



Department of  
Computer Engineering

به نام خدا



Amirkabir University of Technology  
(Tehran Polytechnic)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
دانشکده مهندسی کامپیوتر  
مبانی اینترنت اشیا

گزارش بخش‌های تئوری تمرین سری سوم

نام و نام خانوادگی	محمدعلی کشت پرور
شماره دانشجویی	۹۷۳۴۰۲۲

## فهرست گزارش سوالات

- سوال ۱ - نصب شبیه ساز ..... ۳
- سوال ۲ - پارامترهای شبیه ساز ..... ۴
- سوال ۳ - اجرای شبیه سازی پیش فرض ..... ۶
- سوال ۴ - تمایز محیط شهری و غیرشهری ..... ۸
- سوال ۵ - رسم نمودار ..... ۹
- سوال ۶ - بررسی نتایج نمودار ..... ۱۱
- سوال ۷ - ADR ..... ۱۲
- سوال ۸ - تداخل در LoRaWAN ..... ۱۳
- سوال ۹ - معایب و مزایای Sigfox ..... ۱۳
- سوال ۱۰ - امنیت شبکه Sigfox ..... ۱۳
- سوال ۱۱ - Sigfox protocol stack ..... ۱۳
- سوال ۱۲ - UNB ..... ۱۳
- سوال ۱۳ - LoRaWAN و Sigfox در دوچرخه هوشمند ..... ۱۸
- سوال ۱۴ - paging cycle در شبکه های سلولی ..... ۱۹
- سوال ۱۵ - روش های دسترسی single و multi carrier ..... ۲۰
- سوال ۱۶ - جزییات NB-IoT ..... ۲۲

## سوال ۱ - نصب شبیه ساز

با اجرای دستور omnetpp می توان مشاهده کرد که شبیه ساز با موفقیت نصب شده است.

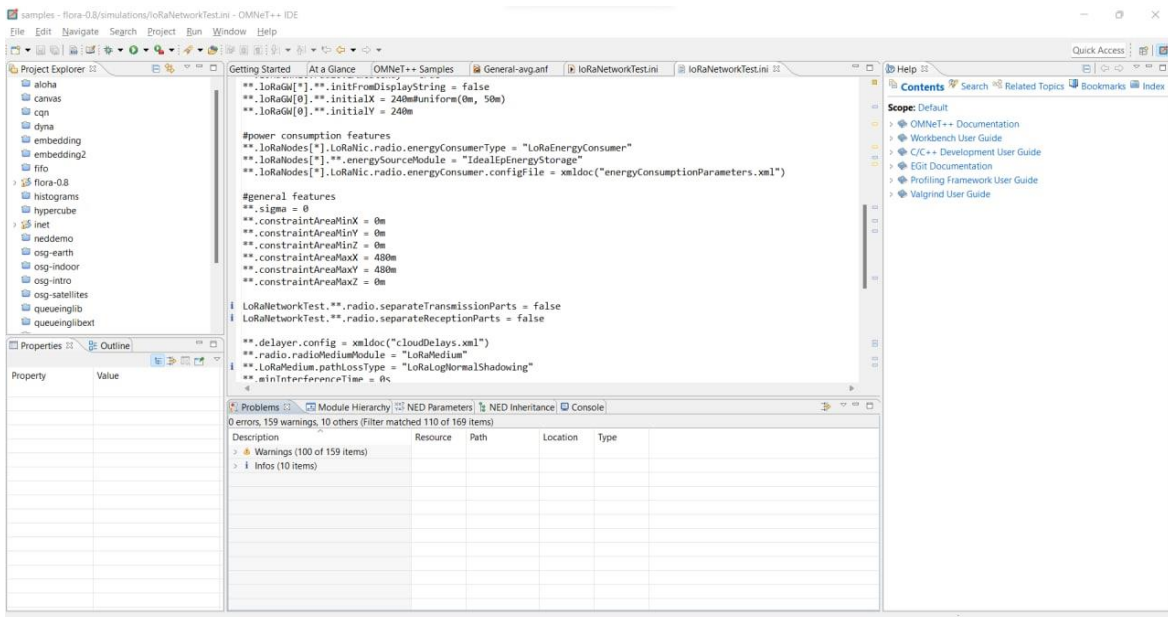
### Select a directory as workspace

OMNeT++ IDE uses the workspace directory to store its preferences and development artifacts.

Workspace:

☐ Use this as the default and do not ask again

► Recent Workspaces



## سوال ۲ - پارامترهای شبیه ساز

تعداد گیت وی های شبکه	numberOfGateway
تعداد برنامه هایی که در هر گیت وی از پروتکل UDP استفاده می کنند	loRaGW[0].numUdpApps
پورت های لوکال برای packet forwarder هر گیت وی مشخص می کند	loRaGW[0].packetForwarder.localPort
پورت های مقصد برای packet forwarder هر گیت وی مشخص می کند .	loRaGW[0].packetForwarder.destPort
آدرس مقصد را برای Packet Forwarder گیت وی مشخص می کند که مقدار دیفالت آن networkServer است.	loRaGW[n].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
تعداد برنامه هایی موجود در سرور شبکه که از پروتکل UDT استفاده می کنند .	networkServer.numUdpApps = 1
شماره اندیس گیت وی شماره n را تعیین می کند.	loRaGW[n].packetForwarder.indexNumber
تعداد برنامه هایی موجود در سرور شبکه که از پروتکل UDT استفاده می کنند .	networkServer.**.evaluateADRIinServer
نوع سرور و آدرس گیت وی پورت مبدا ، پورت لوکال و روش Adaptive Data Rate را تعیین می کند	networkServer.udpApp[0].typename networkServer.udpApp[0].destAddresses networkServer.udpApp[0].destPort networkServer.udpApp[0].localPort networkServer.udpApp[0].adrMethod
تعداد گره های شبکه را نشان می دهد	numberOfNodes = 10
تعداد بسته هایی که باید ارسال شود را نشان می دهد . عدد صفر نشان دهنده بی نهایت است.	numberOfPacketsToSend = 0
محدودیت زمانی مورد نیاز برای warmup و رزولوشن زمان شبیه سازی را تعیین می کنند.	sim-time-limit = 7d warmup-period = 1d simtime-resolution = -11
زمان مورد نیاز برای ارسال بسته اول و زمان بین دو بسته را تعیین می کند.	timeToFirstPacket = exponential(100s) timeToNextPacket = exponential(100s)
مشخص می کند که آیا شبکه به صورت Aloha است یا خیر	alohaChannelModel = false
در interface گیت وی مشخص می کند که آیا این نود گیت وی است یا خیر	LoRaGWNic.radio.iAmGateway
مختصات گیت وی را در صفحه مشخص می کند.	loRaGW[0]**.initialX loRaGW[0]**.initialY

