

## طراحی و ساخت سامانه مخابرات لیزری بی سیم زیر آب

فاطمه دباغ کاشانی<sup>۱</sup>، سیده سروناز خاتمی<sup>۲</sup>، بهنام شریعتی بین کلائی<sup>۳</sup>

f\_dk@iust.ac.ir

- ۱- استادیار دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

### چکیده

در مقاله حاضر، ملاحظات مربوط به طراحی و ساخت سامانه مخابرات لیزری بی سیم دیجیتال زیر آب برای ارسال اطلاعات با گونه های مختلف (فیلم، تصویر، صوت و متن) ارائه شده است. با بررسی عوامل تأثیرگذار بر انتشار نور لیزر در مجرای انتقال، طول موج مناسب (۵۳۲ نانومتر) برگزیده شده است. سپس ساختمان سامانه فرستنده و گیرنده تشریح شده است. هر کدام از این سامانه ها شامل دو بخش نرم افزاری و سخت افزاری هستند. در بخش نرم افزاری، به منظور کنترل ارسال، دریافت و پردازش اطلاعات، کدهای ضروری برای درگاه سریال در نرم افزار متلب نوشته شده است. در بخش های سخت افزاری، در فرستنده؛ رایانه و مدار مدوله کننده TTL لیزر و در گیرنده؛ مدار آشکارسازی و رایانه، به وسیله تراشه FIDI مبدل یو اس بی به سریال، به یکدیگر مرتبط می شوند. در نهایت، تست میدانی سامانه مخابراتی نشان داده است که این سامانه، توانایی انتقال انواع مختلف اطلاعات را تا ۱۰۰ متر و با پهنای باند ۳ مگابیت در هر ثانیه دارد.

واژگان کلیدی: مخابرات لیزری زیر آب، فرستنده، گیرنده، نرم افزار متلب، درگاه یو اس بی، پروتکل سریال.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۷/۰۹/۱۶  
تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۹/۱۲

## ۱- مقدمه

مدولاسیون مشخص را در فرستنده فراهم نماید و طراحی مدارهایی که توانایی دریافت، تقویت، حذف نوفه و پردازش پالس‌های نوری را در گیرنده دارا باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

علاوه بر مطالب گفته شده برای اخذ اطلاعات از کاربر و تبدیل آن‌ها به داده‌های قابل ارسال در فرستنده و پردازش و بازگردانی داده‌ها به اطلاعات قابل ارائه به کاربر درگیرنده، استفاده از یک نرم‌افزار و برنامه‌نویسی‌های لازم در آن ضروری است. در تحقیق حاضر مراحل فوق‌الذکر انجام گرفته و به شرح زیر ارائه می‌شود: در بخش دوم، روش تحقیق با ذکر مبانی اولیه مرتبط با خط ارتباط مخابراتی بی‌سیم نوری زیر آب ارائه می‌شود. سپس، در بخش سوم سامانه گیرنده و فرستنده به کارگیری شده در این خط ارتباط مخابراتی با ذکر جزئیات معرفی می‌شوند. در بخش آخر، جمع‌بندی و نتیجه گیری صورت می‌پذیرد.

## ۲- روش تحقیق

در شکل (۱) طرح‌واره یک سامانه مخابراتی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هر سامانه مخابراتی از سه بخش اصلی فرستنده، مجرای انتقال و گیرنده تشکیل می‌شود [۹]. بنابراین در طراحی یک سامانه مخابراتی علاوه بر ملاحظات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری فرستنده و گیرنده، شناخت ویژگی‌های مؤثر کانال انتقال حائز اهمیت است. این شناخت مبانی نظری حاکم بر سیستم را شکل می‌دهد. در حوزه مخابرات نوری زیر آب، ویژگی‌های نوری آب دریا و اقیانوس وابسته به موقعیت، زمان و محتویات آلی و معدنی (غیرآلی) به شدت تغییر می‌نمایند. بر همین اساس تقسیم‌بندی برای انواع مختلف آب، تحت عنوان تقسیم‌بندی جریلو صورت پذیرفته است [۱۳].

با توجه به آنچه ذکر شد، بخش گسترده‌ای از حوزه تحقیقات مربوط به مخابرات لیزری بی‌سیم در زیر آب به تحلیل شرایط انتشاری نور در ناحیه اجرایی اختصاص می‌یابد [۱۴]. ارکان اصلی در این بررسی‌ها مدل‌سازی عوامل تضعیف‌کننده نور در زیر آب است که در این میان جذب و پراکندگی سهم عمده‌ای در تضعیف دارد. جذب و پراکندگی در آب دریا را می‌توان شامل دو بخش جذب آب خالص دریا و جذب مواد محلول و معلق در آب دریا در نظر گرفت [۱۵]. این عوامل تضعیف، محدودکننده طول مؤثر خط ارتباط مخابراتی هستند.

