ازای زوایای مختلف پلاریزاسیون TE

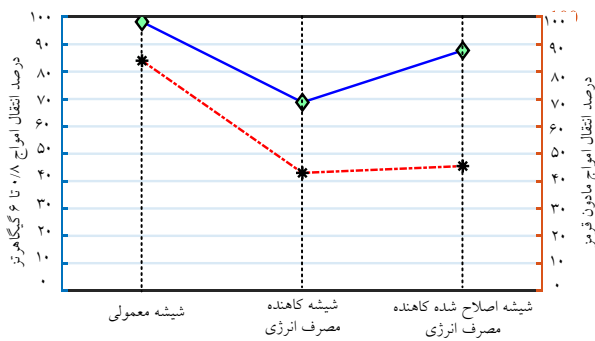
۵. تأثیر ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف بر کاهش مصرف انرژی

میزان تأثیرگذاری استفاده از ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی ارائه شده در این مقاله، بر میزان کاهش مصرف انرژی در سیستم تهویه ساختمان در این قسمت، به دقت بررسی شده است. درصد انتقال باندهای فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز و مادون قرمز از شیشه معمولی و شیشه کاهنده مصرف انرژی در شکل (۷) نشان داده شده است. باید در نظر داشت که شیشه تابش خورشید را به سه روش مدیریت می کند که عبارت اند از: انتقال، بازتاب و جذب. در این راستا ضریب g -value برای یک شیشه بخشی از تابش خورشید است که در شرایط نزدیک به تابش عمودی از لعاب شیشه به تمامی روش های موجود عبور می کند [۴]. با توجه به اطلاعات ارائه شده در برگه های اطلاعاتی، g -value برای شیشه معمولی بدون پوشش کاهنده مصرف انرژی برابر ۰/۸۴ است [۴]. در واقع ۰/۸۴٪ از انرژی تابیده شده به شیشه معمولی قادر است از شیشه بگذرد و خود را به فضای داخل برساند. با افزودن پوشش در شیشه کاهنده مصرف انرژی مقدار g -value به ۰/۴۳ می رسد [۴]. در واقع با استفاده از شیشه های کاهنده مصرف انرژی به میزان ۰/۴۱٪ از ردوبدل شدن گرما نسبت به شیشه معمولی جلوگیری می شود؛ در نتیجه فضای داخل ساختمان در فصل سرما گرم تر و در فصل گرما خنک تر می ماند. هرچند که این مقدار کاهش، مصرف انرژی را به طور چشمگیری کاهش می دهد، استفاده از شیشه های کاهنده مصرف انرژی به دلیل استفاده از پوشش اکسید فلز روی آن، منجر به اختلال در انتقال باند فرکانسی مفید ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز می شود. همان طور که شکل (۷) نشان می دهد، امواج در بازه فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز به اندازه ۰/۹۸٪ از شیشه معمولی منتقل می شوند، در حالی که برای شیشه کاهنده مصرف انرژی این میزان به ۰/۶۸٪ رسیده است. این کاهش انتقال با استفاده از ساختار پیشنهادی در این مقاله بهبود یافته است.



شکل (۷): درصد انتقال باند فرکانسی مادون قرمز و مایکروویو از شیشه معمولی و شیشه کاهنده مصرف انرژی

شکل (۸) تأثیر استفاده از ساختار اصلاح شده شیشه کاهنده مصرف انرژی پیشنهادی در این مقاله را بر میزان انتقال امواج ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز و مادون قرمز نشان می دهد. با استفاده از ساختار اصلاح شده پیشنهادی در این مقاله، میزان انتقال گرما از طریق امواج مادون قرمز به ۰/۴۵٪ می رسد. این مقدار در اثر کاهش ۰/۵٪ مساحت سطح کل شیشه و در نظر داشتن رابطه خطی بین مساحت برش یافته و افزایش میزان انتقال مادون قرمز به دست آمده است. دیده می شود این مقدار به اندازه ۰/۲۵٪ نسبت به شیشه کاهنده انرژی (۰/۴۳٪) افزایش داشته است اما به ازای آن، میزان انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز از ۰/۹۸٪ به ازای شیشه کاهنده مصرف انرژی به میزان ۰/۸۷٪ رسیده است. بدیهی است افزایش ۰/۲۵٪ انتقال گرما در برابر افزایش ۰/۱۸٪ بهبود مخابره سیگنال های پر کاربرد مخابراتی قابل اغماض است. از این طریق می توان هم به صورت مناسب، میزان مصرف انرژی را کنترل کرد و هم به آسانی باندهای مخابراتی را به کار گرفت.