نوع تامین کننده انرژی را برای همه نودها تنظیم می کند. در این شبیه سازی روی LoRaEnergyConsumer قرار میگیرد.	<b>loRaNodes[*].LoRaNic radio.energyConsumerType</b>
نوع منبع انرژی را برای همه نود ها مشخص می کند. در این شبیه سازی روی منبع انرژی ایده آل قرار میگیرد.	<b>loRaNodes[*]**.energySourceModule</b>
ویژگی های زیر را در هر نود مشخص میکند: شروع از صفحه نمایش باشد یا خیر، آیا هر نود ADR دارد یا خیر، بازه Spreading Factor، پهنای باند، Coding Rate، قدرت ارسال dBm	<b>loRaNodes[*]**.initFromDisplayString loRaNodes[*]**.evaluateADRinNode loRaNodes[*]**.initialLoRaSF loRaNodes[*]**.initialLoRaBW loRaNodes[*]**.initialLoRaCR loRaNodes[*]**.initialLoRaTP</b>
مختصات هر نود را نگهداری می کند. در این بخش برای هر نود یک موقعیت تصادفی در صفحه ساخته می شود.	<b>.**loRaNodes[*]**.initialX **.loRaNodes[*]**.initialY</b>
محدودیت هایی را روی صفحه نمایش قرار می دهد که تعیین می کند که حداقل و حداکثر طول و عرض صفحه چقدر باشد.	<b>sigma constraintAreaMinX constraintAreaMinY constraintAreaMinZ constraintAreaMaxX constraintAreaMaxY constraintAreaMaxZ</b>
مشخص کننده این است که داده های ارسالی یا دریافتی رادیویی به قطعات تقسیم شوند یا خیر.	<b>LoRaNetworkTest.**.radio .separateTransmissionParts LoRaNetworkTest.**.radio .separateReceptionParts</b>
نوع ماژول میانی را تعیین می کند	<b>radio.radioMediumModule = "LoRaMedium"</b>
نوع مدل سازی افت مسیر را تعیین می کند.	<b>LoRaMedium.pathLossType</b>

### سوال ۳ - اجرای شبیه سازی پیش فرض

Module	Name	value
LoRaNetworkTest.loRaNodes[0].SimpleLoRaApp	sendPackets	3476
LoRaNetworkTest.loRaNodes[1].SimpleLoRaApp	sendPackets	3501
LoRaNetworkTest.loRaNodes[2].SimpleLoRaApp	sendPackets	4824
LoRaNetworkTest.loRaNodes[3].SimpleLoRaApp	sendPackets	4561
LoRaNetworkTest.loRaNodes[4].SimpleLoRaApp	sendPackets	4543
LoRaNetworkTest.loRaNodes[5].SimpleLoRaApp	sendPackets	1883
LoRaNetworkTest.loRaNodes[6].SimpleLoRaApp	sendPackets	4098
LoRaNetworkTest.loRaNodes[7].SimpleLoRaApp	sendPackets	1898
LoRaNetworkTest.loRaNodes[8].SimpleLoRaApp	sendPackets	4500
LoRaNetworkTest.loRaNodes[9].SimpleLoRaApp	sendPackets	4084

تعداد بسته های ارسالی برای هر نود

Module	Name	value
LoRaNetworkTest.loRaNodes[0].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	419.98
LoRaNetworkTest.loRaNodes[1].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	429.27
LoRaNetworkTest.loRaNodes[2].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	398.73
LoRaNetworkTest.loRaNodes[3].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	403.49
LoRaNetworkTest.loRaNodes[4].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	402.31
LoRaNetworkTest.loRaNodes[5].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	539.81
LoRaNetworkTest.loRaNodes[6].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	401.12
LoRaNetworkTest.loRaNodes[7].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	542.59
LoRaNetworkTest.loRaNodes[8].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	399.07
LoRaNetworkTest.loRaNodes[9].SimpleLoRaApp	totalEnergyConsume	404.56

انرژی مصرفی هر گره

Module	Name	value
LoRaNetworkTest.loRaGW[0].packetForwarder	LoRa_GWPacketReceived:count	7208

تعداد بسته های دریافت شده در گیت وی

Module	Name	value
LoRaNetworkTest.network.udpApp[0]	totalReceivedPacket	7208

تعداد بسته های دریافت شده در سرور شبکه

## سوال ۴ - تمایز محیط شهری و غیرشهری

از رابطه زیر استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن می پردازیم .

$$PL(d) = \overline{PL(d_0)} + 10\eta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

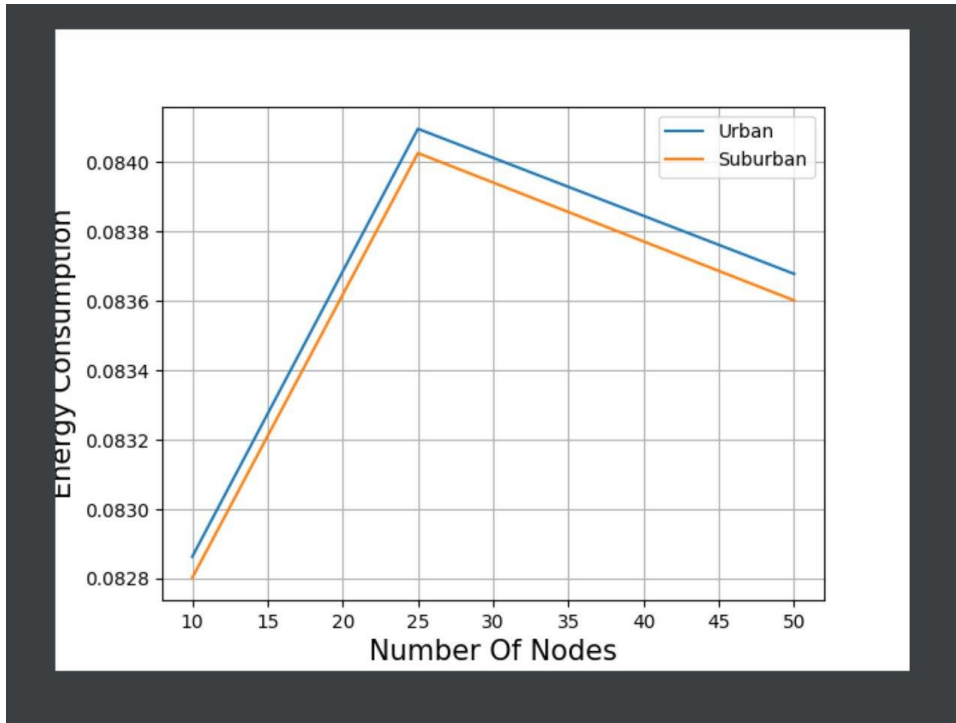
- در این رابطه PL همان افت مسیر می باشد.  $\overline{PL(d)}$  میانگین تضعیف مسیر در فاصله مرجع  $d_0$  و  $\eta$  توان افت مسیر است. این مقدار در محیط شهری ۱۲۷.۴۱ و در محیط غیرشهری ۱۲۸.۹۵ می باشد.
- $X_\sigma$  یک متغیر تصادفی گاوسی با میانگین صفر و انحراف معیار  $\sigma$  می باشد.
- که پارامتر  $d_0$  برحسب متر است که نشان دهنده فاصله بین فرستنده و گیرنده می باشد. که در محیط شهری ۴۰ متر و در محیط غیرشهری ۱۰۰۰ متر مقدار دهی شده است .
- اندازه محیط در شهر ۴۸۰ \* ۴۸۰ و در محیط غیرشهری ۹۸۰۰ \* ۹۸۰۰ متر مربع شبیه سازی شده است.
- در مقاله دو سناریو به همراه مقادیر پارامترها مطابق جدول زیر آمده است .

