ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

بررسی کاربردی شبکه ماهواره‌ای لورا در شبکه توزیع برق

رامین کلمرنتاج عالیزمینی[۱]، مبینا علی نژاد[۲]

[۱] آتیه نگار هوش افزار تیکا کاسپین، بهشهر nramin1996@gmail.com

[۲] آتیه نگار هوش افزار تیکا کاسپین، بهشهر mobinaalinezhad120@gmail.com

چکیده

باتوجه به پیچیدگی‌ها و انشعابات مختلف یک شبکه توزیع، مدیریت این شبکه بسیار مشکل و زمان‌بر است. این مسئله باعث افزایش زمان قطعی برق و به وجودآمدن مشکلات مالی و جانی برای مشترکین و حتی تکنسین‌های شبکه توزیع می‌گردد. دراین راستا، روش‌های متعددی برای مدیریت شبکه توزیع ارائه شده است. باتوجه به شرایط و پیشرفت چشمگیر تکنولوژی در زمینه‌های مختلف و گسترش قابل توجه سیستم‌های ماهواره‌ای، سبب شده تا با بکارگیری این دست از ارتباطات و شبکه‌ها، به دنبال رفع چالش‌های موجود در شبکه توزیع باشیم. به همین دلیل در این مقاله با اقتباس از مقالات گذشته و بررسی نتایج بدست آمده از آن‌ها، سعی شده تا با امکان‌سنجی استفاده از شبکه لورا که دارای ویژگی‌هایی همچون ارسال داده در زمان کوتاه با مصرف پایین انرژی، قابل استفاده بودن در نقاط غیرقابل دسترس و امنیت بالا در انتقال داده‌های شناسایی شده تا حد قابل‌توجهی این دست مشکلات را رفع نموده و همچنین این امکان را برای تکنسین-های شبکه توزیع فراهم آورده تا در کمترین زمان ممکن خطاهای ایجادشده را پیدا کرده و درصدد رفع آنها برآیند.

واژه‌های کلیدی

اینترنت اشیا(IOT)، LPWAN، LORAWAN، گره لورا، دروازه

۱.متن مقاله

۱،۱. مقدمه

پیشرفت صنعت و بالا رفتن سطح زندگی بشر، با توسعه منابع انرژی و افزایش مصرف آن‌ها همراه است. طبیعتا با افزایش مصرف انرژی، وابستگی بشر به این منابع بیشتر می‌گردد. انرژی الکتریکی به دلیل مزایای منحصر به فرد خود، جایگاه ویژه‌ای در دنیای امروز دارد. به طوری‌که قطع طولانی یک خط از شبکه قدرت حتی به مدت کوتاه، خسارات جبران‌ناپذیری اعم از کاهش پایداری شبکه، فشار بر اجزای سیستم و... را هم برای مصرف‌کننده و هم برای تولیدکننده به بار خواهد آورد. لذا مطالعات مربوط به حفاظت این انرژی استراتژیک و تحقیقات مربوط به آن، از مسائل مهم صنعت برق می‌باشد. نشانگرهای خطا همان‌گونه که از نام آن‌ها مشخص است، وظیفهٔ نشان دادن خطا در خطوط توزیع برق را به عهده دارند. علت استفاده از این نشانگرهای خطا در خطوط توزیع، مشخص شدن هرچه سریع‌تر محل خطا در خطوط و رفع آن است. با جایگزینی شبکه‌های هوشمند به جای شبکه‌های قدرت سنتی و با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و ظهور اپلیکیشن‌های اینترنت اشیا (IOT)، وسایل هوشمند زیادی اعم از اپلیکیشن‌های‌خانگی، دوربین‌ها، سنسورهای نظارت و ...مجهز به تکنولوژی‌های بی‌سیم شدند. دغدغه ایجاد قابلیت‌های ارتباطی برای اشیاء مختلف ما را در زندگی روزمره احاطه کرده‌اند و پیاده سازی آن‌ها مستلزم ایجاد ساختار و معماری شبکه‌های پیچیده است. بدین ترتیب اجبار برای ساخت و پیاده‌سازی پروتکل‌های ارتباطی جدید، توانسته از این تقاضا به منظور سطح عملکرد بالا تا حد امکان بهره گیرد. برای مقابله با این مشکلات و چالش اپلیکیشن‌های IOT و همچنین رشد چشمگیر آن‌ها، Low Power Wide Area Network (LPWAN) ساخته شد. این تکنولوژی‌ها قادرند که نقاط گسترده‌ایی را با مصرف بسیار کم انرژی پوشش داده و فرصتی بی‌نظیر در خصوص ارائه‌ی خدمات مطمئن با بازدهی بالا و بهینه را در محیطی امن، سالم و دوستار طبیعت فراهم کنند. با بهره‌گیری از تکنولوژی هوشمند در جهت ایجاد تغییرات اساسی در بخش‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی می‌توان براساس داده‌های جمع آوری شده با اتخاذ تصمیم‌گیری‌های دقیق و در هنگام شرایط بحرانی از خاموشی‌های ناخواسته جلوگیری نموده، که علاوه بر فراهم کردن رضایتمندی مشتریان در خصوص دسترسی مطمئن و پایدار از تحمیل هزینه‌های اضافی نیز اجتناب کرد.