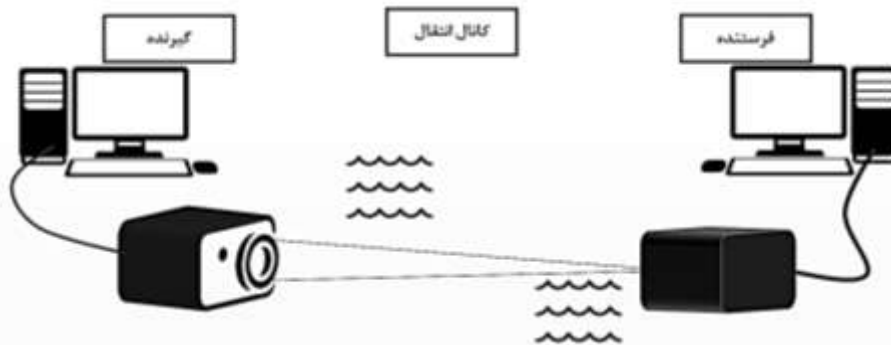
امروزه افزایش نیاز بشر به استفاده از منابع و معادن زیر آب و نیز افزایش فعالیت‌های تحقیقاتی، نظامی، صنعتی و غیره در زیر آب، لزوم بررسی و تحقیق در زمینه مخابرات زیر آب و ساخت سامانه‌های ارتباطی بر این اساس را بیش از پیش آشکار نموده است. در این میان نمونه‌هایی همچون مخابرات نوری فیبری در زیر آب، مزایای متعددی از جمله ایجاد پهنای باند زیاد و عدم تأثیرپذیری از محیط را فراهم می‌کند. اما بسیاری از کاربردهای زیرآبی نیازمند مخابراتی با انعطاف‌پذیری بالا هستند. برای مثال ایجاد ارتباط بین دو زیردریایی متحرک یا ارسال اطلاعات کنترل از راه دور برای شناورها، به مخابرات بی‌سیم نیازمند است [۳-۱]. به همین سبب است که مخابرات بی‌سیم در زیر آب از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجایی که بر خلاف خطوط ارتباط مخابراتی روی آب، فرکانس‌های رادیویی و مایکروویو در محیط آب منتشر نمی‌شوند، استفاده از مخابرات فرکانس رادیویی در زیر آب با چالش‌های بسیاری روبه‌رو است [۴].

در دهه‌های اخیر، خطوط ارتباط مخابرات آکوستیکی برای کاربرد در زیر آب مورد توجه قرار گرفته‌اند که دارای محدودیت‌هایی از جمله پهنای باند کم و امنیت پایین در تبادل اطلاعات هستند [۵]. برای انتقال اطلاعات با حجم زیاد و با کمترین تأخیر ممکن در زیر آب، روش‌های مخابراتی بسیار سریع و کارآمدی مورد نیاز است. یکی از روش‌های ارتباطی در اتمسفر که در آب نیز قابل به کارگیری است، مخابرات لیزری فضای آزاد است [۶]. مخابرات لیزری فضای آزاد در زیر آب از سال ۱۹۹۰ میلادی به عنوان یکی از روش‌های ممکن برای مخابرات زیر آب معرفی شد. تعدادی از مهم‌ترین گزارش‌های مربوط به این نوع از مخابرات در جدول (۱) آمده است [۷-۱۰].

مزایای این روش بهره‌گیری از دیودهای نوری و دیودهای لیزری است که به دلیل توان مصرفی کم، ولتاژ عملکرد پایین، طول عمر زیاد، قیمت مناسب و امکان فراهم آوردن پهنای باند زیاد، مورد توجه قرار گرفته است [۱۱]. از چالش‌های به کارگیری مخابرات لیزری فضای آزاد در زیر آب، تضعیف پالس‌های نوری است که در زیر آب بسیار بیشتر از اتمسفر می‌باشد [۹ و ۱۲]. بنابراین بررسی عوامل تأثیرگذار بر انتشار نور لیزر حائز اهمیت است. همچنین طراحی بخشی که امکان ارسال اطلاعات مورد نظر با نرخ داده دلخواه و روش

جدول (۱) گزارش‌های مهم ساخت سامانه‌های مخابرات زیر آب.

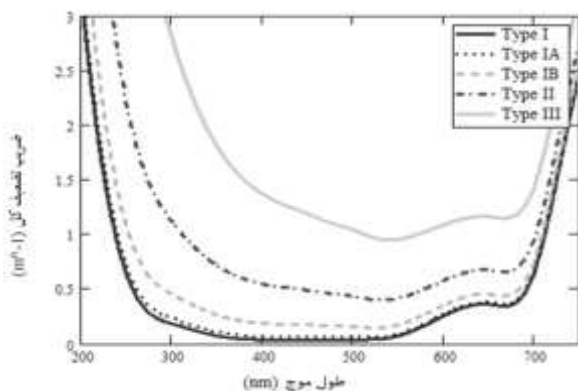
منبع	پهنای باند	طول خط ارتباطی (متر)	اعضای گروه	کشور	سال
لیزر	$5 \text{ Mbs}^{-1}$	۹	[۷] Snow et. al.	آمریکا	۱۹۹۲
لیزر	$10 \text{ Mbs}^{-1}$	۲۰	Bales and [۸] Chrysostomides	آمریکا	۱۹۹۵
لیزر	$20 \text{ Mbs}^{-1}$	۱۲	[۹] Chancey	آمریکا	۲۰۰۵
لیزر	$1 \text{ Gbs}^{-1}$	۲	[۱۰] Hanson and Radic	آمریکا	۲۰۰۸
لیزر	$100 \text{ kbs}^{-1}$	۱۰۰	کاشانی	ایران	۲۰۱۳



شکل (۱) طرح‌واره یک سامانه مخابرات لیزری زیر آب.