TABLE I  
PARAMETERS OF PATH LOSS MODEL

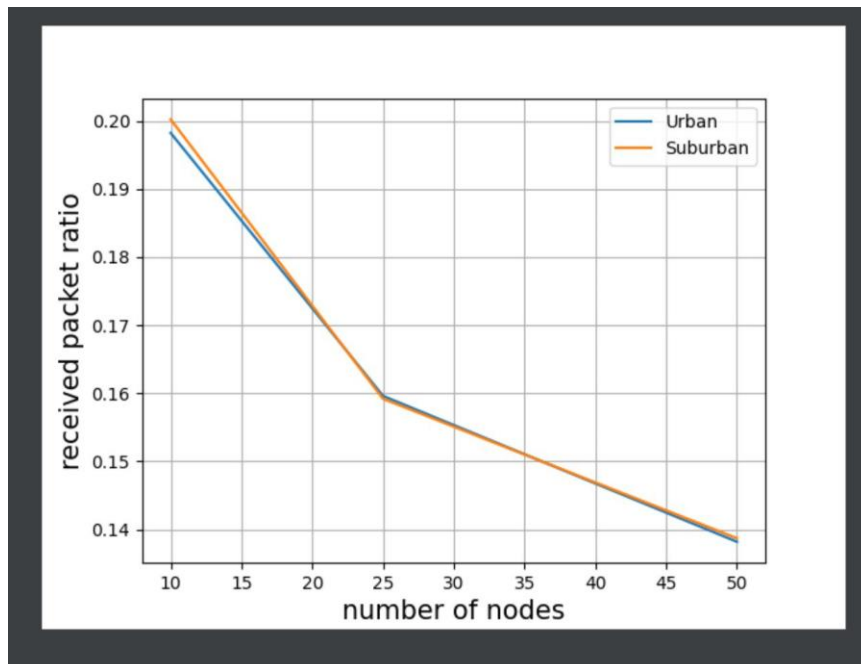
Scenario	$d_0[m]$	$\overline{PL}(d_0)$	$\eta$	$\sigma[dB]$		
				Ideal	Moderate	Typical
Sub-urban	1000	128.95	2.32	0	3.540	7.08
Urban	40	127.41	2.08	0	1.785	3.57



