دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات گروه مهندسی فناوری اطلاعات

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های کامپیوتری

طراحی و پیاده‌سازی یک مدل مبتنی بر اینترنت اشیا با رویکردپزشکی و ارزیابی آن

نگارش:

علی جعفرزاده شیرازی

استاد راهنما:

دکتر رضا جاویدان

استاد مشاور:

دکتر محسن اسلامی

شهریور ماه ۱۳۹۸

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در پژوهشگاه علوم و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

بسم الله الرحمن الرحیم

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز بوده و تابع قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

بسمه تعالی

طراحی و پیاده‌سازی یک مدل مبتنی بر اینترنت اشیا با رویکرد پزشکی و ارزیابی آن

پایان‌نامه ارائه‌شده به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

نگارش:

علی جعفرزاده شیرازی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی فناوری اطلاعات دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان‌نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر رضا جاویدان دانشیار در رشته مهندسی کامپیوتر (استاد راهنما) .....

دکتر محسن اسلامی دانشیار در رشته مهندسی برق (استاد مشاور) .....

دکتر سید رئوف خیامی استادیار در رشته مهندسی کامپیوتر (استاد داور) .....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

شهریور ماه ۱۳۹۸

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌ترات اطلاعات علمی و تحقیقات فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **علی جعفرزاده شیرازی** تأیید می‌نماید رساله با عنوان: **طراحی و پیاده‌سازی یک مدل مبتنی بر اینترنت اشیا با رویکرد پزشکی و ارزیابی آن** حاصل پژوهش اینجانب بوده و در صورت استفاده از انتشارات دیگران، نشانی دقیق آن مطابق مقررات ارجاع علمی نوشته شده است. ضمناً این اثر بصورت کلی یا جزئی قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی ارایه نشده است و بدون کسب مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز و استاد(ان) راهنما در مجامع علمی و رسانه‌ها شامل همایش‌ها و مجلات داخلی و خارجی بصورت مکتوب یا غیرمکتوب منتشر نخواهد شد. مقالات مستخرج از این پایان‌نامه/رساله منحصراً با درج اسامی استاد(ان) راهنما و وابستگی سازمانی "دانشگاه صنعتی شیراز" یا "Shiraz University of Technology" (به همراه نام دانشکده/گروه علمی) منتشر خواهد شد و از درج سایر اسامی و وابستگی‌های سازمانی در مقالات بدون تأیید استاد(ان) راهنما خودداری خواهد شد.

علی جعفرزاده شیرازی

حفظ حقوق پایان‌نامه/رساله

نتایج تحقیقات مندرج در این پایان‌نامه/رساله و دستاوردهای مادی و معنوی آن (شامل مقاله، فرمول، نرم‌افزار، سخت افزار و مواردی که قابلیت ثبت اختراع دارد) متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است و بدون کسب اجازه کتبی از دانشگاه صنعتی شیراز امکان فروش و ادعای مالکیت مادی یا معنوی بر آن یا ثبت اختراع از آن وجود ندارد. همچنین کلیه حقوق مربوط به چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و نظائر آن در محیط‌های مختلف اعم از الکترونیکی، مجازی یا فیزیکی برای دانشگاه صنعتی شیراز محفوظ است. هر گونه تضییع حقوق نامبرده موجب برخورد قانونی مطابق مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی با اینجانب خواهد شد.

علی جعفرزاده شیرازی

نقل مطالب با ذکر مأخذ با رعایت مقررات ارجاع علمی بلامانع است.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان‌نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقررات دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر رضا جاویدان

تاریخ:

امضا:

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

تقدیم به:

پدر و مادر و خانواده عزیزم که همواره وام دار زحماتشان هستم .

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ پژوهشهای تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

تشکر و قدردانی:

اکنون که به یاری پروردگار این رساله به پایان رسیده است، بر من واجب است که از زحمات بسیار ارزشمند اساتید محترم و گرامی، آقایان دکتر رضا جاویدان و دکتر محسن اسلامی که مرا در انجام این رساله با راهنمایی های خود یاری رسانده اند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

چکیده

طراحی و پیاده‌سازی یک مدل مبتنی بر اینترنت اشیا با رویکرد پزشکی و ارزیابی آن

نگارش:
علی جعفرزاده شیرازی

اینترنت اشیا پتانسیل ارتقا بسیاری از مسائل پزشکی همچون نظارت سلامت از راه‌دور، تناسب‌اندام، بیماری‌های مزمن و مراقبت از سالمندان را دارا است. انطباق دارو و درمان در منزل نیز یکی دیگر از کاربردهای اینترنت اشیا در پزشکی می‌تواند باشد. در این تحقیق با هدف ایجاد یک زیرساخت عمومی برای استفاده در مهندسی پزشکی ضمن بررسی اینترنت اشیا و کاربرد های آن در مهندسی پزشکی، یک مدل کامل از اکوسیستم اینترنت اشیا با رویکرد مهندسی پزشکی طراحی و پیاده‌سازی شده است. این اکوسیستم شامل سخت‌افزار و نرم‌افزارهای گره حس‌گر، حاوی حس‌گرهای Pulse Oximetry، شبکه مبتنی بر LoRaWAN با برد عملیاتی محوطه پردیس دانشگاهی دانشگاه صنعتی شیراز، دروازه‌های اینترنت اشیا، سرور شبکه، سرور کاربردی و نیز یک سیستم رابط بین انسان و ماشینِ (HMI) تحت وب برای بهره‌برداران آن می‌باشد. در آخر عملکرد کل سیستم در شرایط واقعی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتیجه این تحقیق امکان استفاده در تحقیقات آینده به عنوان یک زیر ساخت قابل اتکا را دارا است.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیا، مهندسی پزشکی، LoRa، LoRaWAN، Loraserver، ThingsBoard، Pulse Oximetry

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

فهرست مطالب

۱. فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کلیات ۲

۱-۳- اینترنت اشیا و مهندسی پزشکی ۴

۱-۴- اهداف این پایان‌نامه ۶

۱-۵- بخش‌های پایان‌نامه ۶

۲. فصل دوم: مبانی نظری و ادبیات تحقیق ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- اینترنت اشیا چیست؟ ۸

۲-۳- لایه‌های یک اکوسیستم اینترنت اشیا ۱۱

۲-۳-۱- حسگرها و عملگرها ۱۲

۲-۳-۲- دروازه‌ها ۱۶

۲-۳-۳- شبکه‌های مخابراتی ۱۷

۲-۳-۳-۱- حسگرهای با تغذیه باتری ۱۹

۲-۳-۳-۲- عملگرها با تغذیه باتری ۲۰

۲-۳-۳-۳- عملگرها با تغذیه از شبکه برق ۲۰

۲-۳-۴- تحلیل‌کننده‌های نرم‌افزاری و تفسیر داده‌ها ۲۲

۲-۳-۵- خدمت انتهایی ۲۲

۲-۴- سیستم‌های عامل کاربردی در IoT ۲۳

۲-۵- سکوهای رایانش ابری اینترنت اشیا ۲۳

۲-۶- چالش‌های پیش روی اینترنت اشیا ۲۵

۲-۷- ابزار پزشکی ۲۶

۲-۷-۱- الکترو کاردیو گراف ۲۷

۲-۷-۲- نمایشگر فشارخون ۲۸

۲-۷-۳- پالس اکسیمتر ۲۹

۲-۷-۴- دماسنج ۳۱

۲-۷-۵- الکتروانسفالوگراف ۳۲

۲-۸- نتیجه‌گیری ۳۳

۳. فصل سوم: مدل پیشنهادی برای حل مسئله ۳۴

۳-۱- مقدمه ۳۵

۳-۲- مدل پیشنهادی ۳۵

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

۳-۲-۱- گره‌های سخت‌افزاری حس‌گر و عملگر ۳۹
۳-۲-۲- ماژول مودم LoRa ۴۰
۳-۲-۳- دروازه یا تجمیع کننده ۴۲
۳-۲-۴- شبکه میانی ۴۳
۳-۲-۵- سرور شبکه ۴۴
۳-۲-۶- سرور کاربردی ۴۵
۳-۲-۷- درگاه ارتباطی با انسان تحت وب یا HMI ۴۶
۳-۳- نتیجه‌گیری ۴۷

۴. فصل چهارم: پیاده‌سازی اکوسیستم LoRaWAN ۴۸
۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی ۴۹
۴-۲-۱- گره‌های سخت‌افزاری حس‌گر و عملگر ۵۰
۴-۲-۲- دروازه یا تجمیع کننده ۵۴
۴-۲-۲-۱- آنتن دروازه ۵۴
۴-۲-۲-۲- دروازه تک کانال مبتنی بر ESP32 ..... ۵۶
۴-۲-۲-۳- دروازه تک کانال مبتنی بر Raspberry Pi 3+ ۵۹
۴-۲-۳- شبکه میانی ۶۱
۴-۲-۴- سرور شبکه ۶۲
۴-۲-۵- سرور کاربردی ۶۳
۴-۳- نتیجه‌گیری ۶۹

۵. فصل پنجم : جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۰
۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۲- نتایج حاصله و نوآوری ۷۱
۵-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۷۲

مراجع ۷۴

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ – ساختار پشته برای سیستم‌های اینترنت اشیا ۴
شکل ۱-۲ – افزایش سهم اینترنت اشیا در مراقبت‌های بهداشتی آمریکا از ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ ..... ۵
شکل ۱-۳ – معماری عناصر سیستم‌های اینترنت اشیا در حوزه سلامت ۵
شکل ۲-۱ - فیل و شش مرد با چشمان بسته ۹
شکل ۲-۲ - فیل و نگاه متفاوت متخصصین با تخصص‌های متفاوت به آن ۹
شکل ۲-۳ - ساختار یک اکوسیستم اینترنت اشیا ۱۰
شکل ۲-۴ - لایه‌های منطقی یک اکوسیستم اینترنت اشیا ۱۲
شکل ۲-۵ – Texas Instruments SimpleLink™ SensorTag CC2650STK ۱۵
شکل ۲-۶ - OpenMote-CC2538 ..... ۱۶
شکل ۲-۷ - یک مثال از یک سیستم اینترنت اشیا و کاربرد دروازه در آن ۱۷
شکل ۲-۸ – دسته‌بندی گره‌های انتهایی در شبکهLoRaWAN ۲۰
شکل ۲-۹ – سیستم شناسایی افتادن سالمندان بر اساس LoRaWAN ۲۱
شکل ۲-۱۰ – سیستم نظارت بر سردخانه‌های دارو بر اساس LoRaWAN ۲۲
شکل ۲-۱۱ – نحوه اندازه‌گیری و جانمایی الکترودها جهت اتصالات الکتروکاردیوگرام ۲۷
شکل ۲-۱۲ – ریتم سینوسی قلب ثبت‌شده توسط الکترود Lead II الکتروکاردیوگرام ۲۸
شکل ۲-۱۳ شکل دیاگرام یک الکتروکاردیوگرام دیجیتال ۲۸
شکل ۲-۱۴ – دیاگرام داخلی یک سیستم نمایشگر فشارخون ۲۹
شکل ۲-۱۵ – طیف جذبی هموگلوبین در دو حالت خود ۳۰
شکل ۲-۱۶ - ساختار یک شکل موج PPG ۳۱
شکل ۲-۱۷ - دیاگرام داخلی یک پالس اکسیمتر دیجیتال ۳۱
شکل ۲-۱۸ - دیاگرام یک سیستم دماسنج دیجیتال ۳۲
شکل ۲-۱۹ - دیاگرام داخلی یک سیستم الکتروانسفالوگراف دیجیتال ۳۲
شکل ۲-۲۰ – نمونه اطلاعات ثبت‌شده توسط الکتروانسفالوگراف ۳۳
شکل ۳-۱ – معماری یک سیستم نظارت زیستی-پزشکی مبتنی بر اینترنت اشیا ۳۶
شکل ۳-۲ – انواع شبکه‌های مخابراتی مورداستفاده در اینترنت اشیا و درصد آن‌ها در بازار ۳۸
شکل ۳-۳ – شمای یک اکوسیستم اینترنت اشیا مبتنی بر LoRaWAN ۳۸
شکل ۳-۴ – برد توسعه پیشنهادی از LOLIN32 از خانواده ESP32 ..... ۴۰
شکل ۳-۵ – لایه‌های LoRaWAN و همچنین فرکانس کاری در محدوده‌های مختلف ۴۱
شکل ۳-۶ – شمای کلی یک اکوسیستم اینترنت اشیا بر اساس LoRaWAN ۴۳
شکل ۳-۷ – معماری یک سیستم مبتنی بر "LoRa Server Project" ۴۵

