

# الگوی تهیه مقالات برای هفدهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران

فاطمه جلیلی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران،  
Fatemeh.jalili@ut.ac.ir

## چکیده

برنامه‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا و گردشگری فضایی و دریایی و پزشکی از راه دور محدودیت‌های موجود در شبکه‌های موبایل نسل پنجم را بیشتر نمایان می‌کنند. در حال حاضر توسعه چشم‌انداز، برنامه‌ها، فناوری‌ها و استانداردهای نسل ششم مخابرات بیسیم (6G) با هدف برطرف کردن محدودیت‌های موجود یک موضوع پژوهشی محبوب در دانشگاه و صنعت است. در مقایسه با 5G، 6G یک باند فرکانسی گسترده‌تر، نرخ انتقال بالاتر، کارایی طیف بیشتر، ظرفیت ارتباطی بیشتر، تأخیر کمتر، پوشش گسترده‌تر و قابلیت مقاومت بیشتر در برابر تداخلات قوی‌تر خواهد داشت تا نیازهای مختلف شبکه را برآورده کند. در ادامه چشمگیرترین فناوری‌های 6G مانند هوش مصنوعی، سطوح بازتابنده هوشمند، تکنولوژی تمام دو طرفه<sup>۲</sup>، مخابرات نور مرئی<sup>۳</sup> و شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا<sup>۴</sup> را به تفصیل معرفی می‌کنیم. این مقاله ترویجی درکی فراگیر از ارتباطات بی‌سیم 6G را با معرفی نیازها، ویژگی‌ها، فناوری‌های اساسی و چالش‌ها ارائه می‌دهد.

## کلمات کلیدی

مخابرات بیسیم، نسل ششم مخابرات<sup>۵</sup>، سطوح بازتابنده هوشمند، تمام دو طرفه، تراهرتز، مخابرات نور مرئی، شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا

بهره‌گیری از عناصر بازتابنده غیرفعال و بدون استفاده از منبع برق خارجی افزایش دهد. همچنین، به دلیل مصرف سریع فرکانس طیف در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم موجود، 6G به کاوش در زیرباندهای تراهرتز (sub-THz) و مخابرات نور مرئی (VLC) می‌پردازد که از فرکانس‌های ۱۰۰ گیگاهرتز تا ۳ تراهرتز استفاده می‌کنند. علاوه بر این، برای دستیابی به هدف پوشش جهانی، ارتباطات بی‌سیم 6G از شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا (SAGSIN) استفاده می‌کنند تا سیستم‌های ارتباطی را از آسمان تا اعماق دریا به هم متصل کنند [3].

## ۱- مقدمه

در حالی که فناوری مخابرات 5G به صورت تجاری استفاده می‌شود، صنعت و دانشگاه در حال توسعه نسل ششم شبکه‌های مخابرات بیسیم هستند. در حال حاضر رشد سریع سیستم‌های هوشمند داده محور، چالش‌های قابل توجهی برای شبکه‌های 5G به وجود آورده است. برای مثال در کاربرد‌های پزشکی از راه دور با فناوری‌ها لمسی نیازمند تأخیر رابط هوایی کم‌تر از ۰.۱ میلی ثانیه (ms) هستند [1]. ولی تأخیر قابل دستیابی کنونی تنها ۱ms است. در مقایسه با 5G، 6G الزامات سختگیرانه‌تری را در مصرف توان، میزان تأخیر، قابلیت اطمینان، امنیت و ... دنبال می‌کند [2] و در عوض کیفیت خدمات بهتر (QoS) و پوشش گسترده‌تر نسبت به ارتباطات بی‌سیم در گذشته فراهم می‌کند. جدول (۱) لیستی از شاخص‌های کلیدی عملکرد 6G را ارائه می‌کند.

با توجه به رشد نقش هوش مصنوعی، 6G به عنوان انقلابی در مخابرات بی‌سیم در نظر گرفته می‌شود. فناوری‌های مختلفی برای گذر از تنگنای سیستم‌های مخابراتی فعلی پیشنهاد شده‌اند که الزامات 6G را برآورده کنند برای مثال مصرف سریع منابع طیف فرکانسی، استفاده موثر از طیف را بسیار مهم می‌کند. برای بهبود بهره‌وری طیفی، تکنیک‌های مختلفی در 6G معرفی خواهد شد، از جمله فناوری‌های موجود مانند تمام دو طرفه و فناوری‌های جدیدی مانند سطوح بازتابنده هوشمند (IRS) ممکن است بهره‌وری طیفی را با