موج و  $b_w(\lambda)$  ضریب پراکندگی آب خالص تابعی از طول موج هستند.  $C_c^0$  برابر  $1 \text{ mg/m}^3$  است.

شکل (۲) تضعیف کل ناشی از جذب و پراکندگی، برای برخی از انواع مختلف آب جریلو را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، تضعیف نور در آب دریا در پنجره طول موجی ۴۰۰ تا ۵۵۰ نانومتر کمترین مقدار را دارد. بنابراین منبع نور انتخابی برای مخابرات بی‌سیم لیزری زیر آب باید طول موجی در این بازه داشته باشد. لازم به ذکر است که علی‌رغم انتخاب طول موج بهینه، تضعیف‌های موجود، منجر به کاهش توان و محدودیت طول خط ارتباط مخابراتی می‌شود.



شکل (۲) تضعیف کل بر حسب طول موج برای آب‌های جریلو [۱۷].

در بسیاری از موارد، در محاسبات مرتبط با بودجه‌بندی خط ارتباطی در مخابرات نوری از رابطه بی‌یر- لامبرت برای محاسبه عبورده مجرای ارتباطی استفاده می‌شود. رابطه بی‌یر- لامبرت به قرار زیر است [۱۶]:

$$T = \exp(-\alpha z) \quad (۱)$$

که در آن،  $\alpha$ ، ضریب تضعیف کل، مجموع ضرایب تضعیف ناشی از جذب و پراکندگی آب خالص دریا و مواد محلول و معلق در آب با واحد است.

$$\alpha(\lambda) = a_w(\lambda) + a_c^0(\lambda) \left( \frac{C_c}{C_c^0} \right)^{0.602} + 35.959 \times 1.74098 C_c \exp\left(0.12327 \left( \frac{C_c}{C_c^0} \right)\right) \exp\left(-0.0189 \times 10^{-9} \lambda\right) + 18.825 \times 0.19334 C_c \times \exp\left(0.12343 \left( \frac{C_c}{C_c^0} \right)\right) \exp\left(-0.01105 \times 10^{-9} \lambda\right) + b_w(\lambda) + 1.151302 C_c \left( \frac{400}{\lambda} \right)^{1.7} + 0.3411 C_c \left( \frac{400}{\lambda} \right)^{0.5} + 0.76284 \exp\left(0.03092 \left( \frac{C_c}{C_c^0} \right)\right) \exp\left(0.11631 \left( \frac{C_c}{C_c^0} \right)\right) \quad (۲)$$

که در آن  $C_c$  چگالی کل کلروفیل بر حسب  $\text{mg/m}^3$ ، ضریب جذب ویژه کلروفیل به صورت تابعی از طول

داده‌ها از درگاه رایانه به صورت پالس‌های الکتریکی، تحت پروتکلی مشخص و انتقال آن‌ها به مدار کنترل لیزر در قالب سطوح ولتاژی معین را بر عهده دارد. بر این اساس از میان انتخاب‌های تجاری موجود ماژول مبدل یو اس بی به سریال تحت عنوان FTDI232RL برای این منظور استفاده شده است. شکل (۴) ماژول FTDI232RL را نشان می‌دهد. این ماژول از طریق یک کابل یو اس بی به مینی به درگاه یو اس بی رایانه متصل شده و داده‌ها را از طریق دو پایه Tx و GND به مدار کنترل لیزر منتقل می‌کند.

مدار کنترل لیزر به ازای ورودی ۵ ولت، سبب روشن شدن لیزر و به ازای ورودی صفر ولت، سبب خاموش شدن آن می‌شود. در این مدار که در شکل (۵) نشان داده شده است، از رگولاتور LT1121 استفاده شده است. این مدار مجتمع به ازای ولتاژ کمتر از ۰/۲۵ ولت در ورودی (پایه ۵)، خروجی نخواهد داشت و به ازای ولتاژ ورودی بیشتر از این مقدار، توانایی ایجاد ولتاژی بین ۳/۷۵ تا ۳۰ ولت را در خروجی (پایه ۱) خواهد داشت. پایه‌های ۸ و ۳ این مدار مجتمع به ترتیب به منبع تغذیه و زمین متصل هستند. همچنین مقاومت متغیر  $R_1$  به جهت اعمال ولتاژ مناسب به لیزر دیودی در مدار استفاده شده است. منبع نوری مورد استفاده، یک لیزر دیودی با توان ۵۰ میلی‌وات با طول موج ۵۳۲ نانومتر است.