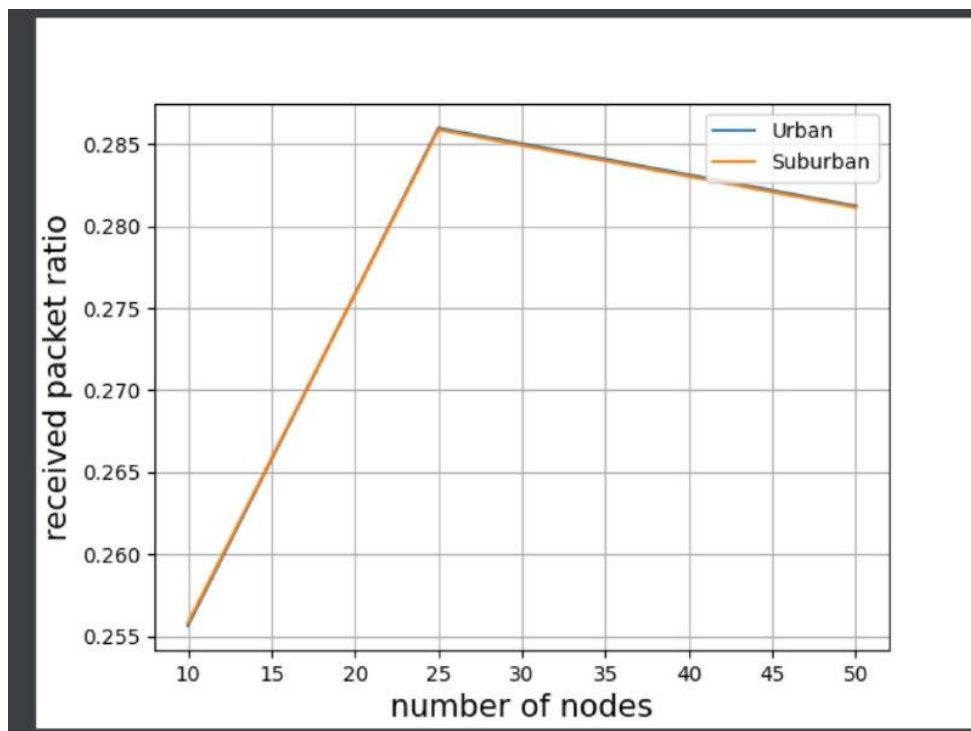
## سوال ۵ - رسم نمودار



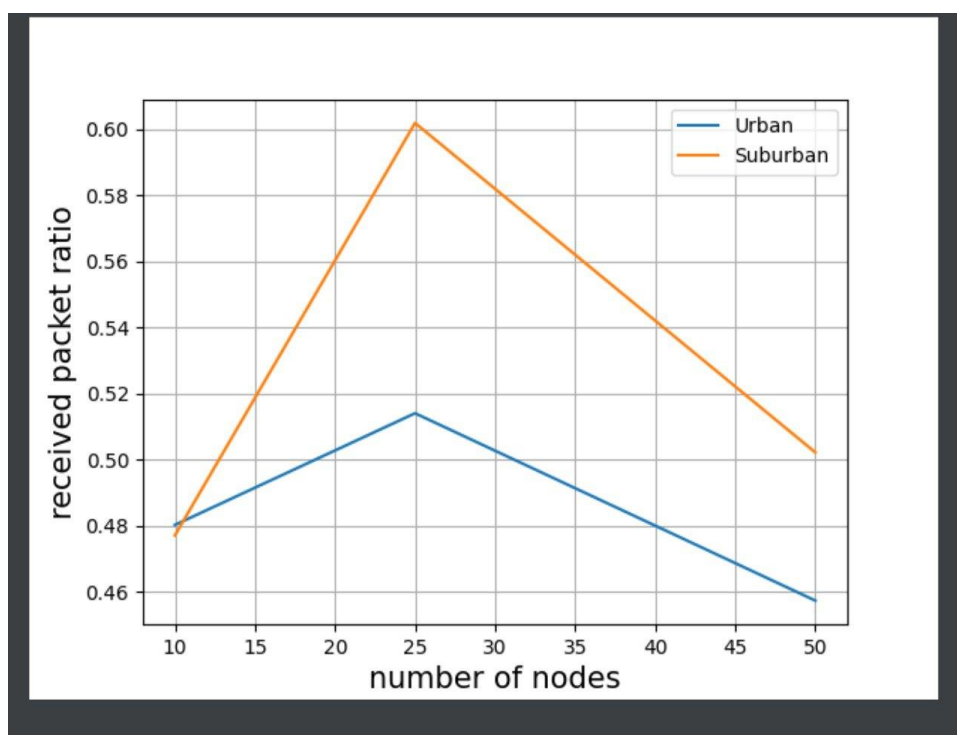
Spreading factor = 7(energy)



Spreading Factor = 7



Spreading Factor = 12



Spreading Factor = 12

به منظور مقایسه بهتر در هر شکل نمودار شهری و غیرشهری یک SF رسم شده است .

## سوال ۶ - بررسی نتایج نمودار

با توجه به نمودار های سوال قبل نرخ بسته های دریافتی در  $SF=7$  در محیط های شهری و غیرشهری تقریباً مثل هم و با افزایش تعداد گره ها کاهش می یابد. چون با افزایش تعداد گره ها احتمال تداخل و از بین رفتن بسته ها بیشتر است. ولی در  $SF = 12$  با افزایش تعداد گره ها ابتدا نرخ بسته دریافتی افزایش می یابد و سپس روند نزولی در پیش می گیرد. همچنین در  $SF=12$  در محیط های شهری و غیرشهری نرخ بسته های دریافتی با هم متفاوت است. در محیط های غیرشهری به دلیل کم بودن موانع، نرخ دریافت بیشتر می شود. در  $SF=12$  همواره نرخ دریافت بسته ها بیشتر از زمانی است که  $SF=7$  می باشد. دلیل آن این است که با افزایش مقدار  $SF$ ، رنج بیشتری پوشش داده می شود و از دستگاه های بیشتری داده دریافت می شود.

در هر دو  $SF$  مقدار انرژی مصرفی ابتدا با افزایش تعداد گره ها افزایش یافته و سپس روند کاهشی در پیش می گیرد.

از طرفی با افزایش  $SF$  مقدار انرژی مصرفی نیز افزایش می یابد. این مورد را می توان اینگونه تحلیل کرد با افزایش  $SF$  تعداد دستگاه افزایش می یابد و نرخ دریافت بسته ها بیشتر می شود که موجب افزایش مصرف انرژی می شود. از طرفی با افزایش  $SF$  تضعیف بیشتر می شود و این امر نیز موجب افزایش انرژی مصرفی می شود.

در  $SF = 7$  مقدار انرژی مصرفی در محیط شهری بیشتر از محیط غیرشهری است که به دلیل ایجاد تداخل و تضعیف سیگنال در این محیط نسبت به محیط غیرشهری حاصل شده است. در  $SF = 12$  مقدار انرژی مصرفی در دو محیط تقریباً یکسان است.

هر چقدر فاکتور گسترش بیشتر باشد، زمان ارسال یک بسته بیشتر می شود و نرخ ارسال کمتر می شود و  $Air\ on\ Time$  بیشتر می شود و مصرف انرژی بیشتر میشود چون با طولانی تر شدن مدت زمان ارسال بسته، باید انرژی بیشتری صرف کرد تا بسته به مقصد برسد. هر چقدر هم فاکتور گسترش بیشتر شود، برد ارتباطی در شبکه نیز افزایش می یابد.

## سوال ۷ – ADR

مکانیزم Adaptive data rate باید توسط end-node فعال شوند. نود نهایی برای فعال کردن این مکانیزم flag ADR در هدر پیام uplink را ۱ قرار می دهد، سپس network server می تواند پارامترهای ارسال نود نهایی را کنترل کند. پارامترهای ارسال که network server کنترل می کند شامل پارامترهای زیر است:

(۱) Spreading Factor

(۲) پهنای باند

(۳) Transmission power

ADR می تواند مصرف انرژی نود را بهینه کند و در عین حال اطمینان حاصل کند که پیام ها همچنان در gateway دریافت می شوند. هنگامی که ADR در حال استفاده است، سرور شبکه به نود نشان می دهد که باید توان انتقال را کاهش دهد یا سرعت انتقال داده را افزایش دهد. دستگاه های انتهایی که نزدیک به gateway هستند باید از SF کمتر و نرخ داده بالاتر استفاده کنند، در حالی که دستگاه های دورتر باید از SF بالاتر استفاده کنند زیرا به budget link بزرگتری نیاز دارند.

هر زمان که یک دستگاه نهایی دارای شرایط فرکانس رادیویی به اندازه کافی پایداری باشد، ADR باید فعال شود. این بدان معنی است که به طور کلی می توان آن را برای نودهای استاتیک فعال کرد. اگر نود استاتیک بتواند تعیین کند که شرایط فرکانس رادیویی ناپایدار است ADR باید (به طور موقت) غیرفعال شود.

## سوال ۸ - تداخل در LoRaWAN

چنانچه در شبکه LoRaWAN دو بسته با SF یکسان ، فرکانس مشابه و همزمان ارسال شوند آنگاه در سمت گیرنده که همان گیت وی است ؛ دو سیگنال ارسال شده با یک دیگر تداخل می کنند و collision رخ می دهد. در نتیجه در شبکه LoRaWAN دو پکت نباید همزمان با SF و فرکانس یکسان ارسال شوند . با برقرار کردن شرایط زیر می توان با وجود collision به درستی سیگنال ها را دیمائوله کرد .