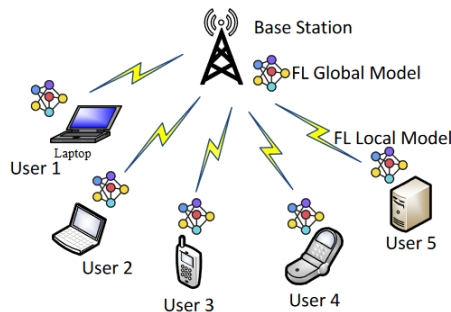
جدول (۱) : شاخص‌های کلیدی عملکرد 6G [4]

ویژگی‌ها	6G
انواع سرویس	MBRLLC/mURLLC/HCS/MPS
سطح سرویس	Tactile
انواع دستگاه	BCI / XR تجهیزات و CRAS سنسورها و دستگاه‌های DLT
لغزش	$1\mu s$
حداکثر نرخ	$100\text{ Gb s}^{-1}$
تأخیر	$0.1\text{ ms}$
قابلیت اطمینان	تا ۹۹.۹۹۹۹۹٪
هم تافتن	OFDM هوشمند به علاوه IM
دقت موقعیت‌یابی	۱cm در ۳ بعد

## ۲- فناوری ها

### ۲-۱-۲- هوش مصنوعی قابل توضیح<sup>۱</sup>

در عصر 6G، کاربردهای گسترده‌ای مانند ماشین‌های خودران و جراحی از راه دور وجود خواهد داشت. از آنجا که این کاربردها ارتباط تنگاتنگی با زندگی انسان‌ها دارند، یک اشتباه ممکن است منجر به فجایع ناگواری شود. بنابراین، بسیار ضروری است که هوش مصنوعی قابل توضیح باشد تا اعتماد بین انسان و ماشین ایجاد شود. در حال حاضر، بیشتر رویکردهای هوش مصنوعی در لایه‌های PHY و MAC شبکه‌های بی‌سیم 5G قابل توضیح نیستند. تصمیمات هوش مصنوعی باید قابل توضیح و توسط کارشناسان انسانی قابل درک باشند تا به عنوان قابل اعتماد در نظر گرفته شوند. روش‌های موجود، از جمله تجسم با مطالعات موردی<sup>۱</sup>، آزمون فرضیه<sup>۱۱</sup> و اظهارات آموزشی<sup>۱۲</sup>، می‌توانند قابلیت توضیح‌پذیری یادگیری عمیق را بهبود بخشند [7].



شکل (۲): یادگیری مشارکتی

### ۲-۲- سطوح هوشمند

سطوح هوشمند فناوری‌های جدیدی هستند که به طور قابل توجهی عملکرد شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم را بهبود می‌بخشند و برای عصر آینده 6G ضروری هستند. دو نوع اصلی از سطوح هوشمند که در حال حاضر تحت تحقیقات گسترده قرار دارند، شامل سطوح هوشمند بزرگ (LIS)<sup>۱۳</sup> و سطوح بازتابنده هوشمند (IRS) می‌باشند که در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

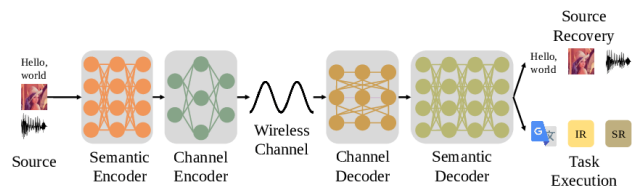
### ۲-۱-۲-۲- سطوح هوشمند بزرگ

فناوری LIS شامل استفاده از آرایه‌های آنتن‌ها همراه با واحدهای الکترونیکی و پردازش سیگنال در محیط‌های مختلف است. ویژگی‌های اصلی LIS شامل توانایی ایجاد محیط‌های انتشار خط مستقیم (LoS)<sup>۱۴</sup> هم در داخل و هم در خارج از ساختمان‌ها است، که به کاهش اثرات تزویج متقابل و همبستگی آنتن‌ها کمک می‌کند و انتشار سیگنال را بهبود می‌بخشد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود LIS، خصوصاً برای کاربردهایی که نیاز به تأخیر بسیار کم دارند مانند واقعیت مجازی/افزوده بی‌سیم و ارتباطات خودرویی بسیار مفید واقع شود [8].