۱،۲. شبکه لورا

Lora WAN همان تکنولوژی LPWAN می‌باشد که بین موبایل (3G، LTE) و شبکه‌های بی‌سیم کوتاه برد (بلوتوث، Wi-Fiیا Zigbee) قرار دارد [۳]. Lora WAN بهترین نوع LPWAN است که از توپولوژی ستاره برای انتقال پیام به گره‌های (nodes) مختلف از طریق دروازه (Gateway) استفاده می‌کند. همچنین در برنامه‌های IOT در فضای باز که ساختار شبکه و مدیریت ساده‌ای دارند، وعده‌ی اتصال به همه جا را محقق می‌کند. LPWAN مخصوص آن دسته از دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردیIOT است که به منظور ایجاد ارتباطات دوربرد (بیش از ۱۰ کیلومتر در مناطق روستایی) با نرخ بیت کم، در مسافت‌های طولانی و چند بار در ساعت از محیط‌های مختلف ساخته شدند. همچنین عمر باتری تجهیزات را تا چندسال افزایش می‌دهند. دستگاه‌های لورا درمحدوده باند فرکانسی رادیویی زیر گیگاهرتز و بدون مجوز، نظیر ۱۶۹مگاهرتز، ۴۳۳ مگاهرتز، ۸۶۸ مگاهرتز (اروپا) و ۹۱۵ مگاهرتز (آمریکای شمالی) فعالیت می‌کنند که نیازی به مجوز دولتی برای توسعه آن ندارند [۵،۱۴].

۱،۳. معماری فنی شبکه لورا

یک شبکه کامل لورا در درجه اول، شامل اجزای زیادی از جمله، گره لورا (Lora node)، دروازه (Gateway)، سرورشبکه (Network Server) و سرور اپلیکیشن (Application Server) است [۷]. معماری استاندارد آن شامل سنسورهای لورا و دروازه‌هایی است که پیام را از سنسورها دریافت کرده و دوباره آنها را به سرور شبکه منتقل می‌سازد و همه‌ی اطلاعات در سرور شبکه متمرکز می‌شوند و کاربران این اطلاعات را توسط اپلیکیشن از سرور دریافت می‌نمایند [۸].

این معماری دارای مزیت مقیاس‌پذیری است که به صورت تئوری می‌تواند هزاران سنسور لورا را ادغام کند و آن‌هایی که با هم در یک ستاره مثل توپولوژی شبکه ارتباط دارند، توانایی ارتباط مستقیم با ماژول دروازه را نیز دارند. مقیاس‌پذیری به تعداد دستگاه‌ها یا شئ‌هایی گفته می‌شود که می‌توانند به یک پروتکل وصل شده و بین آن‌ها، شبکه برقرار کرد. پروتکل‌های نوع شبکه شهری، مقیاس‌پذیری بالایی دارند؛ زیرا تعداد اشیایی که در یک محیط بزرگ‌تر وجود دارد بیشتر است و نیاز به مقیاس‌پذیری بیشتری برای شبکه داریم. اما در پروتکل‌های نوع محلی و شخصی به دلیل محلی بودن، کاهش برد محیطی و شخصی بودن ارتباط، میزان مقیاس‌پذیری به نسبت زیادی کاهش می‌یابد.