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقض مفاد قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

شکل ۴-۱ –دیاگرام منطقی مدل پیشنهادی ۴۹
شکل ۴-۲ – دیاگرام منطقی گره حس‌گر و عملگر ۵۰
شکل ۴-۳ - تصویر گره پیاده شده بروی برد آزمایشگاهی ۵۲
شکل ۴-۴ – یک آنتن تک قطبی بروی زمین مجازی ۵۵
شکل ۴-۵ – آنتن تک پل یک چهارم موج بروی زمین مجازی ساخته شده ۵۵
شکل ۴-۶ - دیاگرام دروازه تک کانال مبتنی بر ESP32 ..... ۵۷
شکل ۴-۷ – تصویر خروجی کنسول دروازه مبتنی بر ESP32 ..... ۵۸
شکل ۴-۸ - مدار دروازهESP32 پیاده شده بر روی برد آزمایشگاهی ۵۸
شکل ۴-۹ – دروازه تک کانال مبتنی بر Raspberry Pi 3+ ۵۹
شکل ۴-۱۰ – تصویر خروجی کنسول دروازه مبتنی بر Raspberry Pi 3+ ۶۰
شکل ۴-۱۱ – تصویر دروازه پیاده شده بروی Raspberry Pi 3+ ۶۱
شکل ۴-۱۲ – مودم و برد Raspberry Pi 3+ به‌صورت جداگانه ۶۱
شکل ۴-۱۳ – خروجی کنسول سرور شبکه در زمان راه‌اندازی ۶۲
شکل ۴-۱۴ – خروجی کنسول سرور کاربردی بعد دریافت اولین پیام از گره LoRaWAN .. ۶۳
شکل ۴-۱۵ – تعریف مشخصات اتصال سرور شبکه ۶۴
شکل ۴-۱۶ – تعریف سازمان جدید در سرور کاربردی ۶۴
شکل ۴-۱۷ –تعریف پروفایل برای سرویس جدید ۶۵
شکل ۴-۱۸ – تعریف پروفایل برای گره‌ها در سیستم ۶۵
شکل ۴-۱۹ - تعریف دروازه‌ها در سیستم با واردکردن Gateway ID ۶۶
شکل ۴-۲۰ – تعریف سرویس کاربردی در سیستم ۶۶
شکل ۴-۲۱ - تعریف گره در زیرمجموعه سرویس کاربردی با واردکردن کلیدهای مربوطه ۶۷
شکل ۴-۲۲ – نمایش اطلاعات دریافتی رمزگشایی‌شده در سیستم ۶۷
شکل ۴-۲۳ – تعریف سرور ThingsBoard جهت ادغام سرور کاربردی در آن ۶۸
شکل ۴-۲۴ – نتیجه نهایی پس از طراحی درگاه در ThingsBoard ۶۸
شکل ۴-۲۵ – نتیجه نهایی پس از طراحی درگاه در ThingsBoard ۶۹

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقض حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ - نمونه‌هایی از انواع حسگرهای مورداستفاده در اینترنت اشیا..... ۱۳
جدول ۲-۲ - نمونه‌هایی از: انواع عملگرهای مورداستفاده در اینترنت اشیا..... ۱۴
جدول ۲-۳ - تقسیم‌بندی فن‌آوری‌های مخابراتی مورداستفاده در اینترنت اشیا..... ۱۸
جدول ۲-۴ - برخی از اسامی مترادف در صنعت اینترنت اشیا..... ۲۳
جدول ۴-۱ - فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در گره..... ۵۱
جدول ۴-۲ - پارامترهای تنظیم‌شده در دروازه‌ها و گره‌ها..... ۵۴
جدول ۴-۳ - فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در دروازه ESP32..... ۵۷
جدول ۴-۴ - فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در گره..... ۶۰
جدول ۵-۱ - عملکرد سیستم و سطح سیگنال دریافتی..... ۷۲

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فهرست کلمات اختصاری

6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
AES	Advanced Encryption Standard
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
BLE	Bluetooth Low Energy
CoAP	Constrained Application Protocol
CSS	Chirp Spread Spectrum
FIT	Future Internet Testing Lab.
HMI	Human-Machine Interface
HTML	Hypertext Markup Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Research Task Force
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ISM	Industrial Scientific and Medical
LMiC	LoraMAC-in-C
LoRa	Long Range
M2M	Machine to Machine
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NB-LTE	Narrowband Long-Term Evolution
NFC	Near-field Communication
OS	Operating System
PaaS	Platform as a Service or Program as a Service
RFID	Radio-Frequency Identification
RTOS	Real-Time Operating System
SaaS	Software as a Service
SMQ	Simple Message Queue
TTN	The Things Network
ULP	Ultra-Low Power
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
WSN	Wireless Sensor Network
WWW	World Wide Web

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر بایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فصل اول: مقدمه

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

۱-۱- مقدمه

اینترنت ا شیا شاید یکی از مو ضوعات داغ در حال حا ضر با شد اما مفهوم جدیدی نیست. در اوایل سال ۲۰۰۰ کوین ا شتون کارهای اولیه را در جهت آنچه که بعدها به اینترنت ا شیا در MIT تبدیل شد را انجام داد [۱]. مفهوم ساده بود اما قدرتمند، که تمام اشیا در زندگی روزانه ما به ارتباطات بی‌سیم و توانایی تبادل با یکدیگر مجهز شده و بتوانند توسط کامپیوترها مدیریت شوند. در این زمان این دیدگاه نیازمند توسعه فن‌آوری‌های جدید است، چگونه می‌توانیم تمام اشیا را در این سیاره به یکدیگر متصل کنیم؟ چه نوع اتصال بی سیمی قابل پیاده سازی در اشیا خواهد بود؟ چه تغییرات بنیادی جهت اتصال میلیاردها شیء در زیرساخت‌های مخابراتی موردنیاز خواهد بود؟ چگونه به این اشیا نیرورسانی کنیم؟ چگونه آن‌ها را مقرون‌به‌صرفه کنیم؟ و بسیاری سوال دیگر که باید در این راستا به آن‌ها پاسخ داده شود.

۱-۲- کلیات

اینترنت در چند دهه گذشته روند ثابت تکاملی خود را داشته است. در روزهای اول ظهور، اینترنت با عنوان شبکه تارعنکبوتی جهانی[1] شناخته می‌شد، که شبکه‌ای از اسناد HTML ایستای[2] متصل به یکدیگر در بالای ساختار اینترنت قرار داشت را شامل می شد و توسط شرکت‌های تجاری جهت انتشار اطلاعات برای مردم مورد استفاده قرار می گرفت. این شبکه به‌تدریج به وب۲ تکامل یافت که شبکه‌ای با ارتباط دوسویه بود. در این شبکه کاربر می‌توانست با شبکه درکنش و تعامل قرار گیرد. وب۲ حاوی خدمات شبکه‌های اجتماعی[3]، وبلاگ‌ها[4] و ویکی‌ها[5] می‌شد و پس از مدتی این فن‌آوری‌ها جزئی ضروری از تعاملات اجتماعی و تجاری گشتند. در وب۳ مراکز تحقیقاتی کار را تا جایی پیش بردند تا اینترنت را شبکه‌ای قابل‌درک برای ماشین‌ها کنند و ماشین‌ها و روبات‌های جستجوگر هوشمندتر عمل کرده و بتوانند اطلاعات را به‌خودی‌خود و بدون دخالت انسان به اشتراک بگذارند. پس‌ازآن نوبت وب۴ رسید

[1] World Wide Web
[2] Static
[3] Social networking services
[4] Blogs
[5] Wikis

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با بایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

که شبکه توان کنش‌های هوشمندانه را دارا شد. [۲].

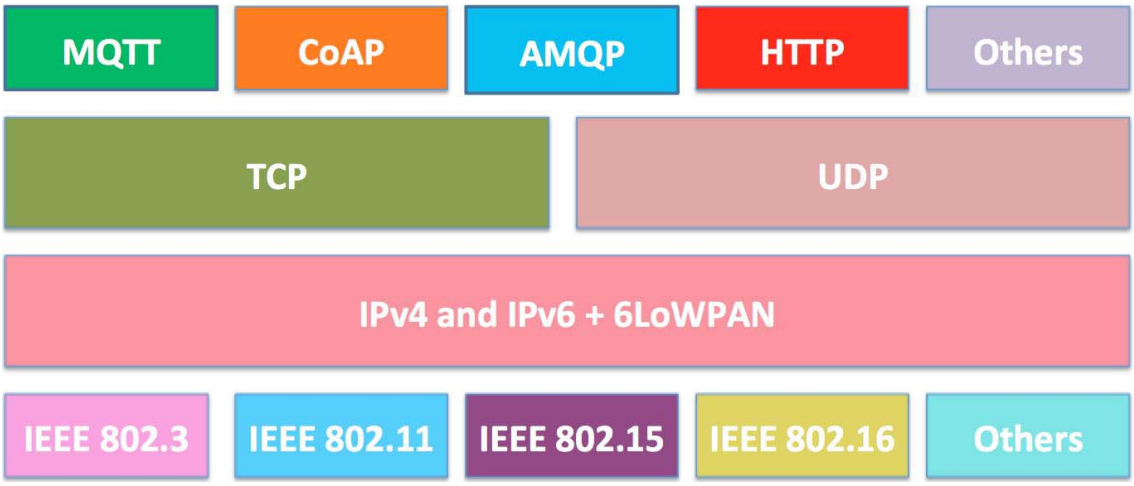
بعد از این با پا به عرصه گذاشتن RFID[1] و NFC[2] و شبکه‌های حس‌گر[3] افق‌های جدید نمایان شد که این اجازه را می‌داد که ماشین‌ها با ماشین‌ها[4] در ارتباط قرار گیرند و طیف وسیعی از تجهیزات خودران[5] و خود سازمان‌ده[6] در ایجاد محتوای اینترنت مشارکت کنند. این الگوی جدید پیش‌زمینه تعریف مفهوم جدیدی به نام اینترنت اشیا شد.

در ادامه این دیدگاه نیاز به توسعه زیر ساخت‌های اینترنت چه ازلحاظ نرم‌افزاری و چه سخت‌افزاری رسید. در نگاه اول تعداد آدرس‌های موجود یعنی $۲^{۳۲}$ آدرس اینترنتی که به‌خودی‌خود در حال پایان بود نیاز به ارتقا اینترنت نسخه ۴[7] به اینترنت نسخه ۶[8] یعنی $۲^{۱۲۸}$ آدرس اینترنتی را الزامی کرد [۳]. پس‌ازآن با توجه به نیازهای خاص اینترنت اشیا، IETF[9] و سایرین مأمور تدوین استانداردها و پروتکل‌های جدیدی، که پاسخگوی نیاز این مفهوم جدید باشد، شدند. ازاین‌دست می‌توان به CoAP ، MQTT ، SMQ ، AMQP و Websocket و بسیاری دیگر اشاره کرد، نیازی به تأکید نیست که HTTP کماکان جایگاه خود را در این جریان حفظ کرده است و هرکدام از این پروتکل‌ها کاربردها و نقاط قوت خود را دارا می‌باشند [۴].

در لایه‌های فیزیکی علاوه بر استانداردهای IEEE 802.11 یا همان Wi-Fiو IEEE 802.15.4 که پیش‌تر برای شبکه حس‌گر بی‌سیم مورداستفاده قرارگرفته بود، استانداردهای جدیدی همچون LoRA و Sigfox برای ارتباطات برد بالا و NB-LTE برای ارتباطات سلولی پا به عرصه مخابرات گذاشتند تا تکه‌های این پازل را تکمیل کنند.