در این بخش، معرفی مختصری از چشمگیرترین فناوری‌های مربوط به 6G می‌پردازیم، از جمله هوش مصنوعی (AI)، سطوح هوشمند (IRS)، تکنولوژی تمام دو طرفه، شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا (SAGSIN) و مخابرات نور مرئی (VLC). این فناوری‌ها این پتانسیل را دارند تا پایه و اساس نسل بعدی ارتباطات را بنا کنند.

### ۲-۱-۲- هوش مصنوعی

هوش مصنوعی نقش مهمی در توانمندسازی قابلیت‌های انقلابی شبکه‌های بی‌سیم 6G ایفا خواهد کرد. برای مثال یادگیری عمیق در زمینه‌هایی مانند مخابرات معنانشناختی<sup>۱۵</sup> ضروری خواهد بود، نمودار بلوکی چنین سیستمی در شکل (۱) نشان داده شده است. علاوه بر روش‌های رایج هوش مصنوعی مانند یادگیری نظارت شده و یادگیری بدون نظارت که برای وظایفی مانند تخمین حالت کانال، کدگذاری کانال، بهینه‌سازی مدولاسیون و کنترل ترافیک کاربرد دارند [5] دو روش دیگر که به طور خاص انتظار می‌رود در شبکه‌های 6G و فراتر از آن کاربرد‌های ویژه‌ای برای برطرف کردن ضعف‌های نسل‌های گذشته و برآورد نیازهای تازه در نسل جدید داشته باشند در ادامه توضیح داده می‌شود.



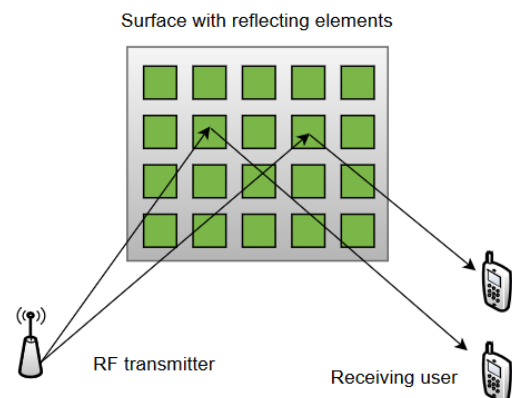
شکل (۱): مخابرات معنانشناختی

### ۲-۱-۱-۲- یادگیری مشارکتی<sup>۱۶</sup>

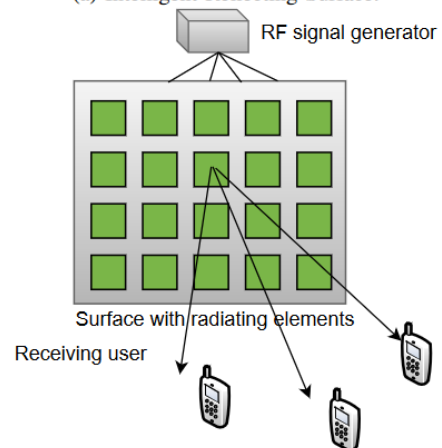
یادگیری مشارکتی (FL) با هدف آموزش یک مدل یادگیری ماشین با داده‌های آموزشی که در نزد کاربران باقی می‌ماند، برای حفاظت از حریم خصوصی صاحبان داده‌ها انجام می‌شود. ایده FL در شکل (۲) نشان داده شده است، دستگاه‌های کاربران مدل‌های محلی را آموزش می‌دهند و سپس مدل‌های محلی آموزش‌دیده را برای تجمیع به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. با حرکت 6G به سمت معماری توزیع شده، فناوری‌های FL می‌توانند به انتقال هوش مصنوعی از مدل متمرکز مبتنی بر فضای ابری به دستگاه‌های غیرمتمرکز، کمک کنند. علاوه بر این، با افزایش محبوبیت رایانش لبه ای<sup>۱۷</sup>، وظایف محاسباتی هوش مصنوعی می‌توانند از یک گره مرکزی به چندین گره لبه ای غیرمتمرکز توزیع شوند [6].

## ۲-۲-۲- سطوح بازتابنده هوشمند

IRS از عناصر بازتابنده کم هزینه و غیرفعال<sup>۱۵</sup> متعددی برای بهبود کیفیت سیگنال با تغییر فاز امواج ورودی استفاده می کند. IRS از مواد الکترومغناطیسی که به صورت الکترونیکی کنترل می شوند برای ایجاد یک محیط رادیویی هوشمند استفاده می کند [9]. با تنظیم ضرایب بازتاب، IRS می تواند سیگنال های بازتابی را به صورت هم زمان به گیرنده بازتاب کند بدون اینکه نویز اضافی ایجاد شود. معماری آرایه غیرفعال آن نیاز به منبع انرژی خاص یا اتصالات پشتیبان ندارد، که پیاده سازی آن را آسان می کند و آن را به فناوری کارآمد و سازگار برای بهبود شبکه های ارتباطی تبدیل می کند.