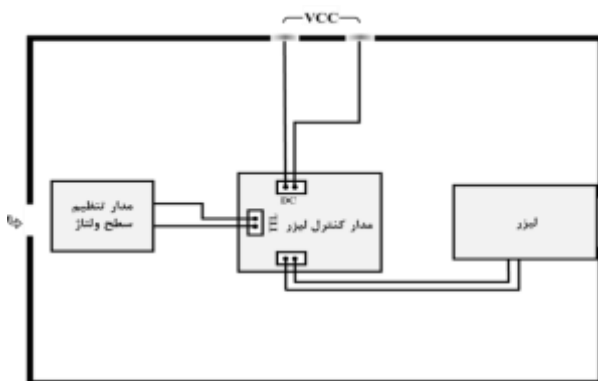
با توجه به این امر برای ساخت یک خط ارتباط مخابراتی با طول معین، توان اولیه لیزر باید به اندازه‌ای باشد که پس از اعمال تضعیف‌های موجود، توان رسیده به آشکارساز در گیرنده بیشتر از حداقل حساسیت آن باشد. به علاوه بهره‌گیری از مدوله‌سازی مناسب این تلفات را به حداقل رسانده و با یک توان مشخص، برد انتقال بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد [۱۸].

لازم به ذکر است که اطلاعات در فرستنده با استفاده از عمل مدوله‌سازی بر روی نور لیزر سوار می‌شود. مدوله‌سازی یکی از اعمال مهمی است که برای انتقال موثر و مطمئن اطلاعات در فرستنده صورت می‌پذیرد. مدوله‌سازی شامل دو شکل موج است. یک سیگنال مدوله‌گر که نماینده پیام است و یک موج حامل که با توجه به کاربرد مشخص و مورد نظر انتخاب می‌شود. مدوله‌کننده موج حامل را هماهنگ با تغییرات سیگنال مدوله‌گر تغییر می‌دهد. در نتیجه موج مدوله‌شده حاصل شده اطلاعات پیام را حمل می‌کند. تغییرات سیگنال مدوله‌گر با تغییرات برخی از ویژگی‌های نور لیزر همچون دامنه، فاز و ... است که متناسب با اطلاعاتی که منتقل می‌شود، صورت می‌پذیرد [۱۹-۲۱]. در انتخاب روش مدوله‌سازی لازم است ملاحظات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه لحاظ شود.

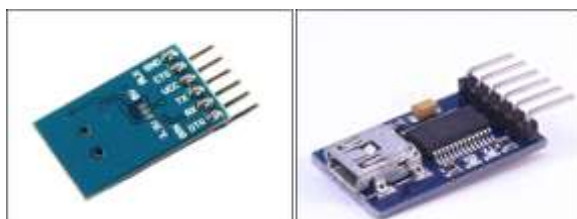
### ۳- فعالیت و اقدامات اصلی طرح تحقیق

#### ۳-۱- طراحی و ساخت فرستنده

بخش فرستنده در یک سامانه مخابراتی وظیفه دریافت اطلاعات از کاربر فرستنده، پردازش و تبدیل اطلاعات به داده‌های قابل ارسال و در نهایت ارسال داده‌های مذکور را برعهده دارد. به طور کلی، این سامانه شامل یک بخش نرم‌افزاری و یک بخش سخت‌افزاری است. بخش نرم‌افزاری به منظور دریافت اطلاعات از کاربر فرستنده، پردازش و تبدیل اطلاعات به داده‌های قابل ارسال مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخش سخت‌افزاری وظیفه دریافت اطلاعات از نرم‌افزار مربوطه به صورت سیگنال الکتریکی و تبدیل آن‌ها به پالس‌های لیزری را بر عهده دارد. قسمت‌های اصلی بخش سخت‌افزاری که در شکل (۳) به صورت طرح‌واره مشاهده می‌شوند، عبارتند از مدار رابط بین رایانه و مجموعه سخت‌افزاری فرستنده که به یکدیگر متصل هستند، مدار کنترل لیزر (برای تأمین ولتاژ آستانه و تنظیم سطح ولتاژی استاندارد برای مدوله‌سازی) و لیزر. مدار رابط وظیفه دریافت



شکل (۳) طرح‌واره سامانه فرستنده.



شکل (۴) ماژول FTDI232RL مبدل یو اس بی به سریال [۲۱].

جدول (۲) مشخصات لیزر.

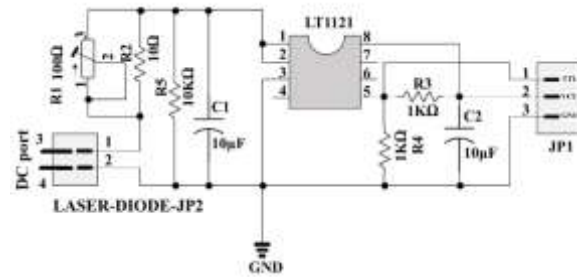
مقدار	ویژگی ها
۵۳۲ نانومتر	طول موج
۵۰ میلی وات	توان عملکرد
۶ ولت	ولتاژ تغذیه جریان مستقیم
۲۳×۲۳×۵۰ میلی متر	ابعاد
۰-۴۰ درجه سانتی گراد	دمای کار
۳ میلی متر	قطر بیم
۱/۲ میلی رادیان	واگرایی
دارد	TTL

بخش سخت افزاری، باریکه لیزری منتشرشونده را که حامل اطلاعات ارسالی فرستنده است، به کمک سامانه نوری جمع آوری و دریافت می کند.

این بخش پالس های نوری دریافتی را تبدیل به سیگنال های الکتریکی می کند، همچنین وظیفه تقویت سیگنال ها، حذف نوفه های احتمالی و بازسازی شکل از دست رفته پالس ها در اثر انتشار را بر عهده دارد. در نهایت سیگنال های الکتریکی در بخش سخت افزاری تحت پروتکل های حاکم بر سطوح ولتاژی، از طریق کابل رابط به یکی از درگاه های رایانه انتقال یافته و تبدیل به داده های باینری می شوند.

