بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

# مدل‌سازی شبکه‌های Backhaul/Fronthaul نسل پنجم مخابرات سلولی مبتنی بر فناوری دسترسی غیرفعال نوری XGPON

**محمد روشتیان، علیرضا قلی‌پور**

**دانشکده مهندسی برق،دانشگاه شهید بهشتی،گروه مخابرات**

m_raveshtian@sbu.ac.ir,a_gholipour@sbu.ac.ir

**چکیده – تحقق سرعت داده و تاخیر پیش‌بینی شده در نسل پنجم مخابرات سیار(5G)، مستلزم افزایش ظرفیت در بخش Backhaul/Fronthaul شبکه است. همچنین با توجه به افزایش فرکانس و نرخ داده در استانداردهای 5G، (که منجر به افزایش تعداد ایستگاه‌های پایه و بروز مشکلات عمرانی و افزایش هزینه پیاده‌سازی شبکه خواهد شد) نیاز به هم‌گرایی مخابرات سیار و ثابت ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله، سازگاری دو فناوری دسترسی غیرفعال نوری (XGPON) و سیار (5G) از نقطه‌نظر به اشتراک‌گذاری بخش ODN در قسمت Backhaul/Fronthaul شبکه 5G، به کمک تحلیل‌های بودجه توان، تاخیر و CNR بررسی شده است.**

کلید واژه- بستر شبکه نوری، شبکه‌های دسترسی غیرفعال نوری، نسل پنجم مخابرات سلولی

# Modeling of Backhaul/Fronthaul Networks of 5G Cellular Telecommunication Based on XGPON Technology

**Mohammad Raveshtian, Alireza Gholipour**

**Faculty of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Department of Telecommunications**

**m_raveshtian@sbu.ac.ir,a_gholipour@sbu.ac.ir**

**Abstract- Realizing the data speed and latency predicted in the fifth generation of mobile Telecommunication (5G) requires an increase in capacity in the Backhaul / Fronthaul network. Also, due to the increase in frequency and data rates in 5G standards, (which will lead to an increase in the number of base stations and development problems and increase the cost of network implementation), the need for convergence of mobile and fixed telecommunications is essential, It seems. In this paper, the compatibility of passive optical access (XGPON) and mobile (5G) technologies from the point of view of ODN segment sharing in the Backhaul / Fronthaul segment of 5G network is investigated using power, delay and CNR budget analyzes.**

Keywords: Optical Distribution Network ،Passive Optical Networks ،Fifth Generation of Mobile Telecommunication

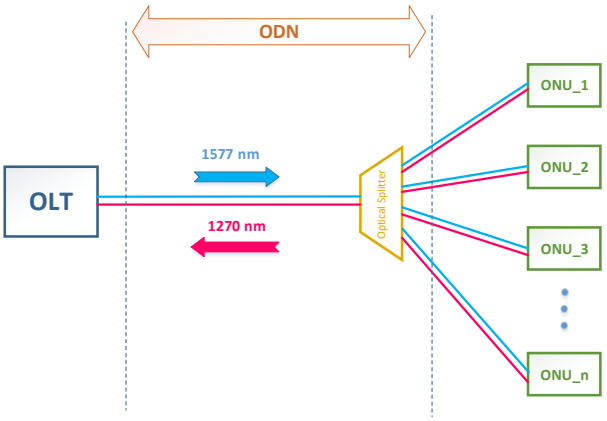
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05 ]

## مقدمه

فیبرنوری به‌دلیل دارا بودن مزایایی مانند قابلیت پیاده‌سازی لینک‌های چندصد کیلومتری با ظرفیت چند ده تراهرتزی، مصونیت در برابر تداخل و هم‌شنوایی، تلف انتقال پایین و قیمت ارزان، گزینه مناسبی برای به‌کارگیری در ارتباط میان سایت مرکزی(CO) و سایت‌های سلولی موبایل به‌شمار می‌رود[۱]. همچنین ادغام Backhaul شبکه 5G با بستر توزیع شبکه‌های غیرفعال نوری (ODN)، نه تنها میزان استفاده از فیبرنوری را به‌شدت کاهش می‌دهد بلکه موجب صرفه‌جویی ارزی و مدیریت یک‌پارچه شبکه مخابرات ثابت و سیار خواهد شد[۲]. در واقع نیاز به سیستمی که بتواند نیازمندی‌های مربوط به سرعت بالا و تاخیر پایین در شبکه 5G را برآورده سازد، هدف انجام شبیه‌سازی‌ها در این مقاله بوده و این مهم می‌تواند با استفاده از نسل جدید شبکه‌های دسترسی غیرفعال نوری یا XGPON به‌دلیل برخورداری از نرخ انتقال داده بالا(۱۰ Gbps) امکان‌پذیر شود.