(a) Intelligent Reflecting Surface.



(b) Large Intelligent Surface.

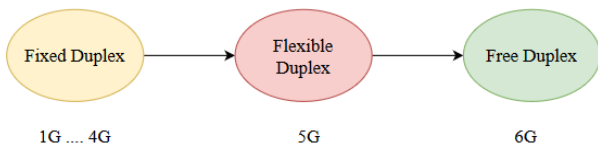
## شکل (۳): مقایسه RIS و LIS

با این حال، چالش هایی در استقرار این سطوح هوشمند وجود دارد. بهینه سازی ضرایب IRS و بردارهای پرتودیسی<sup>۱۶</sup> نیازمند زمان و منابع قابل توجهی است. علاوه بر این، استخراج اطلاعات وضعیت کانال (CSI)<sup>۱۷</sup> به ویژه با تعداد زیادی از عناصر IRS پیچیده است. علی رغم این چالش ها، پیشرفت سطوح هوشمندی مانند LIS و IRS برای دستیابی به عملکرد بالا و تأخیر کم مورد انتظار از شبکه های 6G

ضروری است. توسعه آن ها نقش مهمی در تحقق پتانسیل کامل سیستم های ارتباطی بی سیم نسل بعدی ایفا خواهد کرد.

## ۲-۳- تکنولوژی تمام دو طرفه

برای استفاده بهینه از منابع فرکانس، انتظار می رود در 6G از فناوری دوبلکس آزاد استفاده شود. دوبلکس آزاد به این معناست که تفاوتی بین دوبلکس تقسیم زمانی (TDD)<sup>۱۸</sup> و دوبلکس تقسیم فرکانس (FDD)<sup>۱۹</sup> وجود ندارد و طیف فرکانسی به صورت آزاد از نظر زمان، فرکانس و فضا قابل استفاده خواهند بود. مطابق آنچه در شکل (۴) نشان داده شده است، در نسل های قبلی سیستم های ارتباطی، تخصیص فرکانس بر اساس TDD یا FDD انجام می شد. در حالی که در 5G تخصیص منابع انتقال به صورت دینامیک و انعطاف پذیر انجام شد، در 6G هدف پیشرفت بیشتر با استفاده از دوبلکس آزاد است. دوبلکس آزاد بر اساس فناوری دوبلکس کامل بنا شده است که امکان ارسال و دریافت هم زمان را فراهم می کند، برخلاف دوبلکس نیمه (HD) که ارسال و دریافت را به صورت متناوب انجام می دهد. این گذار از HD به FD بسیار مهم است زیرا با اجازه دادن به دستگاه ها برای استفاده از یک فرکانس برای هر دو حالت ارسال و دریافت، توان عملیاتی و کارایی را تا دو برابر بهبود می بخشد.



شکل (۴): تکامل تکنیک های دوبلکس

اگرچه فناوری FD در 5G موجود است، اما هنوز به طور کامل توسط 3GPP پذیرفته نشده است. با این حال، 6G مصر است تا به طور کامل از FD استفاده کند و از تکنیک های دوبلکس کامل درون باند (IBFD)<sup>۲۰</sup> بهره برداری کند. علاوه بر این، استفاده از سطوح بازتابنده هوشمند (IRS) می تواند عملکرد FD را با کاهش تداخل و هزینه ها بهبود بخشد [10]، زیرا IRS بدون نیاز به رله های RF عمل می کند و از قابلیت های موج الکترومغناطیسی برای کمک به برنامه های FD استفاده می کند. این هم افزایی بین IRS و FD وعده بهبود قابل توجهی در بهره وری انرژی و مقرون به صرفه بودن شبکه های 6G را می دهد.