(۱) چنانچه از یک کانال فرکانسی می شود باید از SF های مختلف برای ارسال همزمان استفاده کرد. LoRaWAN این امکان را ایجاد کرده است که از  $SF = 7$  تا  $SF = 12$  می توان استفاده کرد.

(۲) یکی از سیگنال ها حداقل 6db با سیگنال دیگر اختلاف داشته باشد.

(۳) برای ارسال همزمان می توان از کانال های فرکانسی مختلف استفاده کرد که از تداخل جلوگیری می کند.

## سوال ۹ – مزایای و معایب Sigfox

مزایا :

- (۱) طراحی آنتن های Sigfox هزینه کمی دارد
- (۲) این فناوری از الگوریتم های پردازش سیگنال برای محافظت در برابر انواع تداخل مختلف استفاده می کند.
- (۳) به دلیل link budget مناسبی که دارد پوشش بیشتری دارد.
- (۴) پروتکل رادیویی برای برقراری ارتباط با شبکه به ارتباط دو طرفه نیاز ندارد، که این فناوری را برای برنامه‌هایی که از نظر ایمنی حیاتی نیستند مؤثرتر و کارآمدتر می‌کند.

معایب :

- (۱) پروتکل رادیویی همچنین در یک طیف بدون مجوز کار می کند که ممکن است آن را برای برنامه های خاص که نیاز به کنترل بر طیف رادیویی مورد استفاده دارند ایده آل نباشد.
- (۲) هیچ ارتباط دو طرفه ای وجود ندارد، یعنی پیام ها تایید نمی شوند.
- (۳) تعداد پیام های قابل ارسال در uplink در روز حداکثر ۱۴۰ پیام است.
- (۴) تعداد پیام های قابل دریافت Downlink در روز حداکثر ۴ پیام میباشد

## سوال ۱۰ - امنیت شبکه Sigfox

(۱) Sigfox : Firewall دارای یک فایروال داخلی است که اشیاء IoT را برای اتصال یا ارتباط با استفاده از پروتکل اینترنت محدود می کند. برای برقراری ارتباط از طریق اینترنت، یک نود یک پیام رادیویی ارسال می کند که توسط Access Node موجود دریافت می شود. سپس Access Node پیام را به سیستم پشتیبانی Sigfox ارسال می کند که به نوبه خود آن را به مقصد مشخص شده ارسال می کند. سیستم پشتیبانی Sigfox نیز پاسخ را از طریق ایستگاه های پایه به نود فرستنده منتقل می کند. بنابراین فایروال امنیتی دستگاه های IoT را از حملات مرتبط با اینترنت ایمن می کند.

(۲) امنیت داده ها : معماری Sigfox مکانیزم امنیتی را فراهم می کند که احراز هویت امن داده ها و اجتناب از پخش مجدد را تضمین می کند. همچنین مکانیزم ضد شنود اضافی را فراهم می کند. زنجیره IoT Sigfox شامل کلیدهای احراز هویت ذخیره شده است که توسط دستگاه ها و مشتری ذخیره می شود، این کلید برای دسترسی به داده های ذخیره شده توسط سیستم Sigfox مورد نیاز است. در نتیجه، مکانیسم های داده Sigfox امنیت را در اکوسیستم متنوع و مقررات محلی مختلف تضمین می کند. کلید احراز هویت برای هر دستگاه منحصر به فرد است به این معنی که در معرض خطر قرار گرفتن کلید امنیتی احراز هویت دستگاه، امنیت دستگاه های دیگر را تحت تأثیر قرار نمی دهد. با این حال، امنیت هر دستگاه به صلاحدید سازنده واگذار می شود.

(۳) Anti-replay : هر پیام ارسال شده در بستر Sigfox شامل یک sequence number می باشد که صحت آن توسط هسته شبکه Sigfox تایید می شود و این مورد باعث می شود حملات امنیتی برای شنود بسته ها و attack replay ها شناسایی شوند. و صحت sequence number توسط توکن هویتی موجود در پیام تایید می شود.

## سوال ۱۱ – Sigfox protocol stack



- ۱) Physical layer : ترکیب کردن و ماژولاسیون سیگنال ها را به روش DBPSK در هنگام Uplink و به روش GFSK در هنگام Downlink انجام می دهد. Sigfox از تکنولوژی Ultra narrow band استفاده می کند که باعث می شود از پهنای باند ۱۰۰ گیگا هرتز استفاده شود و باعث می شود نرخ انتقال داده کمتر از بقیه پروتکل های LPWAN ها باشد. همچنین ارتباطات نیز از نوع-half duplex است و دستگاه ها در زمان های خاصی می تواند داده دریافت کند که میزان بسته های ارسالی و دریافتی نیز محدودیت دارد.
- ۲) MAC : فیلدهایی را برای شناسایی و احراز هویت دستگاه (HMAC) و کد تصحیح خطا (CRC) اضافه می کند. Sigfox MAC هیچ سیگنالی ارائه نمی دهد که باعث می شود دستگاه ها با شبکه همگام نباشند. هر دستگاه در شبکه Sigfox آیدی مربوط به خود را دارد که این مورد باعث می شود احراز هویت پیام و مسیریابی به درستی انجام پذیرد. همچنین به دلیل محدودیت دریافت Ack برای افزایش قابلیت اطمینان هر نود پیام را در سه کانال فرکانسی مختلف ارسال میکند که هر کدام توسط همه گیت وی های موجود در محدوده پوشش دریافت می شود.
- ۳) Frame : با استفاده از دیتاهای لایه اپلیکیشن radio frame را به وجود می آورد و Sequence Number را به فریم اضافه می کند.
- ۴) Application : کارهای مربوط به رمزنگاری توسط کاربر و دیگر امور مربوط به ارتباط با کاربر در این لایه انجام می شود.



## سوال ۱۲ – UNB

باند بسیار باریک (UNB)، که فناوری ارتباطی انتخاب شده توسط Sigfox است، امکان انتقال اطلاعات را از طریق سیگنال هایی که پهنای باند آنها بسیار محدود است، را فراهم می کند. که این مورد باعث کاهش نویز و تداخل بین سیگنال ها می شود و به دلیل نویز کمتر سیگنال در گیرنده با حساسیت بیشتری همراه است. از طرفی محدود بودن پهنای باند نرخ انتقال داده نیز خیلی کمتر از دیگر LPWAN ها می باشد. به دلیل محدودیت عدم دقت در دستگاه های الکترونیکی، انتقال سیگنال های UNB در کانال های متعامد غیرممکن است. بنابراین دسترسی رادیویی طبیعی برای این نوع سیستم به صورت تصادفی ALOHA در هر دو حوزه زمان و فرکانس است. این دسترسی تصادفی می تواند باعث برخوردهایی شود که عملکرد شبکه را کاهش می دهد. مدولاسیون باند Ultra-Narrow است. هر پیام ۱۰۰ هرتز عرض دارد و با نرخ داده ۱۰۰ یا ۶۰۰ بیت در ثانیه بسته به منطقه منتقل می شود.