## نسل جدید شبکه‌های دسترسی غیرفعال نوری

به‌طور کلی شبکه‌های غیرفعال نوری(PON) از سه بخش اصلی OLT، ODN و ONU ها تشکیل می‌شوند. OLT تجهیزی است که در مراکز مخابراتی قرار گرفته و ارتباط میان تامین‌کننده سرویس‌های اینترنتی و شبکه دسترسی را برقرار می‌کند. ODN شامل بخش‌های غیرفعال یک شبکه دسترسی نوری شامل فیبرنوری و Splitter ها بوده که مابین OLT و ONU ها قرار می‌گیرد. ONU ها نیز تجهیزاتی هستند که در سمت کاربران قرار گرفته و داده‌ها پس از عبور از بستر ODN با استفاده از ONU ها تحویل کاربران می‌شود. استاندارد XGPON جدیدترین فناوری معرفی‌شده توسط ITU است که با هدف انتقال اطلاعات در بستر شبکه‌های غیرفعال نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انتقال اطلاعات در این استاندارد، از طول‌موج های ۱۵۷۷nmو ۱۲۷۰nm، به‌ترتیب در جهات DS (انتقال از OLT به سمت ONU) و US (انتقال از ONU به OLT) استفاده می‌شود(شکل ۱).



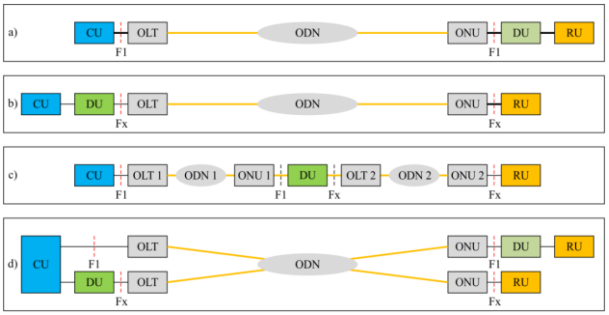

شکل ۱: نمایش اجزای اصلی یک شبکه غیرفعال نوری

## معماری مشترک شبکه‌های PON و 5G

توسعه شبکه‌های نسل چهارم مخابرات سیار به معماری جدید انتقال رادیویی 5G با تغییر در عملکرد اصلی واحد باندپایه (BBU) مشخص می‌شود که مطابق(پیشنهاد ITU) شکل۲ در عمل به سه بخش DU،CU و RU تقسیم‌بندی شده‌است[۲]. مطابق این تقسیم‌بندی، رابط میان NGC و CU به نام Backhaul، رابط میان CU و DU به نام Fronthaul-II و رابط میان DU و RU به نام Fronthaul-I نام‌گذاری شده‌اند. موسسه‌ی ITU، نحوه‌ی اشتراک‌گذاری شبکه XGPON مابین یکی یا تمام رابط‌های ذکرشده را بسته به کاربرد، به ۴ حالت تقسیم کرده است(شکل۲). ساختارهای a،b و c به ترتیب برای کاربردهای با تاخیر پایین، Cloud و نقاط پرازدحام شهری مفید هستند. ساختار d که به ساختار موازی نیز معروف است، تمام خواص سه ساختار دیگر را دارد و در این مقاله پیاده‌سازی شده است. لازم به ذکر است که سیگنال RF (با فرکانس ۲۰GHz) در این ساختار مشترک، بر روی طول‌موج ۱۵۵۰nm مدوله شده و پس از اعمال تکنیک WDM به‌همراه طول‌موج ۱۵۷۷nm به صورت RoF (Radio over Fiber) در جهت DS ارسال می‌شود.