## ۲-۴- مخابرات نور مرئی

ارتباطات با نور مرئی (VLC) به عنوان یکی از تکنیک هایی که در 6G مورد استفاده قرار می گیرد، در نظر گرفته می شود و در فرکانس های تراهرتز که به ندرت کاوش شده اند، کار می کند. به طور خاص، 6G به دلیل ازدحام طیفی در فرکانس هایی که 5G استفاده می کند و نیازهای فزاینده برای نرخ های داده بالاتر، به سوی فرکانس های بالاتر حرکت

## ۵-۲- شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا

در شبکه 5G، کاربران فقط به یک سیستم ارتباط بی سیم دسترسی دارند، مثلاً سیستم ارتباط بی سیم زمینی که در حال تجربه رشد انفجاری در تعداد کاربران و خدمات موجود است. برای غلبه بر محدودیت‌های 5G، شبکه 6G، مطابق (۶) شبکه‌های ارتباط ماهواره‌ای، شبکه‌های ارتباطی پهنپای، شبکه‌های ارتباطی زمینی و شبکه‌های ارتباط دریایی را ادغام می‌کند تا یک شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا (SAGSIN) ایجاد کند که پوشش جهانی و اتصال فراگیر را پشتیبانی می‌کند. این شبکه‌ها می‌توانند به صورت مستقل یا مشترک کار کنند.

در نسل‌های قبلی سیستم‌های ارتباطی، شبکه یکپارچه ماهواره-هوا-زمین (SAGIN) به شدت مورد بحث قرار گرفته است. به طور خاص، SAGIN برای پشتیبانی از برنامه‌هایی مانند اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ و رایانش ابری ضروری است. اما در 5G تنها شبکه‌های یکپارچه فضا-هوا-زمین مورد توجه قرار گرفته‌اند، در حالی که SAGSIN در 6G پوشش ارتباطات زیرآبی و اعماق دریا را نیز فراهم می‌کند.

## ۳- نتیجه

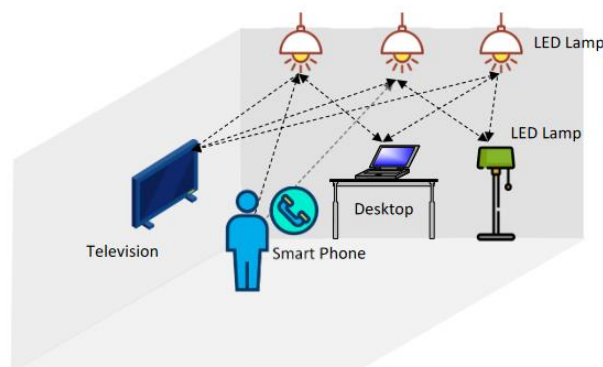
در این مقاله، به برخی از تکنولوژی‌های نویدبخش در شبکه‌های 6G پرداخته شد. توضیحاتی جامع در مورد هوش مصنوعی، سطوح بازتابنده هوشمند، تکنولوژی تمام دو طرفه، مخابرات نور مرئی، شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-دریا و نحوه استفاده از این فناوری‌ها در 6G ارائه شد. علاوه بر این برخی چالش‌های پیاده سازی هر یک از این فناوری و آنچه سبب بهبود آن خواهند شد، بیان شد.

## مراجع

- [1] L. Matti and L. Kari, "Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence," *6G Flagship, Oulu, Finland, White Paper*, 2019.
- [2] M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed, and Y. M. Jang, "6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 1, pp. 957–975, 2020.
- [3] M. Giordani and M. Zorzi, "Satellite communication at millimeter waves: A key enabler of the 6G era," in *2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. IEEE, 2020, pp. 383–388.
- [4] T. M. Ho, T. D. Tran, T. T. Nguyen, S. Kazmi, L. B. Le, C. S. Hong, and L. Hanzo, "Next-generation wireless solutions for the smart factory, smart vehicles, the smart grid and smart cities," *arXiv preprint arXiv:1907.10102*, 2019.
- [5] T. Wang, C.-K. Wen, H. Wang, F. Gao, T. Jiang, and S. Jin, "Deep learning for wireless physical layer: Opportunities and challenges," *China Communications*, vol. 14, no. 11, pp. 92–111, 2017.
- [6] T. Cousik, R. Shafin, Z. Zhou, K. Kleine, J. Reed, and L. Liu, "CogRF: A new frontier for machine learning and

