



اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی آموزش مهندسی

دانشگاه شیراز، ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴

مخابرات نوری: چشم انداز آینده، جایگاه و ضرورت آموزش در مهندسی برق

محمود فرهنگ

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، mfarhang@shirazu.ac.ir

چکیده - مخابرات نوری زمینه ساز شگرف ترین تحولات در سیستم های مخابراتی در دو دهه اخیر بوده است؛ بگونه ای که دنیای کنونی ارتباطات بدون شبکه های فیبر نوری زیرساخت غیرقابل تصور است و جایگزینی فیبر نوری به جای سیم مسی در بخش دسترسی شبکه تا منازل نیز در کشورهای توسعه یافته در حال انجام است. به علاوه، افق پیش روی این حوزه بسیار فراتر از شبکه های مبتنی بر فیبر است و فناوری های نظیر مخابرات بی سیم نوری، ارسال داده در نور مرئی، شبکه های هوشمند نوری، و پردازشگرهای تمام نوری نقش پررنگ این گرایش از مهندسی مخابرات را در سالهای آینده برجسته تر می سازد. با این وجود، آموزش مخابرات نوری جایگاه قابل اعتنائی در برنامه آموزشی مهندسی برق کشور ندارد و عدم آشنایی عمیق متخصصان داخلی با مفاهیم پایه و نیز مبحث های پیشرفته این حوزه، راه را بر طراحی مناسب و پیاده سازی بومی هر یک از فناوری های فوق خواهد بست. همچنین، نه تنها باید نظاره گر ورود تمامی فناوری از خارج از کشور بود، بلکه در زمینه بهره برداری مناسب، انطباق، توسعه و بهینه سازی نیز کشور را به یک واردکننده خدمات مبدل می سازد. از اینرو، در این مقاله کوشش شده است طرحی برای آموزش مخابرات نوری در مهندسی برق-مخابرات، در دو سطح کارشناسی و تحصیلات تکمیلی، ارائه گردد تا با پوشش مهمترین مفاهیم و اصول مورد نیاز، توانایی مواجهه با فناوری های روز و پیش بینی و انطباق با فناوری های آینده را در متولیان آینده صنعت مخابرات کشور ایجاد کند.

کلید واژه - آموزش مهندسی برق، مخابرات نوری.

مخابراتی و اینترنت تکامل مداوم آن را می طلبد. مخابرات نوری که تحولات آن با آخرین دستاوردهای علمی و پژوهشی گره خورده است، همچنین توانسته به دلیل مزایای بسیار خود علاوه بر شبکه زیرساخت، در بخش دسترسی شبکه نیز رقیبی قدرتمند و در برخی موارد بلامنازع برای سایر تکنیک های مخابراتی باشد.

در این مقاله ابتدا با مرور برخی حوزه های نوین در مخابرات نوری و بررسی اجمالی چشم انداز آینده آن، به لزوم گسترش دانش و فناوری بومی در راستای بهره برداری هر چه بیشتر از پتانسیل بالای این بخش مهم از مخابرات می پردازیم و طرحی برای آموزش پایه اصول و مفاهیم بنیادین این شاخه از مخابرات در سطح کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق ارائه می کنیم.

۲- جایگاه کنونی و چشم انداز آینده مخابرات نوری

در حال حاضر بخش اعظم تبادل داده در شبکه زیرساخت مخابرات به کمک مخابرات نوری صورت می پذیرد و تصور دنیای

۱- مقدمه

صنعت ارتباطات و مخابرات از صنایع استراتژیک و کلیدی محسوب می شود که نقشی راهبردی در توسعه پایدار کشورها دارد. این صنعت دارای سهم بزرگی از بازارهای ملی و بین المللی و با گردش مالی بسیار بالاست و رشد آن تمامی حوزه های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی یک کشور را تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین، بدلیل ویژگی هایی نظیر استفاده از فناوری های بسیار پیشرفته، بازگشت سریع سرمایه، کاربرد بسیار در صنعت های دیگر، عدم آلودگی زیست محیطی، ... اهمیت خاصی در بین صنایع دارد. از این رو، ایجاد و توسعه زیرساخت های فناوری اطلاعات و ارتباطات به عنوان یکی از اولویت های توسعه ای در نظر گرفته می شود.