[1] radio-frequency identification
[2] Near Field Communication
[3] Sensor Networks
[4] machine-to-machine
[5] autonomous
[6] self-organizing
[7] Internet Protocol version 4
[8] Internet Protocol version 6
[9] Internet Engineering Task Force

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و با پایبندی قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۱-۱ – ساختار پشته[1] برای سیستم‌های اینترنت اشیا [۴]

از سوی دیگر نیازهای این بازار جدید، خصوصاً در صنعت و پزشکی، منجر به رقابت شدیدتری در تولید ریز سیستم‌های الکترومکانیکی[2] در بین تولیدکنندگان قطعات میکروالکترونیک[3] گشت و طیف وسیعی از این قطعات با فن‌آوری‌های فوق کم‌مصرف[4] روانه بازار شدند.

۱-۳- اینترنت اشیا و مهندسی پزشکی

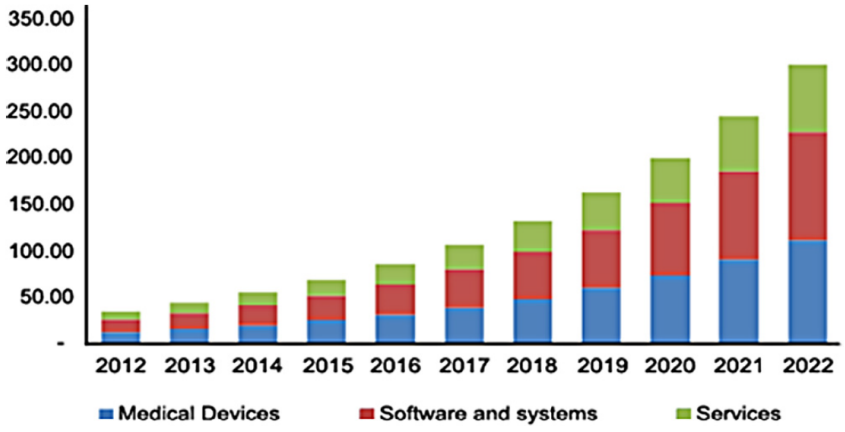
در سال‌های اخیر هم‌افزایی بین مراقبت‌های بهداشتی و فناوری جهش بزرگی در سراسر دنیا داشته است. برای مثال اینترنت اشیا و تحلیل کلان داده‌ها[5] به شکل فزاینده‌ای در نسل بعدی خدمات سلامت الکترونیک[6] و سلامت سیار[7] محبوبیت کسب می‌کند.

اینترنت‌اشیا در مراقبت‌های بهداشتی و بازار تجهیزات پزشکی، سیستم‌ها، نرم‌افزار و خدمات را پوشش می‌دهد. براساس تحلیل‌های بازار کشور آمریکا انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۲ سهم اینترنت اشیا در

[1] Stack
[2] Micro-electro-mechanical systems
[3] Micro-electronics
[4] Ultra-low power
[5] Big-Data Analytics
[6] eHealth
[7] mHealth

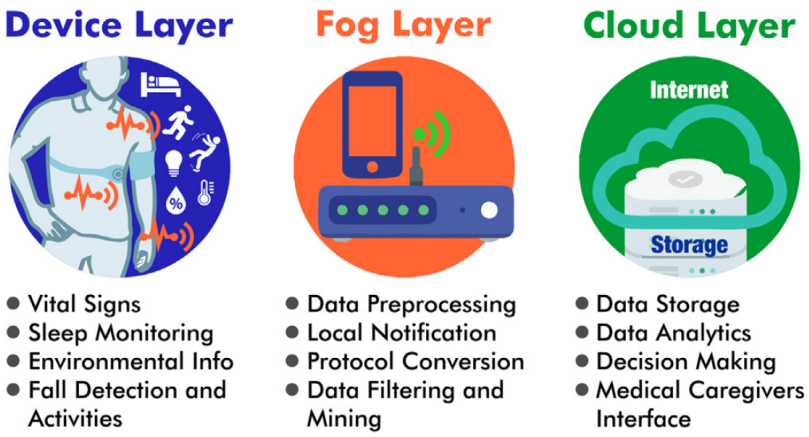
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

بازار مراقبت‌های بهداشتی این کشور بالغبر ۳۰۰ میلیارد دلار شود.



شکل ۱-۲ - افزایش سهم اینترنت اشیا در مراقبت‌های بهداشتی آمریکا از ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ [۵]

شکل ۱-۳ عناصر عمومی موردنیاز اینترنت اشیا در حوزه سلامت را تشریح می‌کند که شامل سه بخش اصلی می‌باشد، اول شبکه حسگرهای ناحیه بدن[1]، دوم دروازه‌های متصل به اینترنت که از آن‌ها همچنین به‌عنوان لایه مه[2] یا شبکه دسترسی محلی[3] نیز نام‌برده می‌شود و سوم لایه ابری[4]. اطلاعات تولیدشده توسط حسگرهای متصل به بدن افراد، اطلاعات را در هر مکان و زمانی برای پزشکان، خانواده و هر فرد مجاز دیگری مهیا و امکان گرفتن تصمیمات هوشمندانه در حوزه سلامت را ممکن می‌کند [۵].



شکل ۱-۳ - معماری عناصر سیستم‌های اینترنت اشیا در حوزه سلامت [۵]

[1] Body area sensor network
[2] Fog layer
[3] Local access network
[4] Cloud layer

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از آثار پژوهشگران علمی و تحقیقات فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

با استفاده از الگوریتم‌های استنباط و تکنیک‌های یادگیری ماشین، سیستم اینترنت اشیا سلامت می‌تواند بر اساس اندازه‌گیری‌های حسگرها و همچنین تاریخچه بیماران بازخورد در مورد وضعیت حال و پیش‌بینی از آینده بیمار ارائه دهد [۵].

۱-۴- اهداف این پایان‌نامه

اهداف این پایان نامه به صورت اختصار با بررسی اکوسیستم اینترنت اشیا در حوزه سلامت و چندین نوع حسگر در حوزه مهندسی پزشکی وهمچنین بررسی عملکرد شبکه های LoRa و LoRaWAN آغاز و با طراحی و پیاده‌سازی یک مدل کاربردی اینترنت اشیا با رویکرد پزشکی و بررسی و ارزیابی عملکرد مدل مذکور به پایان خواهد رسید.

۱-۵- بخش‌های پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل مجزا تدوین و نگارش شده است، که فصل اول مقدمه و در ادامه در فصل دوم مبانی نظری و ادبیات موضوع این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم طرح‌های پیشنهادی برای اجرای موضوع پایان‌نامه بررسی شده و سپس فصل چهارم گزارشی از نحوه پیاده‌سازی و اجرای سخت‌افزار و نرم‌افزار به‌صورت یک اکوسیستم کامل می‌باشد و درنهایت در فصل پنج نتایج تحقیق جمع‌بندی و نتیجه‌گیری خواهد شد.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل یا بازنشر آن بدون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فصل دوم: مبانی نظری و ادبیات

تحقیق

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از آثار پژوهشگران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

۲-۱- مقدمه

اینترنت اشیا به‌عنوان انقلاب بعدی در فناوری تلقی می‌شود. اصطلاح اینترنت اشیاء برای تجسم بخشیدن به چشم‌اندازی از جهان، شامل اشیاء و آیتم‌های متصل به هم یا همان اتصال به ازا همه‌چیز بکار می‌رود. مفهومی که امروزه اینترنت اشیا نامیده می‌شود ریشه در رشته‌های تحقیقاتی متنوعی همچون WSN[1] و M2M[2] و Smart Objects و RFID[3] دارد. اینترنت اشیا درنهایت منجر به ایجاد دنیایی با اشیا هوشمندتر و دارای هویت دیجیتال خواهد شد.

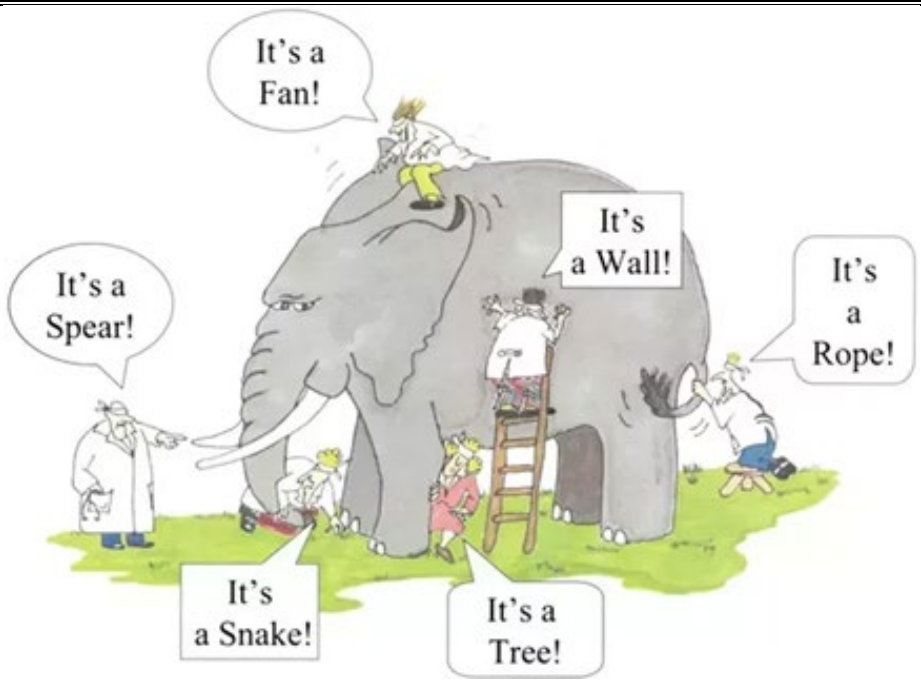
۲-۲- اینترنت اشیا چیست؟

اینترنت اشیا اشاره به اشیائی با هویت منحصربه‌فرد و دارای جلوه‌های مجازی در یک شبکه با ساختاری شبیه به اینترنت دارد [۶]. اینترنت ا شیا ا شاره به ا شیائی قابل شنا سایی و منح صربه‌فرد در یک ساختار اینترنت شکل[4] دارد [۷].هدف ا صلی این ا ست که هر چیزی شامل جاندار و بی‌جان به یکدیگر متصل و در تعامل باشند. با توجه به اینکه این‌یک تجربه جدید است، در این راستا مدل‌های بسیاری توسط محققان و شرکت‌های تجاری علاقه‌مند ارائه‌شده که گاهی تضادهایی را باعث می‌شوند که علت در تفاوت نگاه از جانب تخصص‌های مختلف می‌باشد.

برای درک سرمنشأ این اختلاف دیدگاه‌ها در مورد اینترنت اشیا می‌توان به حکایتی باستانی در مورد یک فیل و چند نابینا (یا فیل در تاریکی) اشاره کرد. در این داستان که به هند باستان نسبت داده می‌شود و در اشعار مثنوی مولوی نیز به آن اشاره شده، از شش فرد نابینا (یا افرادی با چشم‌بسته) خواسته می شود به فیل (که تا آن زمان نمی شناختند) نزدیک شده و با لمس آن چگونگی این موجود را بیان کنند. هر یک از این افراد بسته به قسمتی از فیل که لمس کرده‌اند چیز متفاوتی را تجربه و بیان می‌کنند که عملاً متفاوت با واقعیت فیل و بعضاً به نقطه‌ای که لمس کرده‌اند ربط دارد.