می‌کند. VLC دارای نرخ داده بالا، طیف فرکانسی گسترده، انتقال پرسرعت و مقاومت در برابر تداخل است. بنابراین، VLC به توسعه ارتباطات کوتاه‌برد در 6G کمک می‌کند. برای ارتباطات کوتاه‌برد، از دیودهای لیزری سفید یا دیودهای ساطع کننده نور به عنوان فرستنده استفاده می‌شود و آشکارسازهای نوری به عنوان گیرنده به کار می‌روند. فناوری نورپردازی تبدیل دیود لیزری (LD) - فسفر می‌تواند عملکرد بهتری در بهره‌وری، روشنایی و دامنه روشنایی بیشتر نسبت به تکنیک‌های نورپردازی سنتی ارائه دهد [11]. بنابراین، این فناوری به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین تکنولوژی‌ها برای 6G در نظر گرفته می‌شود. سرعت سیستم VLC مبتنی بر LD می‌تواند به ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه برسد، که نیازهای 6G را برآورده می‌کند. علاوه بر این، منابع نوری جدید مبتنی بر میکرو LED محدودیت سرعت پایین در ارتباطات کوتاه‌برد را برطرف خواهند کرد. با توسعه آرایه‌های میکرو LED موازی، آرایه‌های درایور CMOS و ارتباطات ترانزیتور، انتظار می‌رود نرخ داده VLC در سناریوهای داخلی کوتاه‌برد تا سال ۲۰۲۷ به ترابیت بر ثانیه برسد.

سیگنال‌های الکترومغناطیسی سنتی نمی‌توانند به سرعت انتقال داده بالا با استفاده از پرتوهای لیزر در فضای آزاد و زیر آب دست یابند. با این حال، VLC دارای پهنای باند بسیار بالا و سرعت انتقال داده زیاد است. بنابراین، VLC در مواردی که ارتباطات RF سنتی کمتر کاربرد دارد، مفید است، مانند زیرزمین، خدمات اینترنت داخل کابین و ارتباطات داخلی که در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین، VLC به عنوان یک راه‌حل بالقوه برای ساخت شبکه‌های بی سیم



گیگابیتی زیر آب عمل می‌کند.

شکل (۵): مخابرات نور مرئی

با این حال، VLC هنوز با چالش‌های زیادی روبرو است. به عنوان مثال، پهنای باند منبع نور سرعت VLC را محدود می‌کند، بنابراین باید مواد و مکانیسم‌های جدیدی برای افزایش پهنای باند منبع نور توسعه یابد. علاوه بر این، آشکارسازهای مبتنی بر سیلیکون که توسط سیستم‌های VLC استفاده می‌شوند، به امواج مادون قرمز بیشتر از نور مرئی حساس هستند. همچنین، هیچ مدار مجتمع خاصی برای پردازش بیس‌بند VLC وجود ندارد.

- artificial intelligence for 6G RF systems,” *arXiv preprint arXiv:1909.06862*, 2019.
- [7] W. Guo, “Explainable artificial intelligence (XAI) for 6G: Improving trust between human and machine,” *arXiv preprint arXiv:1911.04542*, 2019.
- [8] A. Faisal, H. Srieddeen, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini, “Ultra-massive MIMO systems at terahertz bands: Prospects and challenges,” *arXiv preprint arXiv:1902.11090*, 2019.
- [9] S. Hu, F. Rusek, and O. Edfors, “Beyond massive MIMO: The potential of data transmission with large intelligent surfaces,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 66, no. 10, pp. 2746–2758, 2018.
- [10] D. Xu, X. Yu, Y. Sun, D. W. K. Ng, and R. Schober, “Resource allocation for IRS-assisted full-duplex cognitive radio systems,” *arXiv preprint arXiv:2003.07467*, 2020.
- [11] M. A. Arfaoui, M. D. Soltani, I. Tavakkolnia, A. Ghayeb, M. Safari, C. Assi, and H. Haas, “Physical layer security for visible light communication systems: A survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2020.

زیر نویس ها

- 
- <sup>1</sup> Intelligent reflecting surfaces (IRS)
- <sup>2</sup> Free duplex
- <sup>3</sup> Visible light communication (VLC)
- <sup>4</sup> Space-air-ground-sea integrated network
- <sup>5</sup> Sixth generation (6G)
- <sup>6</sup> Semantic communication
- <sup>7</sup> Federated learning
- <sup>8</sup> Edge computing
- <sup>9</sup> Explainable artificial intelligence
- <sup>10</sup> Visualization with case studies
- <sup>11</sup> Hypothesis testing
- <sup>12</sup> Didactic statements
- <sup>13</sup> Edge computing
- <sup>14</sup> Line-of-sight
- <sup>15</sup> Passive
- <sup>16</sup> Beamforming
- <sup>17</sup> Channel state information
- <sup>18</sup> Time division duplex
- <sup>19</sup> Frequency division duplex
- <sup>20</sup> In-band full duplex