

سوال (۱) با توجه به فناوری‌های ارتباطی مختلف LPWAN، جدول زیر را تکمیل کنید.

	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	Ingenu	Telesna
Band	sub-GHz ISM bands	sub-GHz ISM bands	LTE and GSM bands	2.4 GHz	sub-GHz ISM bands
Data Rate	290 bps-50 kbps	100 bps	200 kbps	624 kbps	<100 bps
Range	2-15 km	3-50 km	1-10 km	4 km	2-4 km
Number of Channels	10 in EU	360	-	-	-
MAC	ALOHA	ALOHA	LTE	RPMA-DSSS	-
Topology	Star of stars	Star	Star	Star	Star
Adaptive Data Rate	Yes	No	No	No	No
Payload Length	243 bytes	12 bytes (UL) & 8 bytes (DL)	1600 bytes	16 bytes	-
Handover	No	No	Yes	Yes	Yes
Authentication/Encryption	Yes (AES 128b)	Not Supported	Yes (LTE encryption)	Yes (AES Encryption)	-
Over The Air Update	Yes	No	Yes	Yes	No
Battery Life	Very High	Very High	Medium	Very High	Very High
Bi-Directional	Yes/Half-duplex	Limited-Half-duplex	Yes/Half-duplex	Yes	Yes

سوال (۲) تأثیر فاکتور گسترش و پهنای باند و نرخ کدگذاری را بر زمان ارسال یک بسته، نرخ ارسال، مصرف انرژی و برد ارتباطی در شبکه LoRaWAN، به‌طور کامل شرح دهید.

با افزایش فاکتور گسترش، زمان ارسال یک بسته افزایش پیدا می‌کند (تقریباً دوبرابر می‌شود) زیرا زمان بیشتری برای جاروب کردن بازه فرکانسی نیاز است. در نتیجه نرخ ارسال کاهش پیدا می‌کند (هرچند تعداد بیت بیشتری با یک سیگنال ارسال می‌شود). نتیجه دیگر افزایش فاکتور گسترش، افزایش برد مفید سیگنال است و حتی با وجود نویزهای زیاد می‌توان سیگنال اصلی را در مقصد دریافت کرد. زمان روی هوا نیز افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه آن مصرف انرژی نیز بیشتر می‌شود.

با افزایش پهنای باند، نرخ ارسال داده افزایش می‌یابد زیرا تعداد بیت‌های بیشتری را می‌توان با همان سیگنال ارسال کرد.

با افزایش نرخ کدگذاری، نرخ ارسال نیز کاهش می‌یابد زیرا بیت‌های بیشتری صرف پروسه تصحیح خطا می‌شود. این افزایش باعث افزایش زمان ارسال یک بسته نیز می‌شود.

فرمول‌های زیر در این نتیجه‌گیری‌ها استفاده شده است:

- $T_S = \frac{2^{SF}}{BW}$
- $R_C = BW$
- $R_S = \frac{BW}{2^{SF}}$
- $R_b = SF \times \frac{BW}{2^{SF}}$
- $R_b = SF \times \frac{\lceil \frac{4+CR}{2^{SF}} \rceil}{\lceil \frac{BW}{2^{SF}} \rceil}$

**سوال ۳)** با توجه به کلاس‌های مختلف تعریف شده در فناوری LoRaWAN به دو سوال زیر پاسخ دهید:

- کلاس‌های A، B و C را از نظر downlink مقایسه کنید، و تحلیل کنید برای کاربردهایی که نیاز به ترافیک بالایی در downlink دارند (مثل نیاز به دریافت acknowledgment) کدام کلاس/کلاس‌ها مناسب‌تر هستند.

○ در کلاس A گره انتهایی فقط پس از ارسال یک پیام بازه کوتاهی را مشغول به گوش دادن می‌شود و آماده دریافت پیام می‌شود. این کلاس برای کاربردهایی که ترافیک downlink بالایی دارند مناسب نمی‌باشد.

○ در کلاس B از بسته‌هایی به نام bacon (پس از یک ارسال موفق از gateway برای end-node فرستاده می‌شود) برای هماهنگ کردن پنجره دریافت با گره انتهایی از gateway

استفاده می‌شود. این کلاس مناسب کاربردهایی که نیاز به ترافیک بالایی در **downlink** دارند، می‌باشد.

○ در کلاس C، ماژول به جز زمان هایی که در حال ارسال پیام است در حال گوش دادن می‌باشد. ای کلاس نیز مناسب کاربردهایی که نیاز به ترافیک بالایی در **downlink** دارند، می‌باشد ولی مصرف انرژی بسیار بالایی دارد.

• کلاس‌های A، B و C را از نظر مصرف انرژی مقایسه کنید.

○ کلاس A از نظر مصرف انرژی از دیگر کلاس‌ها به صرفه‌تر می‌باشد و برای ماژول‌های دارای باتری عالی می‌باشد.

○ توان مصرفی کلاس B بهینه‌سازی شده است و برای ماژول‌های دارای باتری مناسب است.

○ کلاس C پرمصرف‌ترین کلاس می‌باشد و برای ماژول‌های متصل به شبکه برق و یا بدون محدودیت مصرف انرژی مناسب می‌باشد.