[1] Wireless sensor networks
[2] Machine-to-machine
[3] radio-frequency identification
[4] Internet-like

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

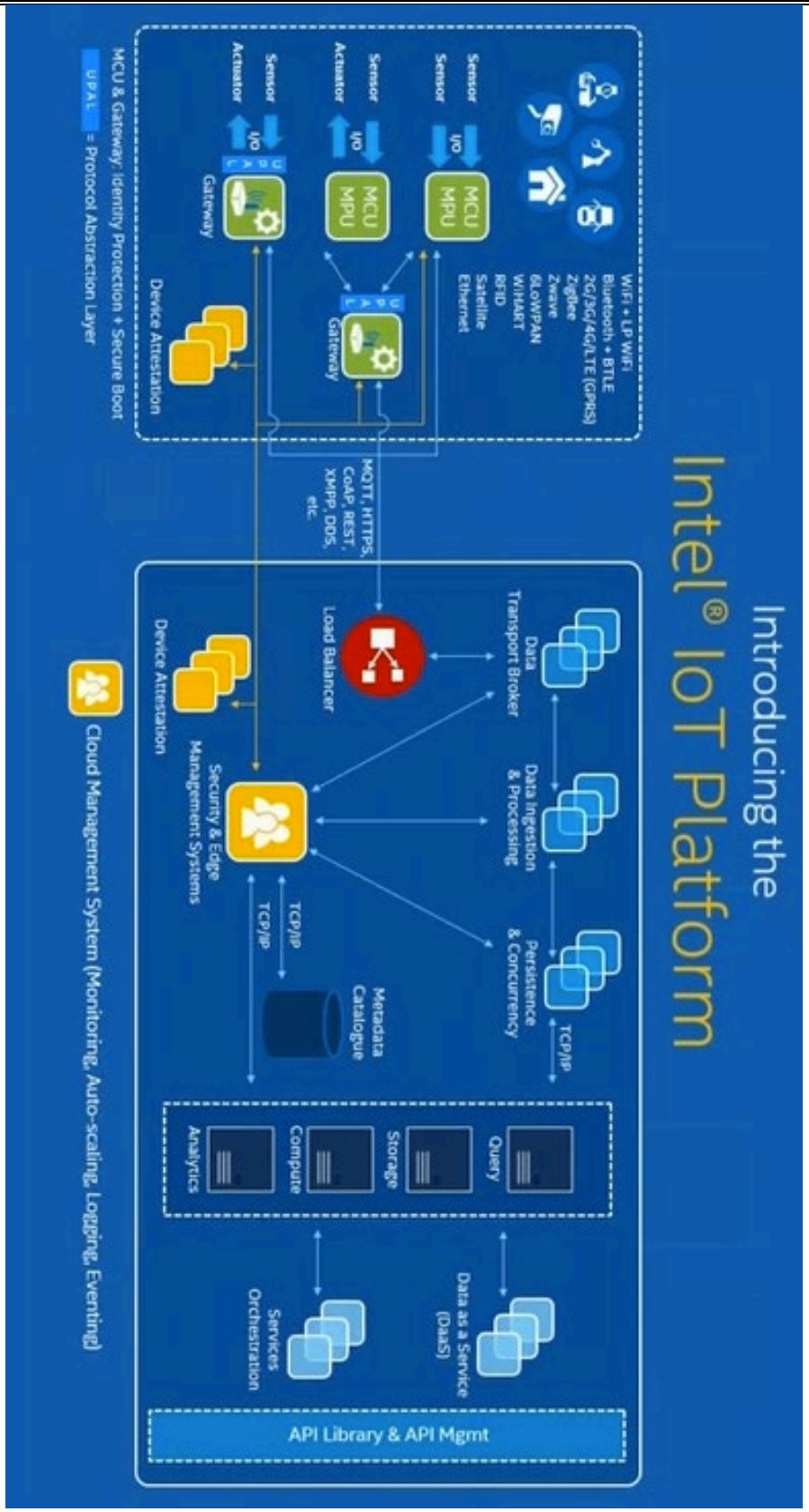


شکل ۲-۱ - فیل و شش مرد با چشمان بسته [۸]

این داستان در مواردی به کار می‌رود که متخصصین در رودررویی با یک مسئله بزرگ و نا شناخته (فیل) هر یک بسته به تخصص خود تعاریف متفاوتی را ارائه می‌دهند. پس در این مقطع از زمان تعاریف متفاوت از اینترنت اشیا خیلی دور از ذهن نیست.

شکل ۲-۲ - فیل و نگاه متفاوت متخصصین با تخصص‌های متفاوت به آن

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در فضای مجازی، تحقیقات فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۳ - ساختار یک اکوسیستم اینترنت اشیا [۹]

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ پژوهشهای علمی، آموزشی و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی و بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

در این راستا شرکت‌های پیشرو که از آن جمله می‌توان از شرکت اینتل نام برد، در جهت توصیف بهتر اینترنت اشیا اقدام به تعریف آن به‌صورت یک اکوسیستم[1] نمودند و این سیستم را به بخش‌های کلی بخش‌بندی کردند که می‌توان به بخش‌های زیر در آن اشاره کرد:

- **گره‌اینترنت اشیا یا IoT Node (Mote):**

گره[2] اینترنت اشیا بخشی است که اطلاعات را از حس‌گرها جمع‌آوری و یا توسط عملگرها به محیط پیرامونی اعمال، یا اطلاعات را در محل پردازش و توسط سیستم مخابراتی به واحدهای بالاتر ارسال و یا از آن دریافت می‌کند.

- **مرکز داده و تحلیل اینترنت اشیا[3]**

در این بخش، اطلاعات جمع‌آوری و آنالیز و ثبت می‌گردد تا درنهایت توسط سرویس‌ها به شکل‌های SaaS[4]، PaaS[5] و از این دست مورداستفاده قرار گیرند.

- **نرم‌افزار و خدمات برای اینترنت اشیا[6]**

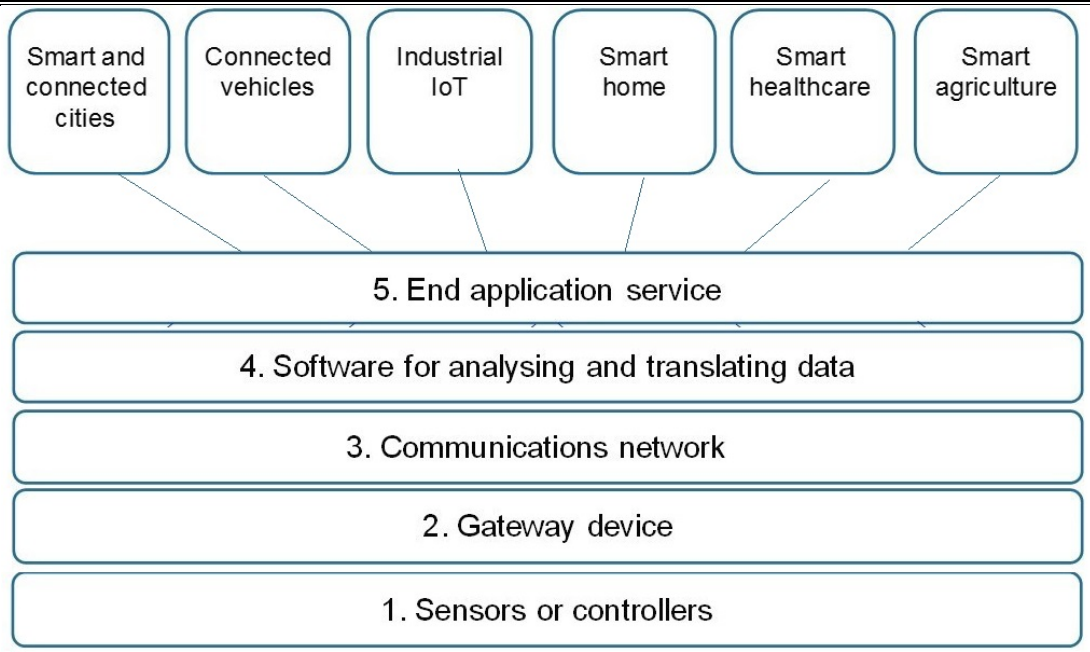
معمولاً آخرین بخش در اکوسیستم‌های اینترنت اشیا می‌باشد و هدف آن ارائه انواع سرویس‌ها به صورت ارکستر نرم‌افزاری و یا SaaS و PaaS می باشد و می‌توانند بسته به کاربردهای مختلف بهینه‌سازی و دست‌خوش تغییرات شوند و همین امر باعث هر چه گسترده‌تر شدن این مقوله شده است.

۲-۳- لایه‌های یک اکوسیستم اینترنت اشیا

مدل لایه‌بندی برای اکوسیستم اینترنت اشیا به شکل‌های مختلفی تاکنون نشان داده شده که هرچند شباهت‌های کلی بین آن‌ها وجود دارد ولی گاهی در جزییات متفاوت می‌باشند ولی به صورت خلاصه و جزئی‌تر لایه‌های این اکوسیستم را می‌توان به شرح زیر بخش‌بندی کرد:

[1] Eco-system
[2] Node
[3] Data Center and IoT Analytics
[4] Software as a Service
[5] Platform as a Service
[6] Software and Services for IoT

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا



شکل ۲-۴ - لایه‌های منطقی یک اکوسیستم اینترنت اشیا [۱۰]

۲-۳-۱- حسگرها[1] و عملگرها[2]

در این لایه معمولاً حسگرها اطلاعات را از محیط پیرامونی جمع‌آوری و توسط پردازنده‌های محلی پردازش می‌کنند. همچنین در این لایه گاهی سیگنال‌های دریافتی و اطلاعات فرم دهی[3] می‌شوند. ازاین‌دست حس‌گرها می‌توان به حس‌گرهای دما، فشار و یا ضربان قلب و بسیاری دیگر اشاره کرد. در کنار حس‌گرها عملگرهایی نیز می‌توانند وجود داشته باشند که فرمان‌هایی را به محیط ارسال کنند، برای مثال یک فن یا یک لامپ را روشن و یا خاموش نمایند. در زیر نمونه‌هایی چند از انواع حس‌گرهایی که می‌توانند در فضای اینترنت اشیا مورداستفاده قرار گیرند آورده شده است:

[1] Sensors
[2] Actuators
[3] Signal Conditioning

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با بند ۱ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

جدول ۲-۱- نمونه‌هایی از انواع حسگرهای مورداستفاده در اینترنت اشیا

نوع	عنوان انگلیسی
حس گر لیزر	Laser module
حس گر مادون‌قرمز	Infrared sensor
مبدل صوت	Sound transducer
حس گر شعله	Flame sensor
حس گر ردیاب خط	Line-tracking sensor
ماژول انکدر چرخشی	Rotary encoder module
ماژول‌هال مغناطیسی	Halo module
مبدل دما دیجیتال	Digital temperature sensor
حس گر لرزش جیوه‌ای	Mercury switch module
حس گر تراز	Tilt switch module
ماژول صفحه کلید	Switch key module
حس گر لرزش	Vibration switch module
مبدل دمای آنالوگ	Analog temperature sensor
میکروفن	Microphone sound sensor
ماژول التراسونیک	Ultrasonic module
ماژول دریافت مادون‌قرمز	Infrared receiving sensor
حس گر رطوبت و دما	Temperature and humidity sensor module
حس گر ضربان قلب	Finger heartbeat measurement module
حس گر لمسی	Metal touch module
حس گر اثر هال	Linear hall magnetic module
حس گر نوری	Light interrupt sensor module
حس گر مغناطیسی اثر هال	Hall magnetic sensor
حس گر حلقوی مغناطیسی	Mini magnetic ring sensor
حس گر حساس به نور	Photosensitive sensor module
حس گر دود	Smoke transducer

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

و چند نمونه از عملگرهای مورداستفاده نیز می‌تواند به شرح زیر باشند:

جدول ۲-۲- نمونه‌هایی از: انواع عملگرهای مورداستفاده در اینترنت اشیا

عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
ماژول نور RGB	RGB module
ماژول چراغ سبز و قرمز	Red / green module
ماژول التراسونیک	Ultrasonic module
رله ۵ ولتی	5V single channel relay
بازر فعال	Active buzzer module
بازر غیرفعال	Passive buzzer module
ماژول LED دورنگ	Dual color LED module
پمپ‌ها	Pumps
شیرها	Valves
فن‌ها	Fans
گرم‌کن‌ها	Heaters

در ادامه نیز چند نمونه از کیت‌های موجود در بازار جهانی به‌اختصار معرفی می‌گردد.