قسمت های اصلی بخش سخت افزاری در شکل (۶) مشاهده می شود. قطر باریکه لیزری پس از انتشار در کانال آب افزایش یافته و در اکثر موارد هنگام رسیدن به سطح گیرنده قطر باریکه لیزری بسیار بزرگ تر از سطح حساس آشکارساز خواهد بود. بر این اساس استفاده از یک سامانه نوری با دهانه بزرگ که توانایی متمرکز کردن کل توان دریافتی و کاهش قطر لکه را داشته باشد، ضروری به نظر می رسد. با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی و با تکیه بر امکانات موجود به منظور اجرایی نمودن پروژه در ساخت بخش نوری سامانه گیرنده حاضر، از یک مجموعه از پیش طراحی و ساخته شده برای کاربردی مشابه استفاده شده است.

ساختمان تلسکوپی سیستم نوری یک دوربین نقشه برداری مهندسی، نیاز جمع آوری نور و کاهش قطر لکه را برطرف می کند. قسمت الکترونیکی بخش سخت افزاری شامل دو قسمت مدارهای پردازش سیگنال و تراشه رابط بین این مدارها و رایانه است.



شکل (۵) مدار TTL لیزر.

این لیزر ۳ پایه ورودی، یک پایه مشترک GND بین پایه زمین تغذیه ولتاژ و TTL، یک پایه VCC، پایه مثبت تغذیه ولتاژ و یک پایه TTL برای پایه مثبت TTL به منظور اعمال کنترل خارجی دارد. مشخصات سیستمی این منبع در جدول (۲) ارائه شده است. همانگونه که ذکر شد، ماژول FTDI232RL تحت پروتکل سریال فعالیت می کند، بنابراین ارسال اطلاعات از رایانه نیازمند نرم افزاری است که توانایی کنترل درگاه های خروجی رایانه را تحت این پروتکل فراهم نماید. به علاوه لازم است که نرم افزار انتخابی توانایی ایجاد محیطی ساده را در ارتباط با کاربر سامانه مخابراتی فراهم نماید. نرم افزار متلب این قابلیت ها را دارد.

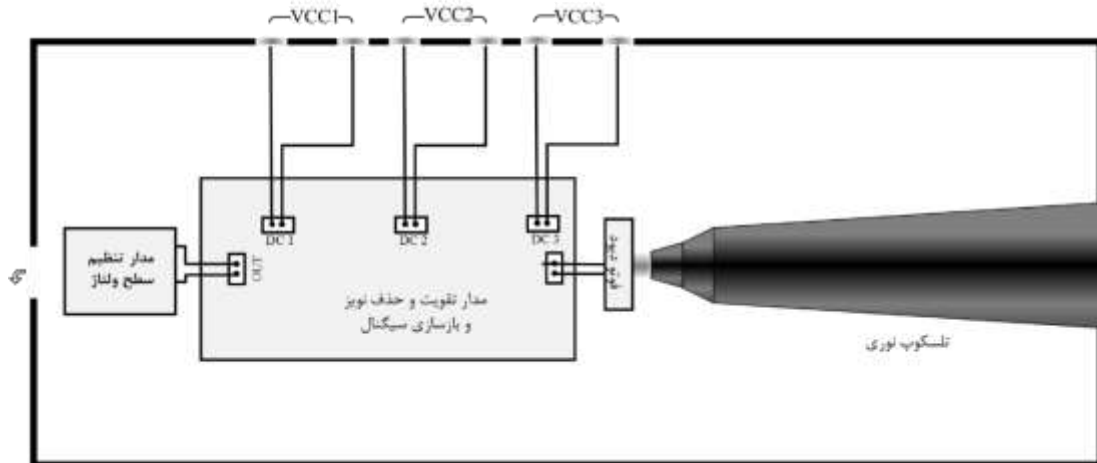
این نرم افزار از یک سو توانایی فراخوانی درگاه سریال و کنترل آن و از سوی دیگر امکان پردازش انواع داده های ذخیره شده در رایانه و تبدیل آنها به ماتریس های خطی قابل ارسال را برای کدنویس فراهم می نماید. بر این اساس، کدهایی با قابلیت ارسال متن، صوت، تصویر (وابسته به پهنای باند در دسترس، تصویر رنگی یا سیاه و سفید در ابعاد مختلف) و فیلم برای فرستنده سامانه مخابراتی در نرم افزار متلب نوشته شده است.

فرآیند تبدیل انواع داده به مجموعه ای از صفر و یک های متوالی در نرم افزار و کنترل ارسال پالس های نوری در سخت افزار تحت مدوله سازی کلید زنی روشن-خاموش<sup>۱</sup> صورت پذیرفته است. در یک توصیف ساده می توان گفت که در این روش مدوله سازی منبع نوری برای ارسال بیت یک روشن و برای تفهیم حضور بیت صفر خاموش خواهد بود.

### ۳-۲- طراحی و ساخت گیرنده

در یک تقسیم بندی کلی، سامانه گیرنده را نیز می توان شامل دو رکن اصلی سخت افزار و نرم افزار در نظر گرفت.