گره لورا (Lora node) یا End-deviceها به طور عمده شامل سنسورها (برای تشخیص پارامتر در حال تغییر به عنوان مثال دما، رطوبت، جریان، ولتاژ، شتاب سنج، GPS)، فعال‌کننده، باتری، میکروکنترلر و فرستنده لورا (برای انتقال سیگنال‌ها از طریق بستر لورا) و غیره می‌شوند و یک یا چند کار را با توجه به نیازهای مختلف انجام می‌دهند. گره‌های پایانی LoraWAN (سنسورها) معمولا از توان کم استفاده می‌کنند و دارای باتری هستند، عمر مفید باتری‌ها ۲ تا ۵ سال است. End-deviceها مستقیما پیام‌هایشان را با کانال‌های بی‌سیم با شش SF یا ضریب گسترش که از SF7تا SF12 می‌باشد، با استفاده از پروتکل ALOHA (یک پروتکل که امکان برقراری ارتباط دو طرفه یا ارسال کامنت یا دستورالعمل برای کنترل شبکه فراهم می‌کند) به عنوان یک کنترل دسترسی متوسط (MAC) می‌فرستند [۲]. لورا می‌تواند با توجه به تخصیص ضریب گسترش (SF) بر اساس فاصله، مقیاس بندی شود.

دروازه لورا (Lora Gateway) همه‌ی بسته‌های رادیویی uplink (ارسال پیام از سنسور یا در حالت کلی node یا گره‌ها به سرور) را بعد از اضافه کردن فراداده (Metadata) مثل نسبت سیگنال به نویز (SNR) و نشانگر قدرت سیگنال دریافت شده (RSSI) به سروشبکه لورا ارسال می‌کند. ارتباط بین دروازه‌ها (Gateways) با سرورها توسط شبکه‌هایی غیر از شبکه‌هایی از نوع LPWAN می‌باشد. متقابلا در Downlink (ارسال پیام از سرور به گره)، دروازه درخواست انتقال از طرف سرور شبکه لورا را انجام می‌دهد [۴]. دروازه‌های Lora از طریق پروتکل استاندارد IP(Internet Protocol) به اینترنت متصل می‌شوند و داده های دریافتی از سنسور را به سرور منتقل می‌کنند. این دروازه‌ها مانند یک پل شفاف عمل کرده و به سادگی بسته‌های RF (Radio Frequency) را به بسته‌های IP و بالعکس تبدیل می‌کنند [۱۵]. گره لورا و دروازه اجزا اساسی کل شبکه لورا هستند، چون لورا می‌تواند توسط آن‌ها تعامل محیطی داشته باشد و به علاوه می‌تواند داده ها را تا سرور برای آنالیز کردن دنبال کند.

سرور شبکه لورا (Lora Network Server) بسته‌های ارسال شده توسط دروازه لورا را دریافت می‌کند و مسئول پردازش بسته و تجزیه و تحلیل پروتکل‌ها می‌باشد. تعداد زیادی از اعمال باید توسط سرور شبکه لورا انجام گردیده و پیاده سازی شود. این اعمال شامل چک‌کردن قانونی بودن دستگاه‌های پایانی (End-Devices) مثل سنسورها، فیلتر کردن بسته‌های uplink تکراری، انجام مکانیزم مدیریت شبکه، تصدیق زمان‌بندی و ارسال داده‌ها در لایه‌های مختلف برنامه به سرور اپلیکیشن‌ها و... می‌باشد. سرورهای شبکه می‌توانند برای هر دو ارتباط uplink (سنسور به برنامه) یا downlink (برنامه به سنسور) استفاده شوند [۱۰].

سرور اپلیکیشن یا برنامه کاربردی لورا (Lora Application Server) مسئول رمزگذاری، رمزگشایی و پردازش اپلیکیشن است و می‌تواند اپلیکیشن‌های گوناگونی که با رمزگذاری یا روش کدگذاری هستند مثل پروتکل بافر را پشتیبانی کند.

۱.۴. ماهواره های لورا

ماهواره‌های لورا برای توسعه اینترنت اشیاء در مسافت‌های طولانی استفاده می‌شود، که به واسطه‌ی آن می‌توان برای مناطق دور و غیرقابل دسترس، راهکارهایی برای تحت پوشش قرار دادن آن به وجود آورد. از جمله این راهکارها، استفاده از ماهواره‌هایی در مدار پایین زمین (LEO) است. به ماهواره‌های کوچک در این نوع کاربرد Cube Sat گفته می‌شود که شرکت FossaSat اولین استارتاپ در زمینه گسترش ماهواره‌های لورا است [۶]. امروزه تعداد ماهواره‌هایی که در مدار پایین زمین (LEO) اختصاص داده شده مانند ماهواره‌های

مینی، میکرو، نانو و پیکو به طور قابل توجهی افزایش یافته است. تعداد ماهواره‌های راه‌اندازی شده در مدار لئو ۶۲/۹٪ از کل ماهواره‌های مدار زمین بالا را شامل می‌شود که بین فاصله‌ی ۲۵۰ کیلومتر و ۲۰۰۰ کیلومتر از زمین است [۹].