مخابرات نوری جایگاهی ویژه در فناوری ارتباطات داراست و علاوه بر آنکه بخش عمده زیرساخت مخابرات در اقصا نقاط جهان بر مبنای آن پایه ریزی شده، رشد روزافزون فناوری اطلاعات و سرعت بالای افزایش حجم ترافیک شبکه های

مخابراتی شهری، بین شهری و بین‌المللی را برقرار می‌سازد. با اینحال رشد نیاز پهنای باند کاربران بگونه‌ای است که در آینده نزدیک فراهم ساختن چنین پهنای باند عظیمی از توان فناوریهای مبتنی بر سیم مسی و بی‌سیم رادیویی، حتی در متکامل‌ترین شکل‌هایشان، خارج است. از این رو گسترش شبکه فیبر نوری تا منازل، که اصطلاحاً FTTH¹ خوانده می‌شود، پدیده گریزناپذیر سالهای پیش رو خواهد بود. FTTH که در برخی کشورهای پیشرفته پیاده‌سازی شده است، در کشور ما نیز با صدور مجوز از سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی از سوی اپراتور چهارم در دست اقدام است.

ج- مخابرات بی‌سیم نور مرئی

در کنار بحث افزایش ظرفیت شبکه فیبر نوری که عمدتاً به شبکه زیرساخت مربوط می‌شود، و پروژه FTTH که به مساله آوردن فیبر نوری تا منازل مشترکین می‌پردازد، موضوعی که در چند سال اخیر یکی از زمینه‌های بسیار داغ تحقیقاتی را شکل داده است مبحث مخابرات نوری بی‌سیم، بویژه مخابرات بی‌سیم نور مرئی (VLC²) است [2].

با وجود اینکه مخابرات نوری بی‌سیم از سالها پیش در برخی کاربردهای ارسال داده مورد استفاده قرار می‌گرفت، با ابداع منابع LED³ نور سفید، بحث VLC از جهات مختلف مورد توجه ویژه است. از جمله اینکه با استفاده از لامپهای موجود در محیط هم به عنوان روشنایی و هم به عنوان منبع ارسال داده دیجیتال می‌توان به سادگی و با مصرف توان کم لینکی را جهت تبادل داده ایجاد کرد که دارای ویژگیهای مهمی همچون امنیت بیشتر، عدم تداخل الکترومغناطیسی با سایر سیستمهای رادیویی موجود در محیط و عدم نیاز به کسب مجوز از رگولاتوری، سازگاری با محیط زیست (عدم نیاز به منبع انرژی مجزا جهت ارسال داده) و

کنونی ارتباطات بدون حضور میلیونها کیلومتر فیبر نوری در سرتاسر جهان، اعم از آنچه در زیر آنها ارتباطات بین‌قاره‌ای را برقرار می‌سازد یا در درون هر کشور زیرساخت تلفن، موبایل و اینترنت را تشکیل می‌دهند، غیر ممکن است. با این وجود، علیرغم آنچه که در دو دهه اخیر در جهت توسعه و افزایش پهنای باند شبکه مخابرات نوری انجام گرفته است، نیاز روزافزون به افزایش پهنای باند و نیز ظهور کاربردها و زمینه‌های جدید، تحولات در حوزه مخابرات نوری را با شتاب بیشتری همراه کرده است. هم‌اکنون، عمده سرمایه‌گذاری‌های کلان در عرصه مخابرات نوری را می‌توان در سه شاخه زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف- بالا بردن کارایی طیفی و افزایش ظرفیت فیبرهای

نوری

با وجود اینکه فیبرهای نوری ظرفیتی به مراتب بیشتر از کابل‌های مسی یا لینکهای مایکروویو را در اختیار قرار می‌دهند، سرعت رشد ترافیک در شبکه بگونه‌ای است که پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک این اقیانوس پهنای باند نیز کفاف ترافیک بالای داده را نخواهد داد.

برای روشن‌تر شدن مطلب کافی است توجه کنیم با وجودی که نرخ ارسال اطلاعات بر فیبرهای نوری طی سه دهه گذشته همواره رو به رشد بوده، در ۱۵ سال گذشته نرخ ترافیک داده هر ۵ سال تقریباً ۱۰ برابر شده است و پیش‌بینی می‌شود طی دهه آتی ظرفیت مورد نیاز ده برابر کمتر از حجم ترافیک موجود خواهد بود [1].