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05 ]




شکل۲: نگاشت CU/DU/RU بر معماری PON در بخش Fronthaul: a(تقسیم لایه بالا)، b(تقسیم لایه پایین)،c (تقسیم آبشاری)،d (تقسیم موازی)[۲]

## شبیه‌سازی در نرم‌افزار Optisystem

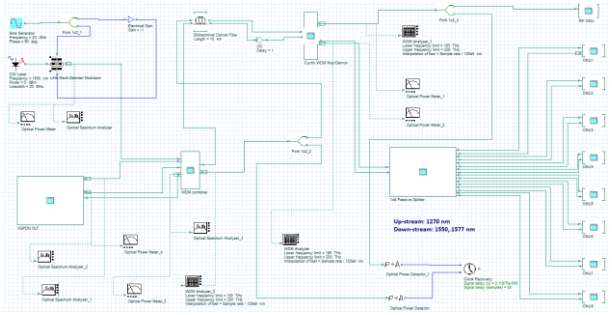
در این مقاله، معماری بخش d شکل ۲ شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار Optisystem و در ۴ حالت N = ۸،۱۶،۳۲،۶۴ انجام شده‌است که پارامتر N تعداد ONU های متصل به شبکه XGPON است. ابتدا تحلیل بودجه توان به‌منظور اثبات برقراری الزامات استاندارد XGPON در نرم‌افزار Optisystem انجام شد. جدول ۱ استاندارد مرتبط با بودجه توان در فناوری XGPON را در دو جهت US و DS نمایش می‌دهد.

جدول۱: کلاس Nominal2 از استاندارد G.987.2 فناوری XGPON

| Direction | ONU | OLT |
|---|---|---|
| 2.5 Gbps US | Min Tx Power = 2 dBm | Min Rx Power = -29.5 dBm |
| 10 G DS op.1 | Min Rx Power = -28 dBm (APD Receivers) | Min Tx Power = 4 dBm |
| 10 G DS op.2 | Min Rx Power = -21.5 dBm (Pin-Pd Receivers) | Min Tx Power = 10.5 dBm |

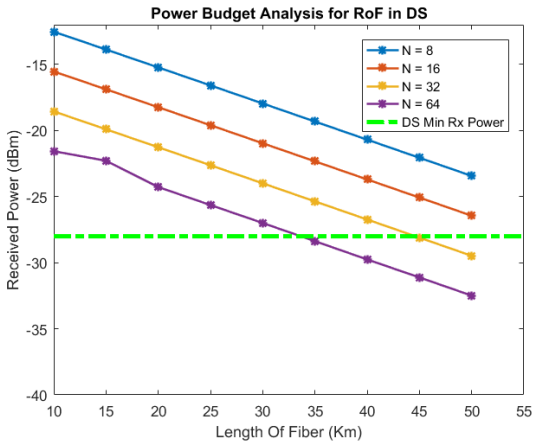
با توجه به جدول۱، توان لیزرهای فرستنده در جهات OLT و ONU را تنظیم می‌کنیم[۳]. نمای کلی شبکه برای حالت N = ۸ در نرم‌افزار Optisystem در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر جدول۱، توان ورودی از توان SRS (Stimulated Raman Scattering) پایین‌تر بوده و بنابراین اثر هم‌شنوایی تاثیر چندانی نداشته و هم‌چنین انتظار متاثر شدن از محدودیت DR (Dynamic Range) را نیز نداریم.

هم‌چنین سیستم کلی به‌صورت Thermal Noise Limited فرض شده است.



شکل۳: نمایش شبکه RoF در نرم افزار Optisystem

نتایج مربوط به شبیه‌سازی (در حالت DS) در نمودار شکل ۴ نشان داده شده‌است. با توجه به نتایج شکل۴، مقدار بیشینه طول فیبر مجاز در حالت N =۶۴، ۳۳Km است.




شکل۴: نمایش نتایج تحلیلی بودجه توان در جهت DS برای مقادیر مختلف N

در قدم دوم به‌منظور محاسبه تاخیر ناشی از این معماری مشترک، تاخیر مسیر توسط نرم‌افزار Optisystem برابر۴,۵ نانوثانیه محاسبه شد(حالت N =۶۴). با در نظر گرفتن طول موج ۱۵۵۰ nm برای انتقال سیگنال RoF، تاخیر گروه توسط رابطه ۱ محاسبه شده[۴] و تاخیر کلی سیگنال RoF مطابق رابطه ۲ برابر با ۰,۲۴ میلی‌ثانیه به‌دست می‌آید(مقدار پارامتر $N_{ge}$ برای فیبر نوع SMF-28e و در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر، برابر ۱,۴۶۸۲ است).