جدول۱. دسته بندی براساس وزن ماهواره ها در مدار پایین زمین

Satellites Type	Mini	Micro	Nano	Pico	femto
Weight	range of 100 to 500 Kg	range of 10 to 100 Kg	range of 1 to 10 Kg	range of 0.1 to 1Kg	**below 100 g**

۱،۵. کاربرد لورا در نشانگرخطا

نشانگرهای خطا بر روی کابل و هادی‌های خطوط توزیع برق نصب می‌شوند که پارامتر های جریان را به واسطه‌ی میدان ایجاد شده توسط جریان عبوری از آن‌ها را اندازه‌گیری می‌نمایند. با محاسبات این اطلاعات، جریان عادی خط نادیده گرفته شده و فقط افزایش جریان در اثر اتصال کوتاه، خطای فاز به زمین، فاز به فاز و... در یک نقطه از خط به عنوان خطا شناسایی می‌شود [۱]. روند کار نشانگر خطا به این صورت است که در صورت بروز خطا، این خطا در بازه زمانی کوتاهی تشخیص داده می‌شود و همچنین افزایش ناگهانی جریان، که با بی-برق شدن همراه باشد، نشانگر را فعال خواهد ساخت. این نشانگر همچنین می‌تواند به گونه‌هایی تنظیم شود که قبل از بی‌برق شدن خط عملکرد لازم را انجام دهد. هنگامی که خطایی صورت می‌گیرد، حسگرهایی که در نشانگر خطا هستند (که در شبکه لورا End-device یا وسایل انتهایی خوانده می‌شوند) این خطا را احساس کرده و با تخصیص SF خاصی آن را به Gateway یا دروازه ارسال می‌نمایند. دروازه پیام دریافتی را بعد از انجام تغییرات و اضافه کردن یک سری داده به سرور شبکه ارسال می‌کند. در مرحله بعدی سرور شبکه پس از دریافت، شروع به پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات کرده و آنها را به سرور اپلیکیشن شبکه توزیع می‌فرستد. بدین صورت در مدت زمان اندکی محل و نوع خطا شناسایی و تشخیص داده شده و تکنسین‌ها در مدت زمان بسیار کوتاه درصدد رفع مشکل برمی‌آیند.

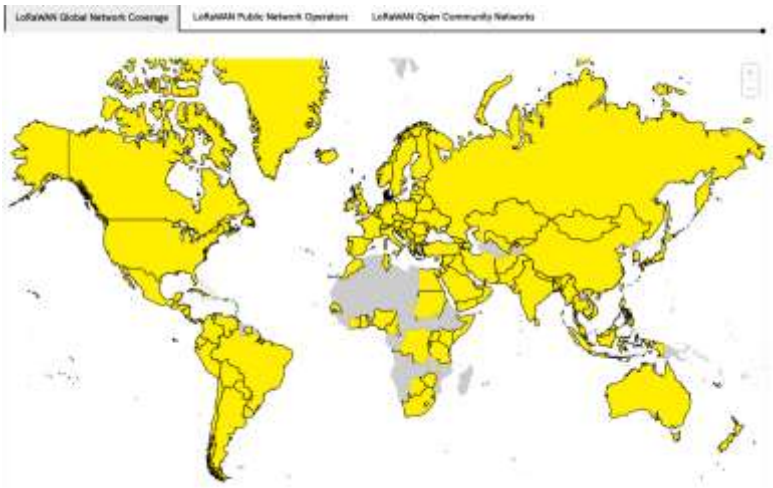
۲. یافته‌ها

بعضی از مطالعات روی مقایسه لورا با دیگر تکنولوژی‌های LPWAN مثل Sigfox وNB-IOT متمرکز شده‌اند. طراحی مدولار، اجازه می‌دهد تا ماژول‌های پردازشی، در پردازش‌های خود از سرورها جدا شوند. این انعطاف‌پذیری باعث می‌شود تا کاربران از این ماژول‌ها با قابلیت سفارش‌سازی استفاده کرده و آن را گسترش دهند. با رنج ارتباطی بالای ۱۰ کیلومتر و عمر طولانی باتری و قیمت پایین آن، شبکه لورا گزینه‌ی مناسبی به عنوان شبکه ارتباطی برای نشانگرهای خطوط توزیع است.