از این رو در سالیان اخیر تحقیقات بسیاری در راستای افزایش کارایی طیفی (بالا بردن تعداد بیت‌ارسالی به ازای هر یک هرتز از پهنای باند در دسترس) و استفاده بهینه از پهنای باند موجود فیبرهای نوری متمرکز شده است، مانند اقبال به سیستمهای مخابراتی همدوس علیرغم پیچیدگی پیاده‌سازی بالا و استفاده از مدولاسیونهای جدید مخابراتی. همچنین، در کنار روش‌های فوق، تلاشهای بسیاری نیز در جهت افزایش ظرفیت فیبرهای نوری صورت گرفته است. طراحی و ساخت فیبرهای چند هسته‌ای و استفاده از تکنیک‌های مالتی‌پلکسی‌نگ پیشرفته عمده پژوهشهای جاری در این زمینه را شکل می‌دهند [1].

ب- پروژه فیبر به منازل

هم‌اکنون در بسیاری از کشورها آخرین بخش دسترسی شبکه مخابراتی (از اداره مخابرات تا محل مشترکین) را سیم‌های مسی تشکیل می‌دهند و فیبر نوری تنها ارتباط بین مراکز

¹ Fiber to the Home

² Visible Light Communications

³ Light Emitting Diode

... می باشد. پیش بینیها حاکی از افزایش بسیار زیاد تقاضا، سرمایه گذاری گسترده و بازاری قابل توجه برای VLC است. علاوه بر موارد فوق، مخابرات نوری در حوزه های متنوع دیگری همچون ارتباطات فضایی و ماهواره ای، پزشکی، صنعت نفت، ... دارای کاربردهای فراوان است که پرداختن به تمامی آنها در این مختصر نمی گنجد.

۳- جایگاه فناوری مخابرات نوری در کشور

همانگونه که در بخش قبل اشاره شد، حوزه های کاربرد وسیع و متنوع مخابرات نوری همگی بیانگر نقش راهبردی آن در توسعه پایدار کشور و پتانسیل بالای آن در تولید ثروت و ایجاد اشتغال می باشد. با این وجود، کشور ما تا کنون عمدتاً به عنوان یک واردکننده تجهیزات و خدمات در این زمینه عمل کرده است و دانش و تکنولوژی بومی خاصی در این زمینه وجود ندارد.

در بحث سرمایه گذاری داخلی و تولید، تولید تجهیزات مخابرات نوری در ایران محدود به برخی ادوات پسیو نظیر فیبر نوری و برخی رابط ها و کانکتورها است که تنها بخش بسیار کوچکی از گستره وسیع ادوات و تجهیزات مورد نیاز را شکل می دهد و سایر بخشها بدلیل نیاز به دانش بالا و فناوری روز و فقدان آن در کشور همچنان مغفول مانده اند.

با توجه به نقش پررنگ تر مخابرات نوری در آینده صنعت ارتباطات، تعریف پروژه های ملی و سرمایه گذاری های کلان در این زمینه ضروری به نظر می رسد. با توجه به چشم انداز موجود از آینده این صنعت و فقدان شرکتهای تولیدکننده های بزرگ در کشور و منطقه، بخش خصوصی نیز با سرمایه گذاری جدی در این حوزه -و البته با حمایت دولتی از تولید ملی- می تواند با تولید محصولات با کیفیت بازگشت سریع سرمایه و سودآوری بالایی را امید داشته باشد.

۴- ضرورت آموزش مخابرات نوری

بدیهی است که پایه ریزی هر فناوری در کشور مبتنی بر کسب دانش مرتبط و درک مفاهیم بنیادین آن، و پیشرفت در آن زمینه مستلزم انجام تحقیقات بنیادی و پژوهش در کلاس بین المللی است. از این رو، در کنار سرمایه گذاری در حوزه تکنولوژی مخابرات نوری در جهت رفع نیاز گسترده داخلی در آینده نزدیک و نیز صادرات، نقش آموزش در راستای تربیت نیروی متخصص و پژوهشگران برجسته انکارناشدنی است. همچنین در صورتی که به خاطر محدودیت های مالی یا هر دلیل دیگر سرمایه گذاری در