<sup>۱</sup> On-Off Keying Modulation



شکل (۶) طرح‌واره سامانه گیرنده.

جدول (۳) مشخصات آشکارساز نوری.

ویژگی	مقدار		
	کمینه	عادی	بیشینه
جریان تاریکی		۲	۳۰ nA
زمان خیزش		۱۰۰	ns
زمان خاموشی		۱۰۰	ns
توان معادل نوفه		$4 \times 10^{-14}$	W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
محدوده طیفی پهنای باند		۴۳۰ الی ۱۱۰۰	nm
طول موج بیشینه حساسیت		۹۰۰	nm
ولتاژ شکست	۶۰		V

(پایه ۲) این مدار مجتمع اعمال گردیده است. مقدار نسبت داده شده به سطح ولتاژی بالا و پایین نیز با تغییر مقدار مقاومت‌های  $R_6$ ،  $R_7$  و  $R_8$  تنظیم خواهد شد. بنابراین مدار مقایسه‌گر به ولتاژهای بالاتر از ولتاژ مرجع، سطح ولتاژی بالا، و به ولتاژهای پایین‌تر از ولتاژ مرجع، سطح ولتاژی پایین را نسبت خواهد داد.

خروجی مدار فوق در گیرنده نیز به واسطه پایه‌های  $R_x$  و GND ماژول FTDI232RL به درگاه یو اس بی رایانه انتقال یافته و از طریق نرم‌افزار متلب فراخوانی می‌شود تا پس از پردازش و بازگردانی به حالت اولیه در اختیار کاربر گیرنده قرار داده شود. لازم به ذکر است که برقراری ارتباط میان فرستنده و گیرنده تنها زمانی میسر خواهد بود که تنظیمات درگاه سریال در قسمت نرم‌افزاری فرستنده و گیرنده یکسان باشد. این هماهنگی همچنین در نوشتن کدهای بازسازی، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها در گیرنده رعایت شده است. آزمون میدانی سامانه مخابرات لیزری ساخته شده، در مجرای شبیه‌سازی انتشار امواج در زیر آب دانشکده فیزیک دانشگاه

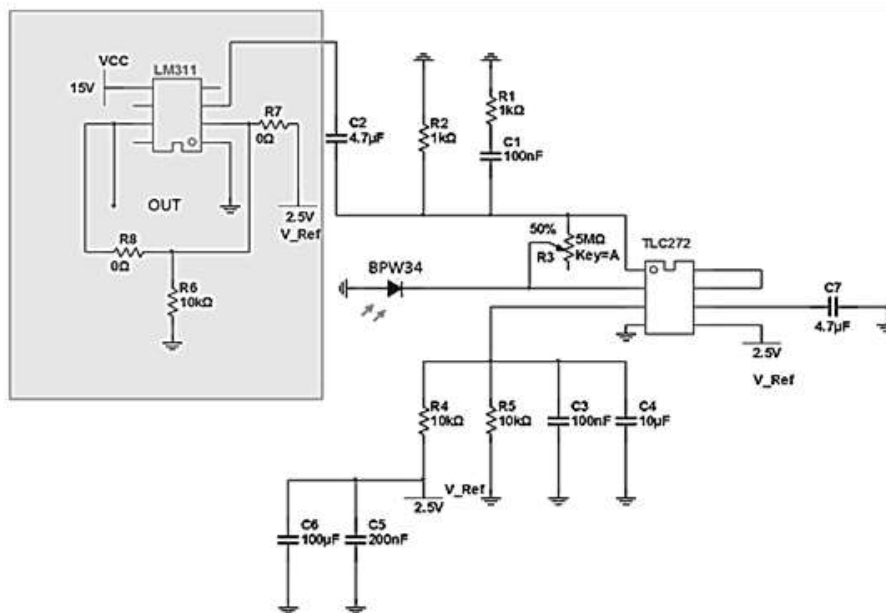
در مدار پردازش سیگنال مهم‌ترین موضوع تبدیل پالس‌های لیزری به سیگنال‌های الکتریکی است. این امر توسط دیود نوری از جنس سیلیکون و از نوع PIN با نام BPW34 انجام پذیرفته است. برخی از خصوصیات BPW34 در جدول (۳) مشاهده می‌شود.

پس از تبدیل پالس‌های نوری به سیگنال‌های الکتریکی، بخشی برای تقویت این سیگنال‌ها طراحی و ساخته شده است. این تقویت به روش امپدانس انتقالی انجام می‌پذیرد. برای این منظور از مدار مجتمع TLC272 به عنوان تقویت‌کننده عملیاتی استفاده شده است.