جدول۲. مقایسه فناوری‌های مختلف شبکه (LPWAN) برای هر تکنولوژی توسط چندین سازمان توسعه داده

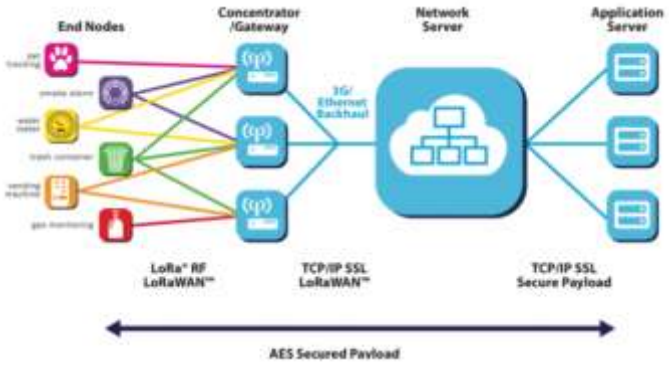
	Lora WAN	**Sigfox**	**NB-IoT**
Frequency bands	Unlicensed	Unlicensed	Unlicensed
Range (urban)	5 km	10 km	1km
Range (rural)	20 km	40 km	10 km
Maximum data rate	50 kbit/s	0.1 kbit/s	200 kbit/s
Maximum messages per day	Unlimited	140 Up, 4 Down	Unlimited
Modulation	CSS	BPSK	QPSK
Encryption	Yes	No	Yes
Adaptive Data Rate (ADR)	Yes	No	No
Private networks	Yes	No	No
Gateways locations determined by	Anyone	Operator	Operator
Localization	RSSI & TDOA	RSSI	No

از دلایل دیگر انتخاب شبکه لورا یا LoraWAN برای انتقال اطلاعات مربوط به عیب‌یابی در شبکه توزیع نسبت به دیگر تکنولوژی‌های LPWAN مانند Sigfox و NB-IOT ، ویژگی‌ها و خصوصیات منحصر به فرد و قابل تامل آن در مدل توسعه می‌باشد. گزینه‌های توسعه شامل شبکه‌های خصوصی، شبکه‌های عمومی، هیبریدی و ماهواره‌ای هستند. حالت عمومی و ماهواره‌ای برای استفاده در نشانگرهای خطای توزیع اهمیت بالایی دارند [۱۲]. به عنوان نمونه اولین شبکه دوربرد توان پایین از نوع شبکه لورا با نام شبکه عمومی اینترنت اشیای لینک نت، در اواخر سال ۱۳۹۹ در سطح شهر تهران راه‌اندازی شد [۱۱]. از دیگر برتری شبکه لورا نسبت به Sigfox استراتژی متفاوتی است که در اشتراک‌سازی و قابلیت دسترسی قسمت‌های مختلف آن پیش گرفته است؛ به گونه‌ای که هر شرکت می‌تواند End-node ، Gateway و ماژول‌های ارتباطی را مطابق با استانداردهای این شبکه تولید کند. تا دو سال پیش، این تولیدات و دسترسی فقط توسط کمپانی خاصی به نام Semtech انجام می‌گرفت ولی با فروش License به دیگر شرکت‌ها از انحصار این کمپانی خارج شده است [۱۳]. از این رو شبکه لورا (LoraWAN) راهبرد توسعه بسیار منعطفی را پیش‌گرفته که در نتیجه‌ی آن به توسعه شبکه به یک شرکت خاص وابسته نیست. همین امر رشد این پروتکل را سرعت بخشیده است. علی‌رغم شروع دیرتر نسبت به Sigfox هم‌اکنون در مناطق بیشتری پوشش رادیویی دارد. تا به امروز (سپتامبر ۲۰۲۱)، شبکه لورا در ۱۷۱ کشور و با ۱۵۶ اپراتور در دسترس قرار دارد و این روند به توسعه در آینده برای ایجاد سیاره‌ای هوشمند کمک می‌نماید [۱۰].