**سوال ۴)** فرایند **Channel Hopping** را توضیح داده و شرح دهید که این فرایند در شبکه **LoRaWAN** چگونه انجام می‌شود.

در شبکه **LoRaWAN** بازه‌ی فرکانسی به کانال‌های کوچک‌تری تقسیم شده است و هر گره انتهایی برای هر بار ارسال از یکی از این کانال‌ها استفاده می‌کند. مکانیزم انتخاب کانال بعدی برای ارسال یک الگوریتم شبه-رندوم (**pseudo-random**) است و دو طرف با داشتن **seed** اولیه می‌توانند براحتی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. به زمانی که بر روی یک فرکانس مشخص داده ارسال می‌شود **Dwell time** و به زمانی که به تنظیم اوسیلاتور برای ارسال روی فرکانس بعدی اختصاص می‌یابد، **Hop time** گفته می‌شود.

**سوال ۹)** درباره پروژه **Connected Sheep** که در کشور نروژ اجرا شده است، تحقیق کنید و به سوال‌های زیر پاسخ دهید:

• اقدامات و اهداف این پروژه را به صورت مختصر توضیح دهید.

○ اپراتور تلفن همراه نروژی **Telia** و استارت‌آپ **Nortrace** با استفاده از **NB-IoT** در تابستان ۲۰۱۷ هزار گوسفند را در یکی از مناطق کوهستانی این کشور ردیابی کردند. به گفته **Telia**، این بزرگترین آزمایش **NB-IoT** در جهان خواهد بود.

• در این پروژه از کدام فناوری اینترنت اشیا استفاده می‌شود؟ به نظر شما علت این انتخاب چیست؟

○ در این پروژه از **NB-IoT** استفاده می‌شود. این فناوری پروژه‌های اینترنت اشیا را با پوشش بهتر و هزینه‌های کمتر در مقایسه با فناوری‌های سنتی موبایل ارائه می‌کند. **NB-IoT** همچنین امکان

عمر باتری بسیار طولانی تر را برای دستگاه‌های متصل (بیش از ۱۰ سال) فراهم می‌کند، زیرا آنها نه همیشه بلکه فقط گهگاهی ارتباط برقرار می‌کنند.

**سوال (۱۱) NB-IoT** در نسخه ۱۴ خود پشتیبانی از سرویس‌های multicast را ارائه داد. دو مورد از مزایای این ویژگی را توضیح دهید.

- این ویژگی توزیع کارآمد نرم‌افزار و به‌روزرسانی‌ها یا دستورات را به یکباره در گروه بزرگی از نودهای شبکه امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، مدیریت و نگهداری مقادیر زیادی از نودهای اینترنت اشیا را که همگی یک نرم‌افزار را اجرا می‌کنند و وظایف یکسانی را انجام می‌دهند، ساده می‌کند.
- همه نودهای اینترنت اشیا که محتوای یکسانی را دریافت می‌کنند بلافاصله منابع شبکه را ذخیره می‌کنند (قبلاً یک‌به‌یک و در حالت unicast ارسال می‌شدند). حال، این ویژگی کنترل همزمان نودهایی مانند چراغ‌های خیابان را امکان‌پذیر می‌کند.

**سوال (۱۲)**

- درباره‌ی تخمین کانال تحقیق کنید و ارتباط آن را با error correction به اختصار توضیح دهید.
  - یکی از بخش‌های کانال بی‌سیم تلفن همراه، تخمین کانال است. این روش باعث بهبود قابل توجه عملکرد سیستم (به‌ویژه برای سیستم‌های 4G و LTE) می‌شود. تخمین کانال با تخمین پاسخ فرکانس کانال متغیر با زمان برای نمادهای OFDM انجام می‌شود.
- با توجه به نیازمندی‌های شبکه‌های IoT، به نظر شما چرا این شبکه‌ها نمی‌توانند تخمین کانال را با دقت بالا انجام دهند؟
  - متدهای تخمین کانال موجود که به طور گسترده در OFDM مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل پیچیدگی محاسباتی قابل توجه و مصرف انرژی، قابل استفاده در شبکه‌های IoT نیستند.

**سوال (۱۳)**

- درباره‌ی Semi-Persistent scheduling در NB-IoT تحقیق کنید و آن را توضیح دهید.
  - برای بهتر پشتیبانی کردن از پیام‌های صوتی در موارد استفاده مربوطه، در نسخه ۱۵، ویژگی SPS معرفی شده است. به طور کلی، SPS از زمان‌بندی مداوم برای ارسال‌های اولیه و زمان‌بندی پویا برای ارسال‌های مجدد تشکیل شده است. ایستگاه اصلی منابع خاصی را برای پیام‌های صوتی NB-IoT با فاصله زمانی مشخص اختصاص می‌دهد تا از سربرار control plane کم شود و در نتیجه استفاده از منابع رادیویی بهینه شود.

- ویژگی Semi-Persistent scheduling در کدام لایه از شبکه پیاده‌سازی می‌شود؟ چرا؟
  - در MAC layer پیاده‌سازی می‌شوند. از آنجایی که این لایه دقیقاً بالای لایه فیزیکی قرار دارد و وظیفه این لایه مدیریت مدیا است، پس برنامه‌ریزی نیز در آن انجام می‌شود.