جهت ایجاد تکنولوژی بومی مقدور نباشد و ناگزیر از واردات گسترده تجهیزات باشیم، آشنایی با دانش روز و قدرت تحلیل وضعیت فعلی و پیش بینی آینده صنعت مخابرات نوری به منظور انتخاب تکنولوژی مطلوب از میان ارائه کنندگان مختلف آن در سطح جهان و تطبیق آن با شرایط متنوع داخلی الزامی است. بعلاوه، در صورت غنای دانش نظری در داخل کشور و برخوردار بودن از صاحبان برجسته و متخصصان توانمند، حتی در صورت عدم تولید ادوات و قطعات و نیاز به واردات آن، طراحی شبکه و نگهداری آن در سطوح مختلف و کاربردهای گوناگون - که در برخی مواقع از نظر امنیت ملی و پدافند غیرعامل از حساسیت بالایی برخوردار است- می تواند بطور کامل به صورت بومی و بی نیاز از بیگانگان صورت پذیرد.

با در نظر گرفتن موارد فوق، نقش گنجاندن آموزش مخابرات نوری در سطوح پایه و پیشرفته در دوره های کارشناسی و تحصیلات تکمیلی مهندسی برق در پرورش کارشناسان خبره و پژوهشگران تراز اول در این حوزه بیش از پیش اهمیت می یابد. با این وجود تدریس مخابرات نوری در دانشگاه های کشور عمدتاً یا منحصر به بررسی انتشار نور در فیبر از دیدگاه مخابرات میدان یا بررسی قطعات الکترواپتیک از دیدگاه الکترونیک است، یا یک معرفی و بررسی کاربردی (آنگونه که در برخی مراکز علمی - کاربردی انجام می گیرد و محدود به معرفی سطحی برخی مفاهیم و استانداردهای مورد نیاز یک تکنسین است). لذا، بجز در تعداد بسیار معدودی از دانشگاههای برتر، تلاشی در جهت آشنایی با زمینه های تحقیقاتی روز دنیا و ایجاد سهمی در تولید دانش در این حوزه صورت نمی پذیرد.

ضرورت پرداختن به آموزش مباحث مخابرات نوری از سالها قبل توسط برخی اساتید برجسته داخلی فعال در این حوزه به درستی تشخیص داده شد و پس از برگزاری جلسات مشترک و رایزنی های بسیار، آیین نامه برگزاری دوره کارشناسی ارشد مخابرات نوری تدوین و در سال ۱۳۸۷ توسط وزارت علوم رسماً ابلاغ شد. علیرغم این موضوع، تاکنون ایجاد چنین دوره هایی عملاً مغفول واقع شده و دانشجویی در این گرایش مخابرات فارغ التحصیل نشده است (بجز پذیرش دانشجو در یکی از دانشگاهها که -آنگونه که از برنامه دروس ارائه شده آن دانشگاه بر می آید- بصورت بسیار ناقص اجرا شده است).

به نظر می رسد دلیل اصلی این خلا عدم وجود اساتید مجرب در حوزه مخابرات نوری به میزان کافی است، امری که به راحتی و با بررسی زمینه های کاری اعضای هیأت علمی دانشگاههای مطرح براحتی قابل ارزیابی و تصدیق است.

- انواع آشکارسازهای نور
- مبانی الکترواپتیک
- آشنایی با مخابرات نوری
- (مراجع پیشنهادی: [3] ، [4])

۲- سیستم های مخابرات نوری

- (قسمتهایی که با علامت * مشخص شده اند را می توان در صورت رعایت پیش نیازی درس قبل حذف نمود)
- *مروری بر اپتیک و مدل‌های بررسی رفتار نور
- *موجبرهای نوری
- فیبر نوری و انواع پاشندگی
- فرستنده های نوری، LED و لیزر نیمه هادی، مدولاسیون
- گیرنده های نوری، فوتودیود، انواع نویز و تحلیل عملکرد گیرنده
- سیستم های مخابراتی نوری آنالوگ، انتقال رادیویی بر فیبر
- سیستم های مخابراتی دیجیتال
- تکنیک های تسهیم کانال (مالتی پلکسینگ) نوری، WDM, TDM, CDM, SDM
- تقویت کننده های نوری
- آشنایی با شبکه های مخابرات نوری
- آشنایی با مخابرات نوری بی سیم
- (مراجع پیشنهادی: [5] ، [6])