- **Texas Instruments SimpleLink™ SensorTag CC2650STK**

این محصول برای درک بهتر اینترنت اشیا و فضای ابری و همچنین پیاده‌سازی بهتر ایده‌ها در این رابطه ساخته و تولیدشده است. شرکت TI که یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه اینترنت اشیا و استانداردهای ارتباطی مورداستفاده در آن ازجمله Bluetooth و Zigbee می‌باشد، علاوه بر هدف تسهیل پیاده سازی ایده‌ها به معرفی سیستم-بر-تراشه[1]های خود با این شیوه کرده است. این کیت بر پایه ریز-کنترل گر[2] بی‌سیم CC2650 تا ۷۵ درصد مصرف کمتر بروی BLE نسبت به نمونه‌های پیشین خود ارائه

[1] System-On-Chip
[2] Microcontroller

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

می‌کند، که این توانایی کار بروی باتری تا سال‌ها را بر روی یک باتری سکه فراهم می‌کند. این کیت حامل ۱۰ حسگر MEMS بروی خود می‌باشد و همچنین اجازه افزودن حس‌گرهای دیگر را به کاربر خود می‌دهد. علاوه بر این Zigbee و 6LoWPAN نیز بروی این کیت قابل فعال‌سازی می‌باشند. ریز-کنترل گر CC2650 مبتنی بر معماری قدرتمند ARM® Cortex®-M3 می‌با شد و دارای فرکانس ساعت ۴۸ مگاهرتز، ۱۲۸ کیلوبایت حافظه فلش، ۸ کیلوبایت حافظه پنهان[1]، ۲۰ کیلوبایت حافظه ایستا است. بخش رادیویی آن از BLE 4.2 و IEEE 802.15.4 پشتیبانی می‌کند. در کنار این‌ها درگاه‌های متعدد را جهت توسعه در اختیار کاربر خود می‌گذارد و دارای یک مبدل ۱۲ بیتی با نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ کیلو نمونه بر ثانیه با ۸ ورودی می‌باشد.

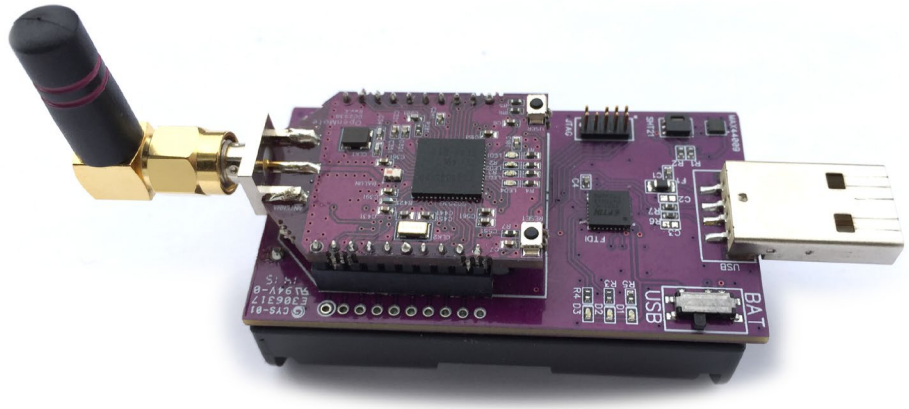
شکل ۲-۵ – Texas Instruments SimpleLink™ SensorTag CC2650STK

- **OpenMote-CC2538**

این کیت به‌توسط OpenMote Technologies سازنده سخت‌افزارهای متن‌باز برای صنعت اینترنت اشیا ساخته‌شده است. این کیت دارای ریز-کنترل گر CC2538 ساخت شرکت TI مبتنی بر معماری ARM® Cortex®-M3 می‌باشد و عمده تفاوت آن CC2650 عدم پشتیبانی از BLE می‌باشد.

[1] Cache

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل و نشر مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۶ - **OpenMote-CC2538**

- **TelosB**

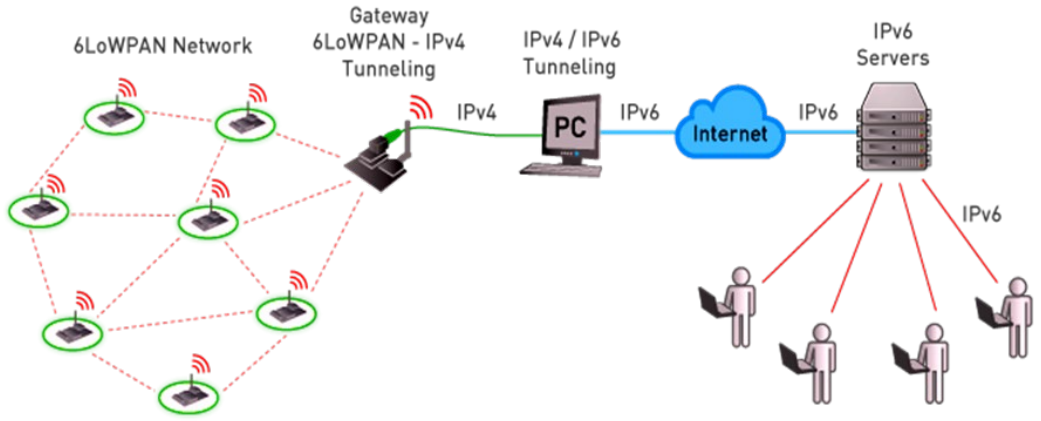
این کیت نیز به خانواده سخت‌افزارهای متن‌باز و فوق کم‌مصرف در انرژی، که توسط University of California, Berkeley توسعه‌یافته است، تعلق دارد. به گفته توسعه‌دهندگان با در نظر داشتن نرم‌افزار و سخت‌افزار قدرتمند در کنار مصرف انرژی کم و سادگی در استفاده بوده است. این خصوصیات این کیت را مناسب تحقیقات بروی شبکه حسگر بی‌سیم و اینترنت اشیا کرده است. بر روی این کیت حس‌گرهای رطوبت، دما و روشنایی در کنار پردازنده MSP430F1611 محصول TI تعبیه شده است که دارای ۴۸ کیلوبایت حافظه فلش، ۱۰ کیلوبایت حافظه و تراشه رادیویی CC2420 می‌باشد. این کیت کاملاً با TinyOS و ContikiOS سازگار است.

۲-۳-۲- دروازه[1]ها

دروازه به قسمتی از شبکه گفته می‌شود که اجازه می‌دهد داده‌ها بین دو شبکه مجزا جریان پیدا کنند [۱۱]. دروازه ها معمولاً وظیفه ترجمه و برقراری ارتباط بین دو محیط با پروتکل های متفاوت را بر عهده‌دارند. برای مثلاً زمانی که ما نیاز به تبادل اطلاعات بین دو سیستم مبتنی بر IPv6 و IPv4 داریم نیازمند یک دروازه هستیم. این دروازه‌ها می‌توانند به‌صورت فیزیکی و یا مجازی در یک اکوسیستم انجام‌وظیفه نمایند.

[1] Gateway

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ پژوهشگاه علوم و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. متن کامل حقوق حمایت از پدیدآوران، مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۷ - یک مثال از یک سیستم اینترنت اشیا و کاربرد دروازه در آن [۱۲]

۲-۳-۳- شبکه‌های مخابراتی

شبکه مخابراتی که یکی از مهم‌ترین ارکان این اکوسیستم می‌باشد وظیفه تبادل اطلاعات بین واحدهای مختلف خصوصاً بین لبه اینترنت اشیا با قسمت‌های بالایی را بر عهده دارد. این شبکه بسته به شرایط محیطی و مخابراتی و مسافت موردنیاز تغییر کرده و انتخاب می‌گردند. تا این لحظه فن‌آوری‌های مخابراتی پا به‌پای اینترنت اشیا رشد کرده و کمک بزرگی به این صنعت دارای آینده نموده‌اند. گروه‌بندی‌های مختلفی بر اساس شرایط و کاربرد این فن‌آوری‌ها ایجادشده است که در ادامه آورده شده است. بدیهی است هیچ‌یک از این فن‌آوری‌ها راه‌حل قطعی برای تمامی کاربردها را ارائه نمی‌کنند و هر کدام دارای محاسن و معایب خود هستند و بسته به نیاز و شرایط مورداستفاده قرار خواهند گرفت.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

جدول ۲-۳- تقسیم‌بندی فن‌آوری‌های مخابراتی مورداستفاده در اینترنت اشیا

گروه فن‌آوری	عنوان فن‌آوری مخابراتی	خصوصیات فن‌آوری
Mesh	Bluetooth (based on IEEE 802.15.4) Zigbee (based on IEEE 802.15.4) Z-Wave 802.11p (based on IEEE 802.11a) 6LoWPAN (IPv6 over IEEE 802.15.4) WiHART (based on IEEE 802.15.4) Thread (based on IEEE 802.15.4)	Short Range Mesh wireless sensor network Low Power Mostly Based on IEEE 802.15.4
Near Communication	NFC (Near-Field Communication) RFID	Ultra-Short Range Point to Point Communication Ultra-Low Power
Cellular	2G/3G/LTE Wibro/Mobile WiMax	Cellular Communication Long Range Communication Mobile
Long Range Low Power	Sigfox LoRa and LoRaWAN	Low Power Long Range Communication Mobile
Internet Communication	WiFi xDSL GPON	High throughput High bandwidth Mostly fixed and not mobile

در این جدول سعی شده اکثر فن‌آوری‌های پرکاربرد فهرست گردد ولی لازم به ذکر است بعضی از این فن‌آوری‌ها گاهی با اسامی متفاوتی نیز نامیده می‌شوند. برای مثال از فن‌آوری Bluetooth Low Energy با اسامی BLE و یا Bluetooth SMART نیز نامبرده می‌شود که اشاره به همان یک فن‌آوری دارد.

- **مدولاسیون LoRa™**

LoRa یک تکنیک مدولاسیون طیف گسترده[1] است که به‌توسط فن‌آوری CSS[2] کار می‌کند. این یک فن‌آوری اختصاصی بی‌سیم با برد بلند و مصرف توان پایین است که درواقع یکی از پایه‌ها شبکه‌های جهانی اینترنت اشیا شده است. فن‌آوری LoRa و پروتکل باز LoRaWAN™ راه‌کار بسیاری از مشکلات و چالش‌های پیش روی سیاره ما، زمین، را همچون مدیریت انرژی، کاهش منابع طبیعی،

[1] Spread spectrum
[2] Chirp spread spectrum

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و با پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

کنترل آلودگی و پیشگیری از بروز حوادث را ارائه می‌کند. هم‌اکنون LoRa ابزار شناخته شده بسیاری از مسائل همچون شهرها و ساختمان‌های هوشمند، کشاورزی هوشمند، اندازه‌گیری هوشمند[1]، زنجیره تأمین هوشمند و بسیاری دیگر موارد را ارائه کرده است. باوجود ۱۰۵ میلیون دستگاه در شبکه ۱۰۰ کشور که درحال‌افزایش نیز می‌باشند فن‌آوری LoRa سیاره‌ای هوشمند را خواهد ساخت [۱۳].

LoRa با استفاده از مدولاسیون CSS علاوه بر مصرف پایین انرژی همچون FSK توانسته به میزان بسیار زیادی برد مخابراتی خود را افزایش دهد. مدولاسیون CSS قبلا در صنایع نظامی به خاطر برد بالای مخابراتی و مقاومت در برابر تداخل آن مورداستفاده بوده است و LoRa اولین پیاده‌سازی ارزان‌قیمت تجاری این فن‌آوری است [۱۴].