ایستگاه های پایه Sigfox طیف کامل ۱۹۲ کیلوهرتز را رصد می کنند و به دنبال سیگنال های UNB می گردند تا آن ها را دمولاسیون کنند.

مزایای استفاده از UNB :

- مصرف کم انرژی،
- استفاده بهینه از پهنای باند،
- کم بودن سربار،
- استفاده از فرکانس های بدون لایسنس

## سوال ۱۳- LoRaWAN و Sigfox در دوچرخه هوشمند

- (۱) یکی از معایب پروتکل LoRaWAN و Sigfox نسبت به NB-IoT این است که نرخ انتقال داده کم تری دارد و سرعت انتقال دیتا کمتر می باشد و تاخیر بیشتری داریم این مورد برای دوچرخه های هوشمند که نیاز دارند دائما مکانشان به روزرسانی شوند یک عیب محسوب می شود .
- (۲) حساسیت به تداخل: پروتکل های Sigfox و LoRaWAN که با باندهای فرکانس بدون مجوز کار می کنند ، نسبت به فناوری هایی از فرکانس های لایسنس دار استفاده می کند بیشتر مستعد تداخل هستند. این مورد نیز برای کاربرد دوچرخه هوشمند یک ایراد محسوب می شود .
- (۳) از معایب پروتکل Sigfox نسبت به NB-IoT این است که تعداد نود های زیادی را پوشش دهد و خیلی Scalable نیست از طرفی در کاربرد دوچرخه هوشمند نیاز داریم تعداد زیادی دوچرخه را به شبکه متصل کنیم .
- (۴) محدودیت ارسال داده در Sigfox و تعداد کم پیام هایی که می تواند در طول روز ارسال کند موجب می شود این پروتکل برای کاربرد دوچرخه هوشمند که نیاز به ارسال و دریافت اطلاعات زیادی است ؛ مناسب نباشد .

## سوال ۱۴ – paging cycle در شبکه های سلولی

paging مکانیزمی برای راه اندازی خدمات برای UE هایی است که در حالت بیکار هستند. انتقال حالت بیکار برای حفظ باتری UE ها مهم است. اگر یک UE در حالت متصل باشد و هیچ داده ای برای ارسال یا دریافت نداشته باشد، eNB منتظر یک تایمر خاص (UE Inactivity Timer) می ماند و زمانی که آن تایمر منقضی شد، eNB UE را به حالت بیکار می فرستد. این کار با ارسال یک پیام RRC Release به UE انجام می شود.

Paging cycle : مقداری است که پس از آن UE از حالت غیرفعال برای خواندن پیام های paging بیدار می شود. معمولاً روی ۱۲۸۰ ms یا ۱۲۸ فریم تنظیم می شود. این بدان معناست که اگر یک UE در فریم شماره ۳ بیدار شود، دوباره در فریم شماره ۱۳۱ (پس از ۱۲۸ فریم) و سپس در فریم شماره ۲۵۹ و غیره بیدار می شود. PDCCH را می خواند و اگر PDCCH آن را به پیام paging تشخیص دهد، پیام را می خواند. با این حال، این فقط نشان می دهد که یک پیام paging در این زیرفرم وجود دارد، اما ممکن است به آن UE خطاب نشود، زیرا می تواند چندین UE با استفاده از یک paging cycle وجود داشته باشد.

یکی از ویژگی های پروتکل LTE، enhanced discontinuous reception می باشد که در آن گره ها در فواصل زمانی بین paging cycle ها به حالت idle می روند.

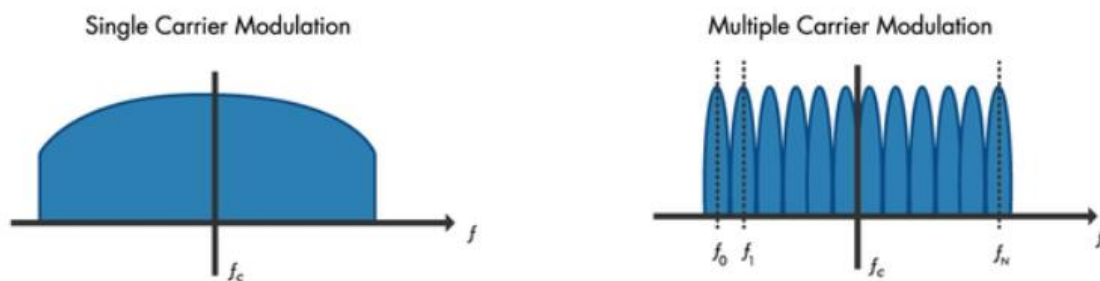
## سوال ۱۵ - روش های دسترسی single و multi carrier

تکنیک های ارتباط بی سیم را می توان به دو دسته تقسیم کرد :

(۱) مدولاسیون های single carrier و

(۲) مدولاسیون های Multi carrier

سیستم های مدولاسیون single carrier تنها از یک فرکانس سیگنال برای انتقال داده استفاده می کنند. ولی سیستم های مدولاسیون Multi carrier ، کل کانال فرکانس را به تعدادی از زیرحامل ها تقسیم می کنند و جریان داده با نرخ بالا به بسیاری از موارد با نرخ پایین تقسیم می شود که به موازات حامل های فرعی ارسال می شوند.



محو شدن انتخابی فرکانس (frequency selective) یکی از اصلی ترین مشکلاتی است که در اکثر سیستم های ارتباطی به ویژه در ارتباطات بی سیم با آن مواجه است که منجر به تأثیرات متفاوتی بر هر بخش از پهنای باند موجود می شود و بنابراین در صورت انتقال single carrier ، محو شدن بر روی آن تأثیر می گذارد (یک عیب برای کاربر NB-IoT است). پهنای باند سیگنال منجر به کاهش عملکرد آن می شود و برای حذف اثر آن به سیستم های بسیار پیچیده در گیرنده نیاز دارد. در حالی که در سیستم های Multi carrier ، محو شدن ممکن است بر یک حامل فرعی بیشتر از حامل فرعی دیگر تأثیر بگذارد، بنابراین به جای از دست دادن همه نمادهای داده مانند یک حامل، ممکن است فقط ۱ یا ۲ نماد/بیت داده را از دست بدهیم بنابراین کارایی و عملکرد بهتری در برابر محو شدن فرکانس می دهد.