۶- نتیجه گیری

در این مقاله با تبیین نقش بسزای مخابرات نوری در آینده صنعت مخابرات، به ضرورت پرداختن بیش از پیش به موضوع آموزش مخابرات نوری در برنامه درسی مهندسی برق پرداختیم و نقش آن را در آینده فناوری مخابرات کشور بیان کردیم. در انتها به اختصار سرفصل دو درس جهت آشنایی دانشجویان سالهای آخر کارشناسی و اول ارشد مهندسی برق با اصول و مفاهیم مخابرات نوری پیشنهاد شد.

مراجع

- [1] R.-J. Essiambre and R. W. Tkach, "Capacity trends and limits of optical communication networks," *Proceedings of the IEEE*, 100(5), 1035-1055 (2012).
- [2] L. Grobe et al. "High-speed visible light communication systems." *IEEE Communications Magazine*, Dec. 2013: 60-66.
- [3] Saleh, Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley, 2007.
- [4] E. Hecht, *Optics*, Addison-Wesley, 2001.
- [5] G. Keiser, *Optical Fiber Communications*, Mc-Graw Hill, 2011.
- [6] Mynbaev, Scheiner, *Fiber-Optic Communication Technology*, Pearson, 2001.

بنابراین پیشنهاد می شود که قبل از برگزاری دوره های پیشرفته و تخصصی ارشد و دکتری در این زمینه، با ارائه یک یا دو درس پایه در جهت آشنایی با مخابرات نوری، علاوه بر آماده سازی و ایجاد پشتوانه علمی لازم در دانشجویان علاقه مند به فعالیت به عنوان کارشناس در این حوزه، در راستای ایجاد انگیزه و جهت دهی به مسیر پژوهش دانشجویان مستعد در دوره تحصیلات تکمیلی گامی موثر برداشته شود تا بدینوسیله نسلی جدید از استادان این حوزه شکل گیرد.

۵- ارائه طرح درس

با وجودی که در آئین نامه فوق الذکر دروس متنوعی در جهت پوشش بخش عمده ای از مباحث مطرح پایه در مخابرات نوری پیش بینی شده است، در اینجا طرح دو درس که در بر دارنده مفاهیم اساسی لازم برای درک عملکرد و تحلیل و طراحی سیستم های مخابراتی نوری ساده می باشد به اجمال بیان می شود. در "مبانی فوتونیک" که درسی مناسب دانشجویان سال آخر کارشناسی مهندسی برق (گرایش الکترونیک و مخابرات) می باشد، اصول فیزیکی حاکم بر رفتار ادوات نوری و مدل ریاضی آنها بطور ساده بیان می گردد. "سیستم های مخابرات نوری" که بازنگری و اصلاح شده درسی با همین نام در آئین نامه مورد اشاره است، درسی مناسب سال آخر کارشناسی و سال اول کارشناسی ارشد مخابرات و الکترونیک می باشد و دانشجویان پس از گذراندن این درس دید جامعی را نسبت به اصول عملکرد اجزای مختلف سیستم های مخابرات نوری و تحلیل عملکرد آنها کسب می کنند و چگونگی طراحی یک لینک ساده و تعیین پارامترهای اساسی آن را می آموزند. لازم به ذکر است که مطالب درس اول پیش نیاز این درس است و در صورتی که "مبانی فوتونیک" به هر دلیل گذرانده نشده باشد می توان مفاهیم اصولی مورد نیاز را به هنگام تدریس "سیستم های مخابرات نوری" در محل مناسب بطور خلاصه بیان کرد.

۱- مبانی فوتونیک

- اپتیک هندسی: اصل فرما، مدل ماتریسی رفتار المانهای اپتیکی
- اپتیک موجی: معادلات ماکسول، موجبرها، محیط های غیر همگن و غیر همسانگرد، پاشندگی، متامتریال
- اپتیک کوانتومی: رفتار موجی-ذره ای نور و آزمایش های موید آن، تصادفی بودن رفتار نور
- منابع نور: نور گرمایی، اصول لیزر، انواع لیزر