- **پروتکل LoRaWAN**

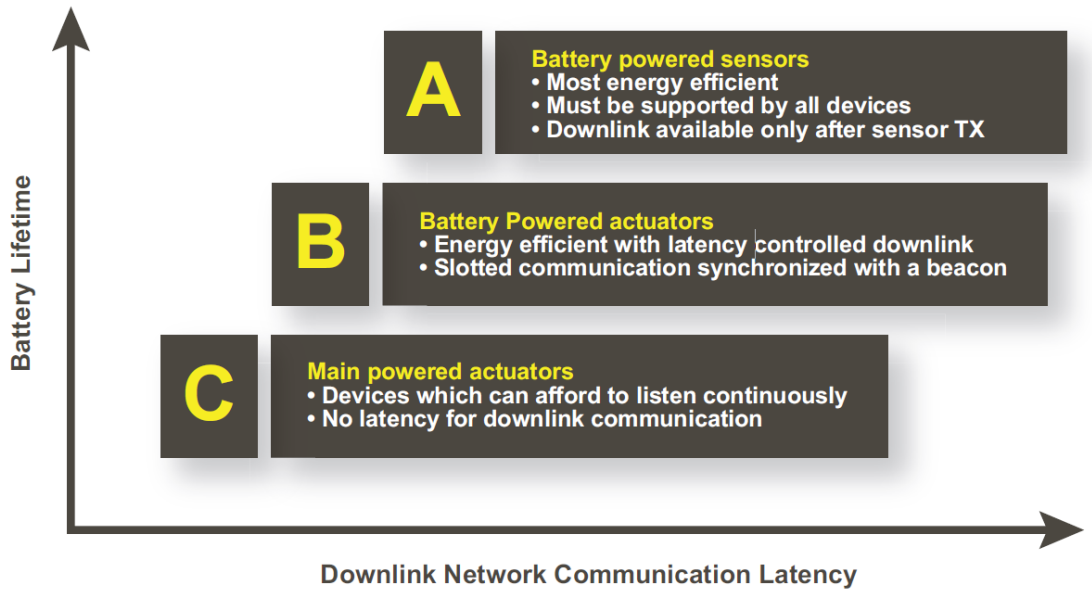
LoRaWAN یک معماری سیستم و پروتکل مخابراتی برای شبکه‌ای که بروی لایه فیزیکی دوربرد LoRaکار می‌کند، ارائه داده است. پروتکل و معماری این شبکه بیشترین تأثیر را در افزایش طول عمر باتری یک گره، ظرفیت شبکه، کیفیت خدمات، امنیت و انواع برنامه‌های ارائه شده توسط شبکه دارد. در این پروتکل نودها به سه دسته A، B و C تصمیم بندی می گردند.

۲-۳-۳-۱- حسگرهای با تغذیه باتری

برای کاهش مصرف انرژی فقط در صورت بروز یک وقفه و یا زمان‌بندی فعال و اطلاعات خود را ارسال کرده و برای مدت محدودی (حداکثر دو پنجره زمانی) به شبکه گوش می‌دهد تا در صورت وجود اطلاعات برای دریافت آن را دریافت کند و مجدد به خواب می‌رود. این دسته دارای کمترین مصرف انرژی در این دسته‌بندی‌ها هستند.

[1] Smart metering

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز بوده و تابع قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲–۸ – دسته‌بندی گره‌های انتهایی در شبکه LoRaWAN[۱۳]

عملگرها با تغذیه باتری

برای کاهش مصرف انرژی فقط در فواصل زمانی خاصی به شبکه گوش می‌دهند تا در صورت بودن اطلاعات مربوط آنها، آن را دریافت کنند. این دسته برای هماهنگ شدن با شبکه LoRaWAN خود را با بسته‌های راهنمای[1] ارسالی از دروازه‌ها ازنظر زمانی هماهنگ می‌کند و این مورد به سرور شبکه این امکان را می‌دهد که بداند چه زمانی عملگر به شبکه گوش می‌دهد تا اطلاعات را برای آن ارسال کند.

عملگرها با تغذیه از شبکه برق

گروه سوم که به آن‌ها گره‌های دوطرفه[2] نیز گفته می‌شود همیشه در حال گوش کردن به شبکه هستند تا پیام‌های خود را دریافت کنند و فقط در زمان ارسال اطلاعات به شبکه گوش نمی‌کنند. این دسته بیشترین میزان انرژی را مصرف می‌کند.

- **فن‌آوری LoRa و سلامت هوشمند**

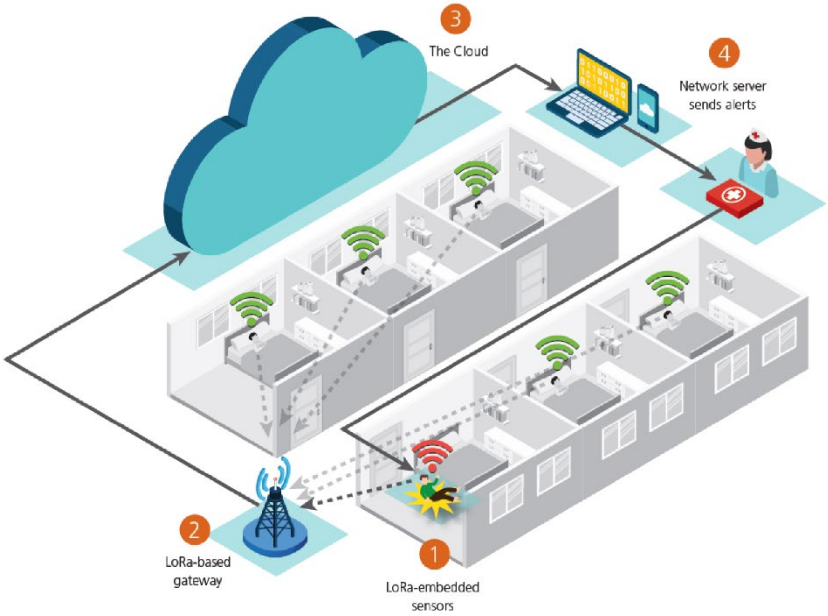
توان پایین، هزینه پایین، برد مخابراتی بالا و قابلیت اطمینان بالای فن‌آوری LoRa، آن را برای

[1] beacon
[2] Bi-directional

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از آثار پژوهشگران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

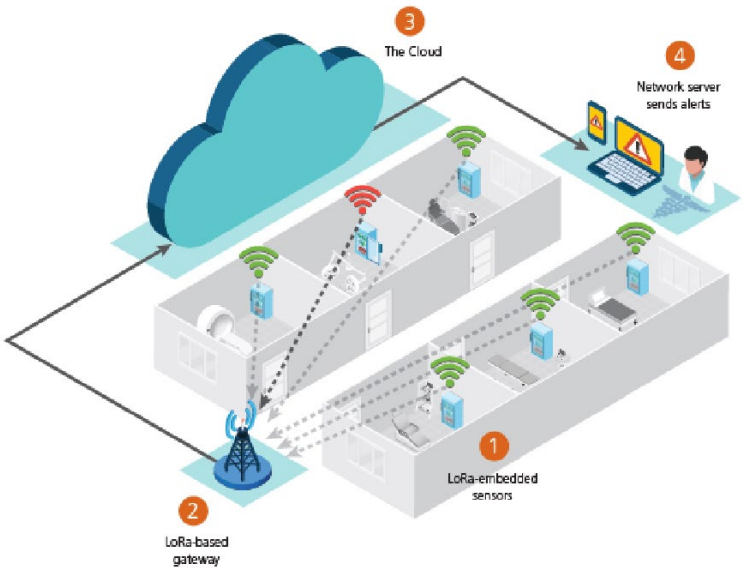
کاربردهای سلامت هوشمند بسیار مناسب کرده است. این فن‌آوری در موارد زیر توانسته است راه‌حل‌های مفیدی ارائه کند [۱۵]:

- کنترل دمای غذا و دارو
- ردیابی بیماران مبتلابه آلزایمر
- ردیابی بیماران مبتلابه زوال عقل
- ردیابی کودکان و نوجوانان
- نظارت بر سلامت اسکی‌بازها
- شناسایی افتادن سالمندان (شکل ۲-۹)
- نظارت بر سردخانه‌های دارو (شکل ۲-۱۰)



شکل ۲-۹ – سیستم شناسایی افتادن سالمندان بر اساس **LoRaWAN** [۱۵]

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۱۰ - سیستم نظارت بر سردخانه‌های دارو بر اساس **LoRaWAN** [۱۵]

۲-۳-٤- تحلیل‌کننده‌های نرم‌افزاری و تفسیر داده‌ها[1]

در این بخش سیستم‌های نرم‌افزاری قرار دارند که توان تحلیل و تفسیر و حتی پیش‌بینی بر اساس داده‌کاوی[2] و یادگیری ماشین[3] را دارا هستند و گاهی با در اختیار داشتن مدلی از سیستم توان پیشگویی را خواهند داشت. امروزه با تکیه‌بر مفاهیم کلان داده‌ها[4] پیشرفت‌های چشم‌گیری در این لایه در حال شکل‌گیری است.

۲-۳-۵- خدمت انتهایی

درنهایت در این لایه به ارائه سرویس پرداخته می‌شود که عملاً کاربرد موردنیاز این لایه را شکل می‌دهد. تاکنون شش گروه اصلی کاربرد در اینترنت اشیا تعریف‌شده است که به شرح زیر می‌باشند:

- Smart and Connected Cities
- Connected Vehicles

[1] Software analyzers and data interpreters
[2] Data Mining
[3] Machine learning
[4] Big-data

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

- Industrial IoT
- Smart Home
- Smart HealthCare
- Smart Agriculture

بدیهی است بخش‌های جدید در این فهرست در حال شکل‌گیری است. هرچند هر بخش از این لیست گاهی با اسامی دیگری نیز شناخته می‌شوند که به همین مفهوم اشاره دارند. برای مثال چندین نمونه از این تشابهات در زیر آورده شده است:

جدول۲-۴- برخی از اسامی مترادف در صنعت اینترنت اشیا

Smart and Connected cities	Smart metering, Smart Grid
Connected vehicles	V2X (V2V, V2I)
Industrial IoT	Industry 4.0
Smart home	Smart Energy, Smart Building, BMS
Smart HealthCare	Smart Hospital, ePatient, eHealth, Wearable Computers
Smart Agriculture	Smart Irrigation

۲-۴- سیستم‌های عامل کاربردی در IoT

تاکنون سیستم‌های عامل بسیاری در اینترنت اشیا به کار گرفته شده‌اند که البته بسته به نوع پردازنده به‌کاررفته و همچنین شرایط ازجمله توان مصرفی اشیا ممکن است مجبور به استفاده از نوع خاصی از سیستم‌های عامل شویم.

همان‌گونه که می‌دانید سخت‌افزارها و پردازنده‌ها گاهی در جهت کاهش مصرف انرژی محدودیت‌های سخت‌افزاری پیدا می‌کنند و در این راستا پردازنده‌هایی بکار برده می‌شوند که دارای حافظه و امکانات جانبی بسیار محدود هستند و از طرفی دیگر این سیستم‌های عامل باید بتوانند در شبکه‌های ناپایدار[1] و ناهمگن[2] نیز کار کنند. جهت کارکرد مناسب در این شرایط که اصلاح

[1] Lossy
[2] Heterogeneous

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل مطالب از متن، مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

"Constrained" معمولاً برای آن به‌کاربرده می‌شود، می‌توان از سیستم‌های عامل زیر که عموماً دارای متن‌باز[1] نیز می‌باشند استفاده کرد:

- FreeRTOS
- RTOS
- Contiki OS
- Tiny OS
- RIOT

در مقابل این سیستم‌های عامل و در شرایطی که با محدودیت‌های قبلی خصوصاً در مصرف توان و یا حافظه مواجه نباشیم، می‌توان از سیستم‌های عامل Linux مرسوم و یا Windows IoT Core 10 نیز بهره برد که در این شرایط توان پردازشی و انعطاف بالا به دست خواهد آمد.

۲-۵- سکوهای[2] رایانش ابری اینترنت اشیا

در بازار رقابتی اینترنت اشیا مؤسسات تجاری و تحقیقاتی اقدام به ایجاد سکوهای رایانش ابری جهت اینترنت اشیا نموده‌اند و با بالا بردن توان این سیستم چه ازنظر امکانات و توان پردازش و چه راحتی در برنامه‌نویسی و هم‌چنین ابزارهای مؤثرتر سعی در جذب کاربران و توسعه‌دهنده بیشتر به خود هستند.