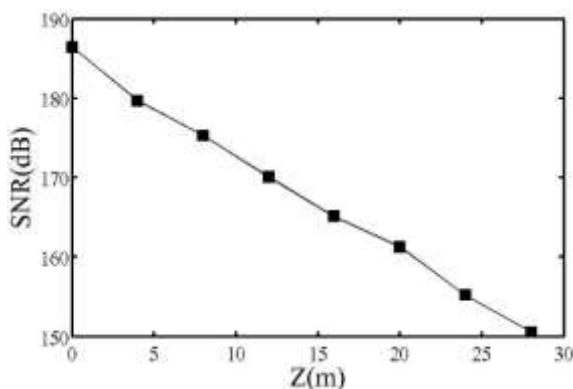
جریان تولیدی توسط دیود نوری مطابق شکل (۶) به پایه منفی (پایه ۲) مدار مجتمع وارد شده و در خروجی مدار مجتمع (پایه ۱) به ولتاژ تبدیل می‌شود. سپس با استفاده از یک مدار مقایسه‌گر که در شکل (۷) مجزا شده است، اعوجاجات سطوح ولتاژی حذف می‌شود. در مدار مقایسه‌گر، ولتاژ خروجی از مدار تقویت‌کننده، به پایه منفی (پایه ۳) مدار مجتمع LM311 وارد شده و ولتاژ مرجع به پایه مثبت

تعداد دفعات رفت و برگشت نور در مجرای انتقال و تعداد آینه‌های به‌کارگیری‌شده طول مسیر را مشخص می‌کنند. خروجی سیگنال مجدداً در نرم‌افزار متلب خوانده شده و نسبت سیگنال به نوفه آن مشخص می‌شود. نمودار نسبت سیگنال به نوفه در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی، در طول مسیرهای مختلف، به ترتیب در دو شکل (۸) و (۹) مشاهده می‌شود. همان‌گونه که انتظار می‌رود، در هر دو نمودار، با افزایش طول لینک، مقدار نسبت سیگنال به نوفه کاهش می‌یابد. اعداد و روند نمودار تجربی، تطبیق بسیار زیادی با نمودار مربوط به بخش محاسباتی دارد. در نتایج تجربی مقدار نسبت سیگنال به نویز در نقاط دور از فرستنده، به مقدار اندکی کمتر از مقادیر محاسباتی آن است.

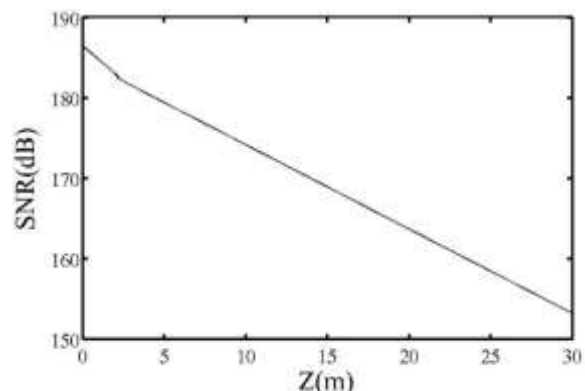
علم و صنعت ایران انجام پذیرفته‌است. در مرحلهٔ آزمون میدانی، نسبت سیگنال به نوفه (SNR) سیستم تا فاصلهٔ ۳۰ متر در آب خالص دریا اندازه‌گیری و با مقدار محاسبه شده همین کمیت در حالت شبیه‌سازی، مقایسه شده‌است. لازم به ذکر است که طول مجرای آزمایش ۴ متر بوده و با استفاده از آینه با رفت و برگشت نور در مجرا طول مسیر انتشاری افزایش داده شده‌است. در ابتدای مسیر انتشار، لیزر توسط منبع تغذیه مناسب روشن شده و ورودی TTL آن به‌وسیله برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب و به کمک تراشه FTDI 232RL با نرخ مشخص تغذیه می‌شود. پس از عبور نور مدوله‌شده از مجرای انتقال نور به‌وسیله تلسکوپ نوری بر روی بخش حساس حسگر متمرکز می‌شود. لازم به ذکر است،



شکل (۷) مدار تقویت و تنظیم ولتاژ گیرنده.



شکل (۹) نمودار تغییرات نسبت سیگنال به نوفه بر حسب مسافت انتشاری، حاصل از داده‌های تجربی.



شکل (۸) تغییرات نسبت سیگنال به نوفه بر حسب مسافت انتشاری، حاصل از شبیه‌سازی.