شکل (۸): درصد انتقال باند فرکانسی مادون قرمز و مایکروویو از شیشه معمولی، شیشه کاهنده مصرف انرژی و شیشه اصلاح شده کاهنده مصرف انرژی پیشنهادی

۶. نتیجه گیری

در این مقاله، ساختار اصلاح شده ای از شیشه کاهنده مصرف انرژی با هدف مدیریت انتقال انرژی و فراهم آوردن مخابره مؤثر باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز ارائه شد. شیشه معمولی ۰/۸۴٪ انتقال باند فرکانسی مادون قرمز و ۰/۹۸٪ انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز دارد. استفاده از شیشه کاهنده مصرف انرژی نوعی مانند Suncool منجر به کاهش انتقال مطلوب امواج مادون قرمز به ۰/۴۳٪ و کاهش انتقال نامطلوب باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز به ۰/۶۸٪ و عدم تأثیرگذاری بر باند مرئی می شود. با هدف افزایش انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶ گیگاهرتز، ساختار اصلاح شده با ایجاد برش روی پوشش اکسید فلزی ارائه شد. ساختار حاضر با برش مساحتی در حدود ۰/۵٪ از مساحت کل شیشه می تواند میزان انتقال باند فرکانسی ۰/۸ تا ۶

افزایش انتقال باند مادون قرمز به دست آمده که قابل صرف نظر کردن است.

گیگاهرتز را به ۸۷/۷۵٪ برساند که ۱۸/۹۷٪ نسبت به شیشه کاهنده مصرف انرژی نوعی بهبود دارد. این بهبود در ازای افزایش ۲/۵٪

مراجع

- [۱] میر احمد، علی و صدرعاملی، سید مجتبی، «مطالعه عددی و شبیه سازی عملکرد یک مبدل حرارتی پر شده با ماده تغییر فاز برای سامانه تهویه مطبوع یک منزل مسکونی در مناطق گرم و خشک ایران»، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی دانشگاه کاشان، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۵۱-۴۲، تابستان ۱۳۹۴.
- [۲] احمدزاده، محمد، «به کارگیری پتل های خورشیدی به منظور بهبود عملکرد انرژی سیستم های تهویه مطبوع هوا تازه»، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی دانشگاه کاشان، دوره ۶، شماره ۴، صفحه ۴۳-۴۴، زمستان ۱۳۹۵.
- [3] Ullah, I., Zhao, X., Habib, D. and Kiani, G., "Transmission Improvement of UMTS and Wi-Fi Signals through Energy Saving Glass Using FSS", WAMICON 2011 Conference Proceedings, Clearwater Beach, FL, pp. 1-5, 2011.
- [4] <http://www.pilkington.com/>
- [5] https://www.guardianglass.com/cs/groups/sunguardme/documents/native/gi_005564.pdf.
- [6] Kiani, G. I., Karlsson, A., Olsson, L. and Esselle, K. P., "Glass Characterization for Designing Frequency Selective Surfaces to Improve Transmission through Energy Saving Glass Windows," *Asia-Pacific Microwave Conference*, Bangkok, 2007, pp. 1-4.
- [7] Ullah, I., Habibi, D., Zhao, X. and Kiani, G., "Design of RF/Microwave Efficient Buildings Using Frequency Selective Surface", IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Toronto, ON, pp. 2070-2074, 2011.
- [8] Habib, S., Butt, M. F. U. and Kiani, G. I., "Parametric Analysis of a Band-pass FSS for Double Glazed Soft-Coated Energy Saving Glass", International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Hobart, TAS, pp. 1-4, 2015.
- [9] Sohail, S. I., Kiani, G. I. and Esselle, K. P., "Enhancing RF/microwave Efficient Transmission through Energy Saving Glass Windows Using Frequency Selective Surface", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Spokane, WA, pp. 2262-2263, 2011.
- [10] Yu, M., Xu, N., Liu, H. and Gao, J., "Infrared Transparent Frequency Selective Surface Based on Metallic Meshes", American Institute of Physics Advances, Vol. 4, pp.027112, 2014.
- [11] Kiani, G. I. and Aldhaheri, R. W., "Wide Band FSS for Increased Thermal and Communication Efficiency in Smart Buildings", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), Memphis, TN, pp. 2064-2065, 2014.
- [12] Kiani, G. I., Olsson, L. G., Karlsson, A. and Esselle, K. P., "Transmission of Infrared and Visible Wavelengths through Energy-Saving Glass Due to Etching of Frequency-Selective Surfaces", IET Microwaves, Antennas & Propagation, Vol. 4, No. 7, pp. 955-961, July 2010.
- [13] Kiani, G. I., Ford, K. L., Olsson, L. G., Esselle, K. P. and Panagamuwa, C. J., "Switchable Frequency Selective Surface for Reconfigurable Electromagnetic Architecture of Buildings", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, No. 2, pp. 581-584, Feb. 2010.
- [14] Kiani, G. I., Olsson, L. G., Karlsson, A., Esselle, K. P. and Nilsson, M., "Cross-Dipole Bandpass Frequency Selective Surface for Energy-Saving Glass Used in Buildings", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 2, pp. 520-525, Feb. 2011.
- [15] Dewani, A. A., O'Keefe, S. G., Thiel, D. V. and Galehdar, A., "Window RF Shielding Film Using Printed FSS", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 66, No. 2, pp. 790-796, Feb. 2018.
- [16] Chen, H. Y. and Lin, T. H., "Dual-Band Frequency Selective Surface for Improving the Transmission of Bluetooth and WLAN Signals through an Energy-Saving Glass", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 39, pp. 331-336, 2016.