همچون سایر بخش‌ها در این بازار هم ، بازار به دو بخش متن‌باز و متن بسته[3] (Vendor Specific) تقسیم می‌گردند. از اسامی شاخص در قسمت رایانش ابری اینترنت اشیا و می‌توان در متن‌باز به اسامی زیر اشاره نمود که سهم بالایی از توجه توسعه‌دهنده و محققین را به خود اختصاص داده‌اند:

- Kaa
- Thinger.io
- OpenIoT
- MainFlux
- ThingsBoard
- DeviceHiv
- And …

[1] Open-Source
[2] Platform
[3] Closed-Source

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

همان‌گونه که عنوان شد تعداد زیادی از شرکت عظیم نرم‌افزاری اقدام به ایجاد زیر ساخت‌های متن بسته و تجارتی نموده‌اند که اسامی شاخص زیر در آن‌ها دیده می‌شود:

- Microsoft Azure
- IBM Watson
- Oracle Could
- Intel® IoT Platform
- Cisco Jasper
- And …

هرکدام از این زیرساخت‌ها دارای سهم قابل‌توجهی از بازار کنونی اینترنت اشیا می‌باشند که در رقابت با یکدیگر اقدام به ارائه فن‌آوری‌های جدیدی در این راستا نیز می‌نمایند.

۲-۶- چالش‌های پیش روی اینترنت اشیا

به‌واسطه اینکه اینترنت اشیا باهدف اتصال کلیه اشیا به شبکه جهانی (اینترنت) به وجود آمده است چالش‌هایی نیز پیش روی آن قرار دارد که آزمایشگاه‌های بسیاری در تلاش برای رفع این چالش‌ها هستند. به‌صورت خلاصه می‌توان برخی از این چالش‌های به شرح زیر نام برد:

- **مصرف توان بالا (High Power Consumption)**

استفاده از قطعات فعال در اینترنت اشیا به معنی مصرف نیروی الکتریسیته در آن است و محدودیت تأمین این انرژی خود یکی از چالش‌های این صنعت به‌حساب می‌آید. لذا جهت استفاده بهینه باید فن‌آوری‌هایی به کار گرفته شود که بتوانند با کمترین انرژی مصرفی بالاترین کارایی را داشته باشند.

- **تطبیق‌پذیری کم (Low Adaptability)**

نیاز به تعامل و هم کنش[1] اشیا متصل از یک سو و تنوع عملکرد آن‌ها از سوی دیگر خود تبدیل به یکی از چالش‌های اینترنت اشیا شده است. از سوی دیگر نیاز به حضور برندهای مختلف در آینده الزام وجود یک استاندارد محکم را روزافزون می‌کند. سیستم باید به نحوی باشد که هر شیء از هر نوع بتواند

[1] Interaction

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

با اشیا دیگر به‌راحتی در تعامل و هم کنش باشد.

- **توسعه‌پذیری کم (Low Scalability)**

اینترنت ا شیا باید تو سعه‌پذیر با شد تا بتوان به‌مرورزمان با ر شد دادن آن کل دنیا را پو شش داد تنوع سیستم‌های مخابراتی به‌واسطه تنوع جغرافیا و کاربرد یکی دیگر از چالش‌های پیش روی اینترنت اشیا می‌باشد.

- **عدم انطباق با شبکه مبتنی بر IP (non-IP based connection)**

برخی از سیستم‌های مخابراتی مورداستفاده اینترنت اشیا مبتنی بر پروتکل‌هایی هستند که با شبکه‌های مبتنی بر IP سازگاری ندارند از همین رو برقراری ارتباط مناسب تجهیزاتی که از این نوع ارتباط‌ها استفاده می‌کنند مستلزم تکنیک‌های جدید می‌باشد.

- **امنیت و حریم خصوصی**

با توجه به تعداد بالای تجهیزات متصل به اینترنت در آینده و بهره‌برداری بعضاً شخصی از تجهیزات تهدید نفوذ غیرمجاز به این سیستم و بهره‌برداری‌های نامطلوب از آن‌ها و یا اطلاعات حاصل از آن‌ها می‌تواند چالش پیش روی طراحان و سازندگان این سیستم‌ها باشد که باید در راستای مقابله با آن از هم‌اکنون به فکر چاره بود.

۲-۷- ابزار پزشکی

ابزار یا دستگاه پزشکی وسیله‌ای است که در تشخیص، کاهش، درمان یا پیشگیری از بیماری مورداستفاده قرار می‌گیرد و شامل مواردی می‌شود که از طریق عمل شیمیایی به هدف اصلی خود نمی‌رسد. این تجهیزات معمولاً شامل ابزار دقیق، محرک‌ها، حسگرها می‌شوند. از این دست می‌توان الکتروکاردیوگراف[1]، ضربان‌ساز[2]، مانیتور فشارخون[3]، پالس اکسیمتر[4]، دماسنج، الکتروانسفالوگراف[5] را

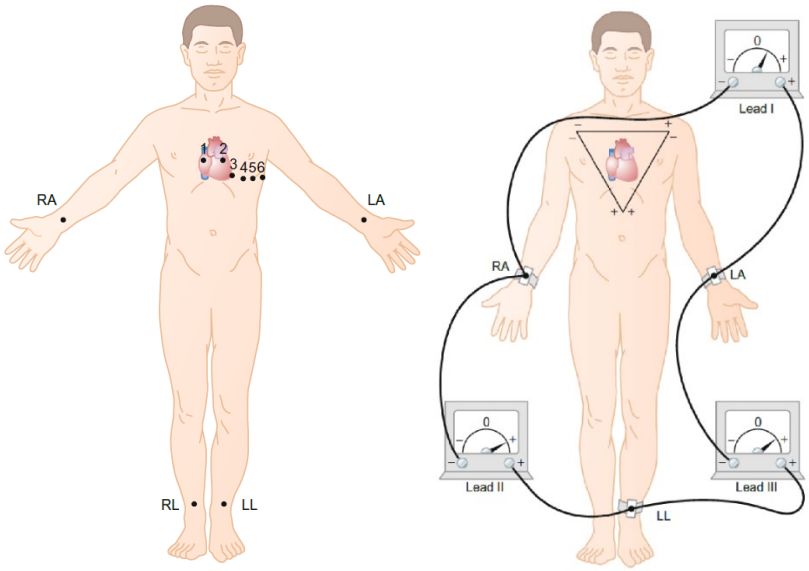
[1] electrocardiograph
[2] pacemaker
[3] blood pressure monitor
[4] pulse oximeter
[5] electroencephalograph

IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

نام برد [۱۶].

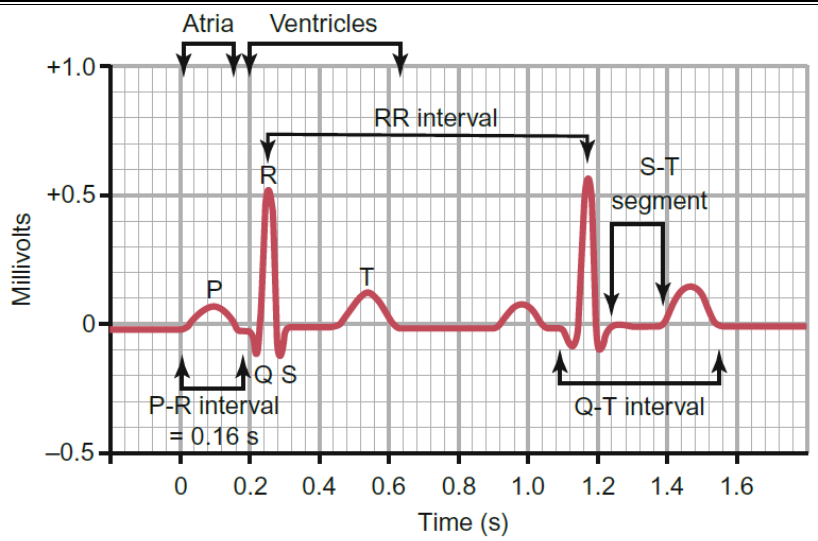
۲-۷-۱- الکترو کاردیو گراف

الکتروکاردیوگراف ابزاری است که می‌تواند سیگنال‌های الکتریکی-زیستی قلب را اندازه‌گیری، نمایش، ثبت و تجزیه و تحلیل کند. هر چرخه ضربان قلب مجموعه‌ای از وقایع فیزیولوژیکی پیچیده و هم‌زمان است که امکان انتقال اکسیژن در بدن را فراهم می‌کند. در حدود ۱ دقیقه ، ۵ تا ۶ لیتر خون از قلب به بافتها پمپ می‌شود و دوباره برمی‌گردد. ضربان قلب با تحریک الکتریکی شروع می‌شود و با بسته شدن دریچه مکانیکی به پایان می‌رسد [۱۶].



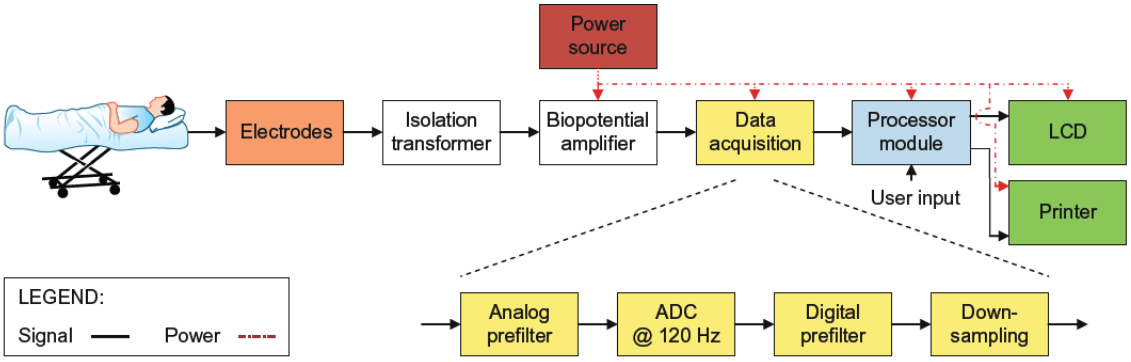
شکل ۲-۱۱ - نحوه اندازه‌گیری و جانمایی الکترودها جهت اتصالات الکتروکاردیوگرام [۱۶]

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با بایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۱۲ - ریتم سینوسی قلب ثبت‌شده توسط الکترود **Lead II** الکتروکاردیوگرام [۱۶]

ساختار یک الکتروکاردیوگرام دیجیتال در شکل ۲-۱۴ مشاهده می کنید.



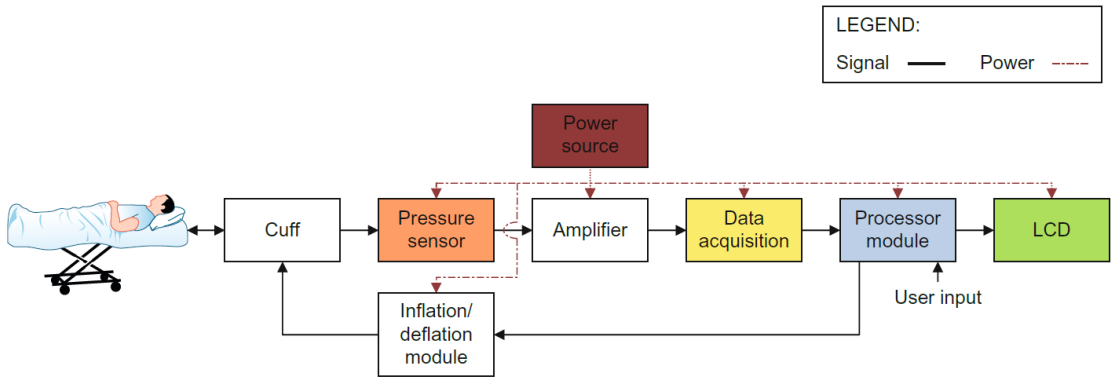
شکل ۲-۱۳ - شکل دیاگرام یک الکتروکاردیوگرام دیجیتال

۲-۷-۲- نمایشگر فشارخون

نمایشگر فشارخون ابزاری است که ما را قادر می‌سازد فشارخون سیستولیک[1] و دیاستولیک[2] اندازه‌گیری، ثبت و نمایش دهیم. شکل ۲-۱۵ دیاگرام یک نمایشگر فشارخون را نشان می‌دهد.