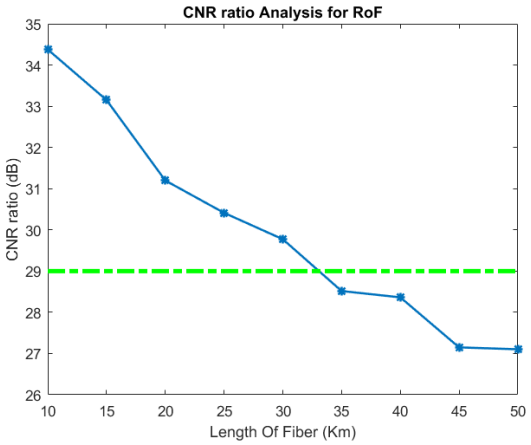
$$\tau_g = N_{ge}/c \qquad (۱)$$

$$Total\ delay = \tau_g + \tau_{Network} \qquad (۲)$$



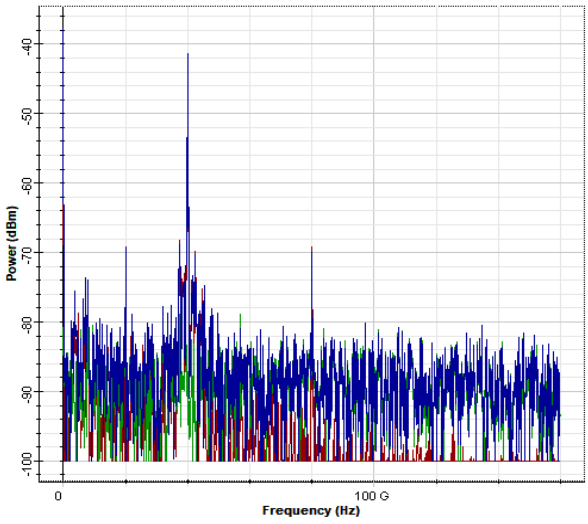
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05 ]

مقدار تاخیر محاسبه‌شده (۰,۲۴ ms) کمتر از بیشینه حد مجاز در استاندارد 5G یعنی ۱ میلی‌ثانیه بوده و بنابراین یکی از الزامات مهم فناوری 5G در این معماری مشترک برآورده شده است[۵].




شکل۵: محاسبه نسبت CNR به‌منظور طول حداکثر فیبر مجاز

تحلیل سوم و آخر، محاسبه نسبت حامل به نویز یا CNR سیگنال RoF است که با استفاده از نرم‌افزار Optisystem وبرای حالت N = ۶۴ محاسبه شده است. باتوجه به نمودار شکل۵، حداکثر طول فیبر مجاز در این ساختار برای یک CNR متناسب، تقریبا برابر ۳۳Km است.




شکل۶: طیف سیگنال RoF خروجی در فرکانس ۲۰GHz

طیف خروجی سیگنال RoF دریافتی در مقصد با فرکانس ۲۰GHz، حاکی از انتقال بدون نویز و تداخل و با توان مناسب در سیستم شبیه‌سازی شده است(شکل۶).

## نتیجه‌گیری

دراین مقاله به‌منظور تحقق هم‌گرایی شبکه‌های ثابت و سیار مخابراتی، معماری مشترک شبکه‌های XGPON و 5G پیشنهادی توسط ITU در نرم‌افزار Optisystem شبیه‌سازی گردید. باهدف تعیین بیشینه طول مجاز فیبرنوری قابل استفاده در این ساختار، سه تحلیل بودجه توان، تاخیر و محاسبه‌ی نسبت حامل به نویز انجام شد. بیشینه طول فیبر مجاز قابل به اشتراک‌گذاری که از نتایج دوتحلیل بودجه توان و تحلیل CNR به‌دست آمده است، کاملا برهم منطبق بوده و بنابراین با اشتراک نتایج حاصله از دو تحلیل ذکر شده، طول مجاز فیبرنوری قابل استفاده در بستر ODN این ساختار مشترک برابر با ۳۳ کیلومتر به دست می‌آید. با توجه به اینکه حداکثر فاصله ی تفاضلی و همچنین فاصله منطقی مابین OLT و ONU در استاندارد XGPON به ترتیب برابر با ۲۰Km و ۶۰Km است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این ساختار پیشنهادی و شبیه‌سازی شده کاملا منطبق بر استانداردها و الزامات دوفناوری XGPON و 5G بوده و از نقطه‌نظر عملی کاملا قابل پیاده‌سازی می‌باشد.

## مرجع‌ها

[1] P. Chakrabarti, *Optical Fiber Communication*. McGraw-Hill Education, 2015.
[2] *5G Wireless fronthaul requirements in a PON context*, ITU-T, 2019.
[3] *G.987.2:10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)*, ITU, 2016.
[4] J. M. Senior and M. Y. Jamro, *Optical fiber communications: principles and practice*. Pearson Education, 2009.
[5] *5G Radio Access- Capabilities and Technologies*, W. Paper, 2016.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05 ]