NB-IoT می تواند در حالت Multi carrier کار کند. در این حالت، یک حامل خاص برای راه اندازی اتصال اولیه و انتقال داده پیکربندی می شود و سایر حامل ها فقط برای ارتباط داده پیکربندی می شوند. حامل برای راه اندازی اتصال اولیه Anchor carrier و سایر حامل ها Non-Anchor carrier نامیده می شوند.

مزیت های single carrier :

- فاصله بین قله و میانگین توان سیگنال ها کم است در نتیجه با هزینه کمتری می توان دستگاه ها را طراحی کرد .
- در مقایسه با روش multi carrier ، روش single carrier نسبت به تغییرات فرکانس و فاز و نویزها حساسیت کم تری دارد و روی آن اثر کمتری می گذارد و این مورد باعث میشود هماهنگ شدن دستگاه ها در ارتباطات بی سیم بهتر انجام شود .

## سوال ۱۶ – جزییات NB-IoT

الف) downlink frame : ساختار فریم downlink در NB-IoT ۱۰ میلی ثانیه طول در حوزه زمان دارد . هر فریم شامل ۱۰ قسمت به طول ۱ میلی ثانیه و هر فریم از دو اسلات با طول هفت علامت OFDM تشکیل شده است. در حوزه فرکانس از یک PBR با ۱۲ زیرحامل تشکیل شده است حامل های فرعی با فاصله ۱۵ کیلوهرتز از هم قرار دارند . ۲ بیت برای QPSK، ۴ بیت برای ۱۶-QAM و ۶ بیت برای ۶۴-QAM می باشد . علاوه بر این، برخلاف LTE، کانال ها و سیگنال های فیزیکی downlink NB-IoT عمدتاً در زمان مالتی پلکس می شوند. شکل زیر نشان می دهد که چگونه زیرفریم های NB-IoT به موارد مختلف تخصیص داده می شوند کانال ها و سیگنال های فیزیکی در NB-IoT downlink دو سیگنال فیزیکی و سه کانال فیزیکی به شرح زیر:

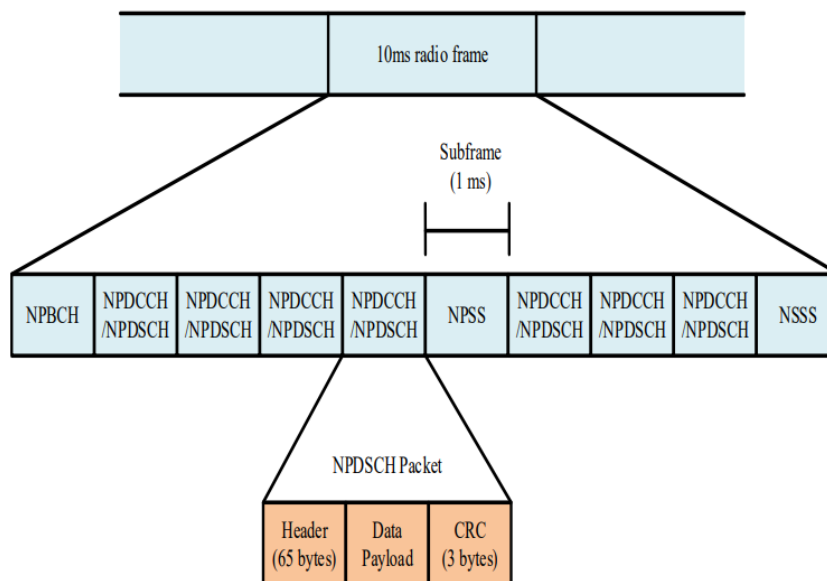
(۱) Narrowband reference signal (NRS) : برای ارائه مرجع فاز برای دیمودلاسیون استفاده می شود.

(۲) Narrowband primary and secondary synchronization signals (NPSS and NSSS) : برای انجام جستجوی سلولی با استفاده از همگام سازی زمان و فرکانس و تشخیص هویت سلولی استفاده می شود.

(۳) Narrowband physical broadcast channel (NPBCH) : حامل بلوک اطلاعات اصلی (MIB) و در زیر فریم ۰ در هر فریم منتقل می شود.

(۴) Narrowband physical downlink control channel (NPDCCH) : کنترل انتقال داده ها بین ایستگاه پایه (BS) و تجهیزات کاربر (UE)

(۵) Narrowband physical downlink shared channel (NPDSCH) : شامل داده های unicast کاربر، برخی اطلاعات کنترلی است .



Downlink frame

Uplink frame : در uplink یک واحد نقشه برداری منابع جدید به عنوان واحد منبع (RU) تعریف می شود. RU ترکیبی از تعداد حامل های فرعی (دامنه فرکانس) و تعداد اسلات ها (حوزه زمانی) می باشد . برای Uplink، NB-IoT یک سیگنال فیزیکی دارد و دو کانال فیزیکی، همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است.

(۱) Demodulation reference signal (DMRS) : داده های مالتی پلکس شده به طوری که

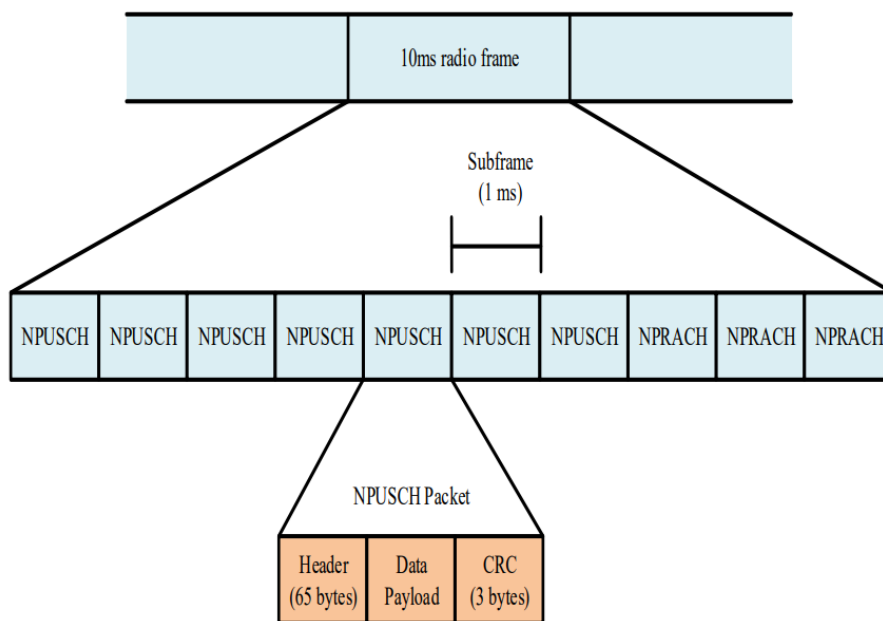
فقط در RUهای حاوی داده ارسال می شود.