شکل۱. مناطق گسترده دارای شبکه‌ی عمومی لورا از جمله ایران (نواحی زردرنگ)

امنیت، یکی از نگرانی‌های اساسی در مورد استقرار گسترده‌ی IOT بوده و برای هر شبکه LPWAN بسیار مهم است. LoraWAN از دو لایه امنیتی، یکی برای شبکه و دیگری برای برنامه Advanced Encryption Standard(AES) استفاده می‌کند [۱۴]. امنیت شبکه، اصالت گره را در شبکه تضمین می‌کند در حالی که لایه امنیتی برنامه عدم دسترسی اپراتور شبکه به داده‌های برنامه کاربر نهایی را تضمین می‌کند. داده‌های LoraWAN دو بار رمزگذاری می‌شوند؛ داده‌های سنسور توسط گره و سپس توسط پروتکل LoraWAN مجددا رمزگذاری می‌شوند و فقط در این صورت است که اجازه ارسال به دروازه لورا به آنها داده می‌شود.



شکل۲. نشان‌دهنده پوشش وسیع ابعاد امنیتی شبکه

3. بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت سریع و کارآمد شبکه توزیع، در کـاهش زمـان خاموشـی در خطـوط توزیـع تاثیر به سزایی دارد. در این مقاله، استفاده از تکنولوژی LPWAN در مدیریت این شبکه و خطایابی‌های احتمالی مورد بررسی قرار گرفته است. این تکنولوژی امکان مدیریت و شناسایی خطا در تمام مسیر خطوط توزیع در نقاط غیر قابل دسترس را دارد. با بررسی‌های انجام شده در این مقاله این بستر گزینه مناسبی باتوجه به دوربرد بودن و توان مصرفی پایین، امنیت و مقیاس‌پذیری بالای شبکه لورا خواهد بود که کاهش هزینه ساخت برای تولید نشانگرها جهت مدیریت سازمان یافته را درپی خواهد داشت.

منابع

[1] بهروز عارضی،۱۳۹۸. طراحی و ساخت نشانگر خطا برای شبکه های توزیع هوایی، ۲۱امین کنفرانس بین‌المللی برق

[2] Zhou, Q., Zheng, K., Hou, L., Xing, J. and Xu, R., 2019. Design and implementation of open LoRa for IoT. IEEE Access, 7, pp.100649-100657.

[3] Manzoni, P., Calafate, C.T., Cano, J.C. and Hernández-Orallo, E., 2019. Indoor vehicles geolocalization using LoRaWAN. *Future Internet*, *11*(6), p.124.

[4] Lavric, A., Petrariu, A.I., Coca, E. and Popa, V., 2020, May. LoRaWAN analysis from a high-density internet of things perspective. In *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 94-97). IEEE.

[5] Zhang, X., Zhang, M., Meng, F., Qiao, Y., Xu, S. and Hour, S., 2018. A low-power wide-area network information monitoring system by combining NB-IoT and LoRa. *IEEE Internet of things Journal*, *6*(1), pp.590-598.

[6] Fernandez, L., Ruiz-De-Azua, J.A., Calveras, A. and Camps, A., 2020. Assessing LoRa for satellite-to-earth communications considering the impact of ionospheric scintillation. *IEEE access*, *8*, pp.165570-165582.

[7] de Castro Tomé, M., Nardelli, P.H. and Alves, H., 2018. Long-range low-power wireless networks and sampling strategies in electricity metering. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *66*(2), pp.1629-1637.

[8] Zhou, Q., Zheng, K., Hou, L., Xing, J. and Xu, R., 2019. Design and implementation of open LoRa for IoT. *IEEE Access*, *7*, pp.100649-100657.

[9] Chaari, L., Fourati, M. and Rezgui, J., 2019, December. Heterogeneous LoRaWAN & LEO Satellites Networks Concepts, Architectures and Future directions. In *2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)* (pp. 1-6). IEEE.

[10] https://lora-alliance.org/about-lora-alliance/

[11] https://www.link-net.ir/#toggle-id-6

[12] https://elainnovation.com/en/lorawan-private-network-vs-public-network-whats-the-difference/
[13] https://www.linkap.net/

[14] https://nobka.ir/blog/

[15] https://febiot.com/lorawan/