- [4] Brundage H., "Designing a Wireless Underwater Optical Communication System", M.S. Thesis, MIT, 2010.
- [۵] کاظمیان، اسماعیل، دباغ کاشانی، فاطمه و کهریزی، امیر، "تحلیل نرخ خطای بیت در لینک مخابراتی زیرآبی امن لیزری در تنگه هرمز"، نشریه علمی - پژوهشی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی، دریا فنون، دوره ۱، شماره ۱، ۱۱-۱۸، ۱۳۹۳.
- [6] Bouchet, O., "Free-Space Optics Propagation and Communication", Wiley-ISTE, 2006.
- [7] Snow, J. B., Flatley, J. P., Freeman, D. E., Landry, M. A., Lindstrom, C. E., Longacre, J. R., & Schwartz, J. A., "Underwater Propagation of High-Data-Rate Laser Communications Pulses". In Ocean Optics XI, Vol.1750, pp.419-428, 1992.
- [8] Bales, J.W. and Chrissostomidis C. "High-Bandwidth, Low-Power, Short-Range Optical Communication Underwater". In: Proceedings of the 9th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, Durham, New Hampshire, USA, pp.406-415,
- [9] Chancey M.A., "Short Range Underwater Optical Communication Links", M.S. Thesis, North Carolina State Univ., 2005.
- [10] Hanson F and Radic S. "High bandwidth underwater optical communication". Applied Optics, Vol. 47, pp. 277- 283, 2008.
- [۱۱] ماتسو، سوئه، "مخابرات نوری"، ترجمه: جمشید نیر، ستاد انقلاب فرهنگی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۹۳۲
- [12] Yi, X., Li, Z., & Liu, Z. "Underwater Optical Communication Performance for Laser Beam Propagation Through Weak Oceanic Turbulence". Applied Optics, Vol.54, pp.1273-1278, 2015.
- [13] Jerlove N.J., "Optical Studies of Ocean Waters", Elanders boktr. 1957.
- [۱۴] اسماعیل کاظمیان، فاطمه دباغ کاشانی، "تحلیل لینکهای مخابرات لیزری در فصلهای مختلف در سواحل مکران"، اولین همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران، چابهار، ۱۳۹۱.
- [15] Cox Jr. W.C., "A 1 Mbps Underwater Communication System Using a 405 nm Laser Diode and Photomultiplier Tube", M.S. Thesis, North Carolina State Univ., 2007.
- [16] Golmohammady, S. H., Yousefi, M., & Kashani, F. D. "Scrutinizing the Effects of Turbulence on Partially Coherent Gaussian Beam Propagating Through Caspian Sea". Optik-International Journal for Light and Electron Optics, Vol.138, pp.416-426, 2017.
- [17] Kazemian, E., Kashani, F. D. "Reliability analysis of underwater optical communication links in different locations through caspian sea", International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 124, pp. 5184- 5188, 2013.

علت این تفاوت را می توان در حل معادلات انتشار با استفاده از انتگرال کولینز جستجو کرد. این انتگرال، در حوزه پیرامحوری تعریف می شود که همین امر با توجه واگرایی باریکه لیزر در طول انتشار، سبب خارج شدن باریکه لیزر از تقریب پیرامحوری و تفاوت نتایج تجربی و محاسباتی می شود. لازم به ذکر است که مقدار سیگنال به نویز در طول ۳۰ متر هنوز برای برقراری ارتباط بسیار خوب است و در آزمون های میدانی انجام شده، سامانه ساخته شده توانایی تبادل اطلاعات تا طول ۱۰۰ متر را دارد.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

در مقاله حاضر مراحل طراحی و ساخت یک سامانه مخابرات لیزری بی سیم زیرآب مورد بررسی قرار گرفت. این سامانه قابلیت تبادل اطلاعات از نوع متن، صوت، تصویر (رنگی و سیاه و سفید با ابعاد مختلف) و فیلم با حداکثر نرخ داده ۳ مگابیت در هر ثانیه را در طول ۱۰۰ متر دارد. این سامانه در مقایسه با سامانه های مخابرات آکوستیکی، از پهنای باند و امنیت انتقال اطلاعات بسیار بالاتری برخوردار است. سامانه حاضر با توجه به استفاده از نرم افزار متلب در بخش نرم افزاری توانایی برقراری ارتباطی ساده تر با کاربر را فراهم می کند. همچنین تصاویر و فیلم های ارسالی به واسطه اعمال گزینه های مختلف در کدنویسی ارسال و دریافت آن ها، توانایی تبادل با کیفیت ها و ابعاد مختلف را دارند. همچنین این سامانه در مقایسه با سامانه های ساخته شده، توانسته است با ایجاد پهنای باندی مناسب برای تبادل انواع مختلف اطلاعات، طول لینک را به مقادیری برساند که در کاربردهای عملی مورد نیاز است.

#### ۷- مراجع

- [1] Doniec, M., Detweiler, C., Vasilescu, I., & Rus, D. "Using Optical Communication for Remote Underwater Robot Operation". In Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference, pp.4017-4022, 2010.
- [2] Mooradian, G.. "Undersea Laser Communications is a "Game-Changer" for the US Navy, So How Do We Make the Promise a Reality?". In Photonics Society Summer Topical Meeting Series, IEEE, pp.71- 72, 2012.
- [3] Kaushal, H., & Kaddoum, G. "Underwater optical wireless communication: IEEE access, Vol.4, pp.1518-1547, 2016.



[۱۸] آزاد، محمد، محاسبه و شبیه سازی اثرات توربولنس اتمسفری با استفاده از باریکه لیزری با همدوسی جزئی بر ارتباطات لیزری مبتنی بر مدولاسیون های OOK، PPM، BPSK. پایان نامه کارشناسی ارشد فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۲.

[19] Kahn, J. "Modulation and detection techniques for optical communication systems", In Coherent Optical Technologies and Applications (p. CThC1). Optical Society of America, June. 2006.

[20] Nakamura, K., Mizukoshi, I., & Hanawa, M. "Optical wireless transmission of 405 nm, 1.45 Gbit/s optical IM/DD-OFDM signals through a 4.8 m underwater channel", Optics express, Vol.23, pp.1558-1566. 2015.

[21] Baghdady, J., Miller, K., Morgan, K., Byrd, M., Osler, S., Ragusa, R. & Johnson, E. G. "Multi-gigabit/s underwater optical communication link using orbital angular momentum multiplexing". Optics express, Vol.24, pp.9794-9805, 2016.

[22] www.ftdichip.com (accessed 31/08/2017)