(۲) Narrowband physical random access channel (NPRACH) : UE را قادر می سازد تا

به BS (ایستگاه) متصل شود .

(۳) Narrowband Uplink Shared Channel (NPUSCH) : برخلاف LTE، هم داده ها و هم

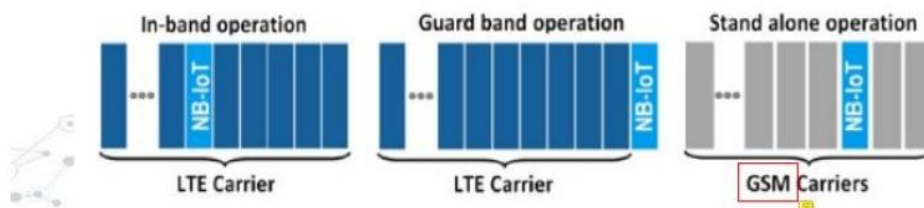
اطلاعات کنترلی از طریق کانال به اشتراک گذاشته شده لینک بالا منتقل می شوند.



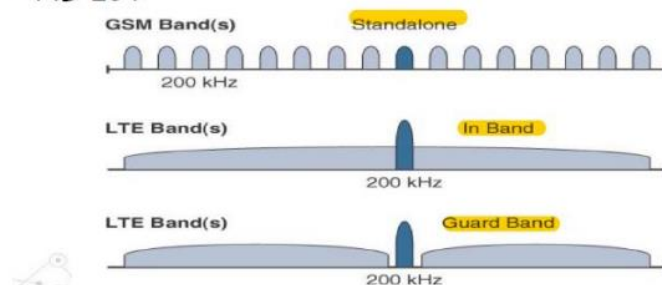
Uplink frame

(ب)

- Operation Modes of NB-IoT



- NB-IoT



NB-IoT در ۳ حالت زیر پیاده سازی می شود:



۱) Standalone : قسمتی از کانال GSM را برای حامل NB-IoT استفاده می کنیم. در این حالت

NB-IoT می تواند به صورت جایگزین یک یا چند حامل GSM قرار گیرد.

۲) In-band : بخشی از باند فرکانسی LTE carrier ، برای استفاده به عنوان باند فرکانسی NB-IoT

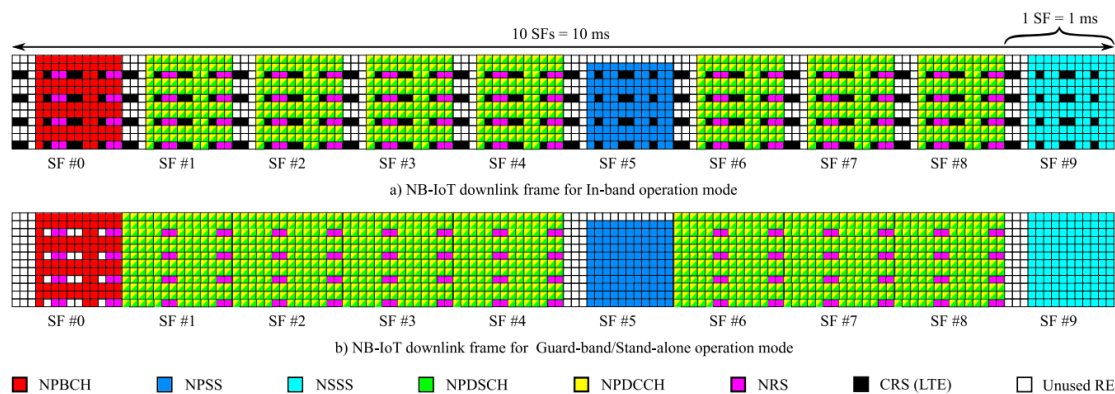
استفاده می شود. برای Band-In ، یک یا چند PRB-LTE برای NB-IoT رزرو شده است. در این ناحیه، سیگنال های NB-IoT نباید در منابع فرکانس-زمانی رزرو شده برای LTE ارسال شوند.

۳) Guard-band : در این حالت حامل NB-IoT بین باند های LTE carrier و WCDMA قرار می

گیرد. در Band-Guard ، NB-IoT در باند محافظ یک حامل LTE قرار می گیرد.

برای حالت In-band ، می توان مشاهده کرد که اول از سه نماد OFDM در هر زیرفریم اجتناب می شود آنها ممکن است توسط کانال کنترل LTE اشغال شده باشند. مگر اینکه کانال کنترل LTE پیکربندی شده باشد تا کمتر از سه نماد را اشغال کند.

برای حالت های Standalone و Guard-band ، سیگنال NB-IoT می تواند تمام نمادهای OFDM را از یک زیر فریم اشغال کند زیرا باند NB-IoT در چنین حالت هایی کاملاً از باند LTE جدا می شود. با این حال، نقشه برداری برخی از کانال ها و سیگنال ها (به عنوان مثال، NPBCH، NPSS، NSSS و NRS) بدون تغییر مانند حالت عملیات In-band به دلیل محدودیت های مربوط به روش همگام سازی در UE است .



ج) در یک شبکه ی IoT-NB ؛ subcarrier این امکان را می دهد که انتقال سیگنال های دیگر در کنار سیگنال اصلی را فراهم شود و این امر باعث ایجاد یک یا چند کانال اضافی برای انتقال می شود. هر carrier-Sub اطلاعات اضافی ای را با خود به همراه دارد این اطلاعات یک جا ارسال می شوند و در مقصد از یک دیگر جدا می شوند.

د) فرکانس حامل های فرعی را می توان از ۱۵ کیلوهرتز تا ۲۴۰ کیلوهرتز از هم جدا کرد. به طور کلی با توجه به ویژگی های باند کانال، در کانال های حامل زیر ۶ گیگاهرتز از فرکانس ۱۵ کیلوهرتز تا ۶۰ کیلوهرتز و برای کانال های فرکانس بالاتر از فرکانس ۶۰ کیلوهرتز تا ۱۲۰ کیلوهرتز استفاده می شود. فضابندی و اختصاص بخش های مختلف برای ایجاد چندین sub-carrier می باشد که در فضای زمان و فرکانس اسلات بندی می شوند.