[1] systolic
[2] diastolic

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۲-۱۴ - دیاگرام داخلی یک سیستم نمایشگر فشارخون [۱۶]

۲-۷-۳- پالس اکسیمتر[1]

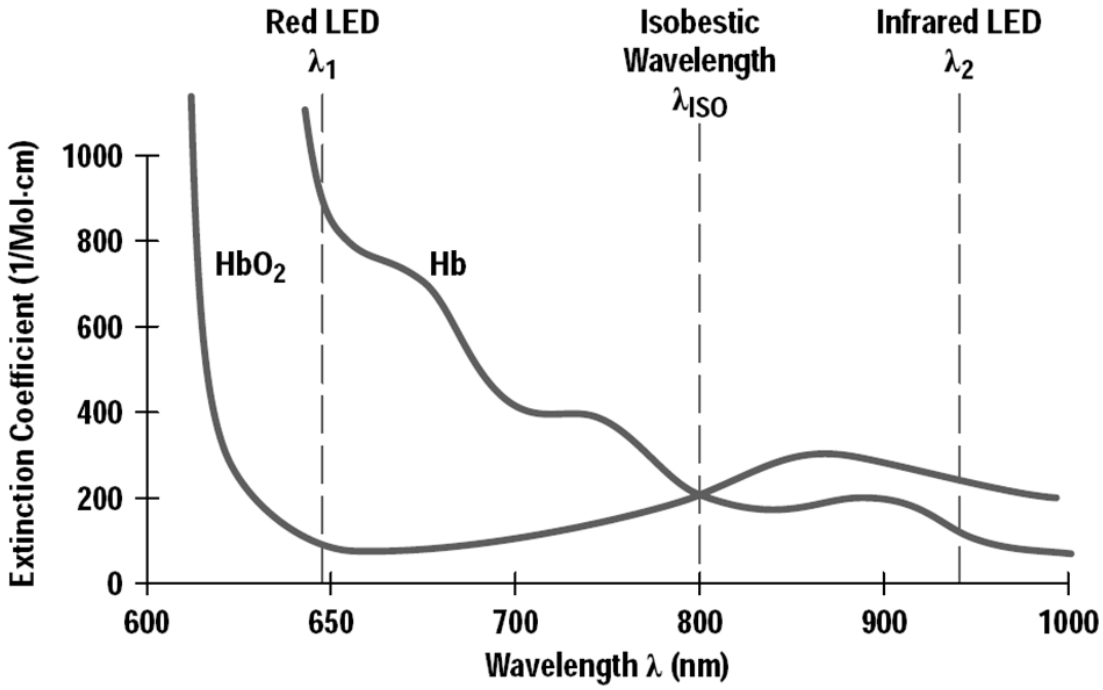
پالس اکسیمتر ابزاری است که میزان اشباع شدن اکسیژن در شریان را تخمین زده و نمایش می‌دهد. در ابتدا این ابزار در اتاق عمل بیمار ستان‌ها موردا ستفاده قرار می گرفت ولی بعداً پالس اکسیمتر در بخش مراقبت‌های ویژه و سپس در کلینیک‌ها نیز مورداستفاده وسیع قرار گرفت. امروز نیز در اکثر حس گرهای پوشیدنی[2] مورداستفاده وسیع دارد. به‌صورت خلاصه عملکرد بر اساس تفاوت جذب نور قرمز و مادون‌قرمز در هموگلوبین می‌با شد. هموگلوبین در ریه‌ها اکسیژن را جذب و دی‌اکسید کربن حا صل از سوخت‌وساز بدن را دفع و در سلول‌ها عمل برعکس را انجام می‌دهد. هموگلوبین در دو حالت اشباع‌شده از اکسیژن و اشباع شده از دی‌اکسید کربن در خون وجود دارد و تفاوت جذب نور قرمز و مادون‌قرمز در این دو حالت امکان تخمین میزان اشباع شدن اکسیژن را در خون ازاین روش را به ما می‌دهد. محاسبه درصد اشباع شدن خون از فرمول ۲-۱ به دست می‌آید. در این فرمول HbO_2 میزان هموگلوبین اشباع‌شده از اکسیژن و Hb میزآن‌هموگلوبین اشباع‌نشده از اکسیژن را نشان می‌دهد و درنهایت نرخ اشباع شدن اکسیژن در خون معادل SaO_2 می‌باشد.

[1] Pulse Oximeters
[2] Wearable sensors

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. متخلفان از مفاد قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

$$SaO_2 = \frac{[HbO_2]}{[Hb] + [HbO_2]} \qquad (۱-۲)$$

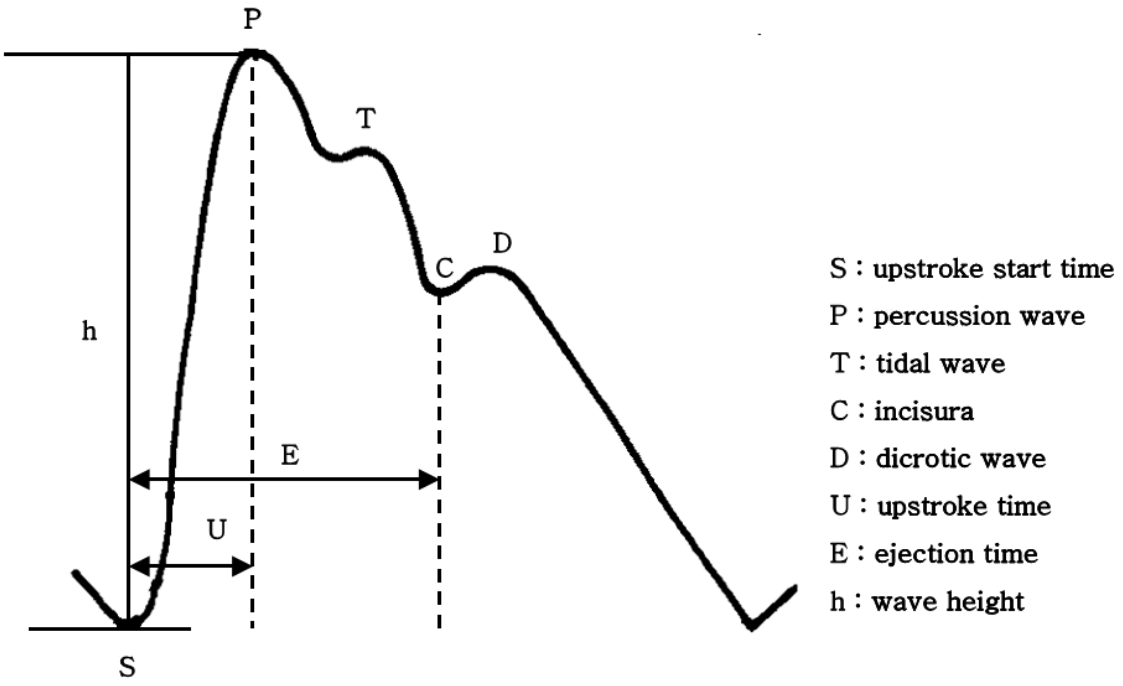
پالس اکسی متری یک روش اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری غیرتهاجمی است و معمولاً به شکل بازتابی مورداســتفاده قرار می‌گیرد. شــکل ۲-۱۵ طیف جذبی هموگلوبین را در بازه طول‌موجی ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر نشان می‌دهد [۱۷].



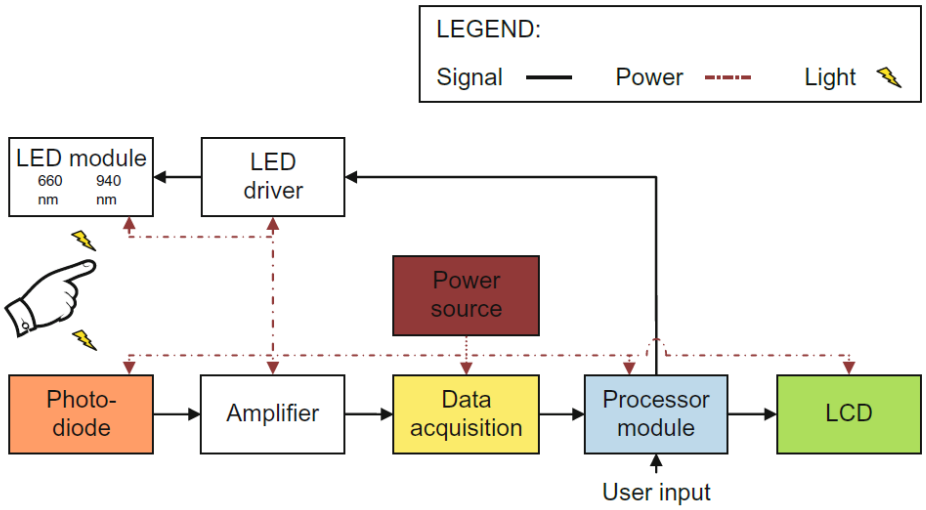
شکل ۲-۱۵ - طیف جذبی هموگلوبین در دو حالت خود [۱۷]

با رسم نمودار میزان جذب نور توسط خون برحسب زمان نمودار فتوپلتیسموگرام یا PPG به دست می‌آید که در شکل ۲-۱۶ نشان داده‌شده است.

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است. فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی،
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا



شکل ۲-۱۶ - ساختار یک‌شکل موج **PPG** [۱۷]



شکل ۲-۱۷ - دیاگرام داخلی یک پالس اکسیمتر دیجیتال [۱۶]

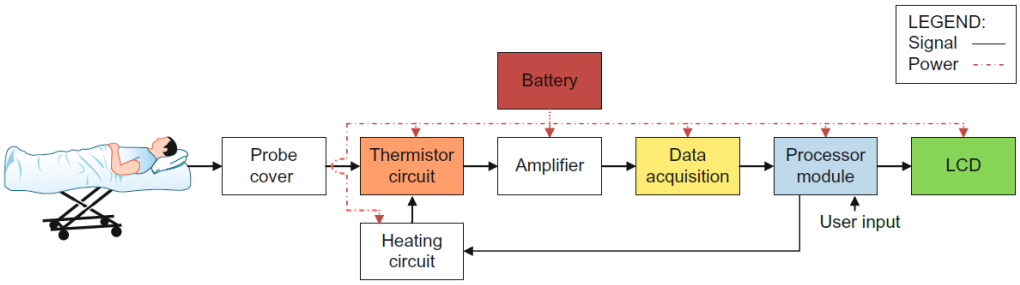
۲-۷-٤- دماسنج [1]

دماسنج وسیله‌ای است که مقدار دمای بدن تخمین و نشان می‌دهد. این ابزار به شکل وسیع و

[1] Thermometer

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و یا با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

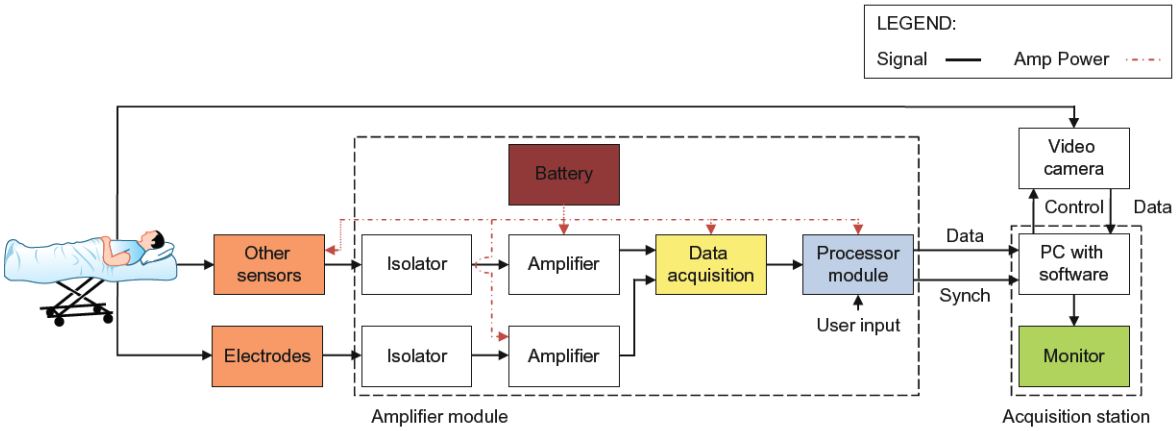
گسترده‌ای در خانه، بیمارستان و کلینیک‌های پزشکی مورداستفاده قرار دارد.



شکل ۲-۱۸ - دیاگرام یک سیستم دماسنج دیجیتال [۱۶]

۲-۷-۵- الکتروانسفالوگراف[1]

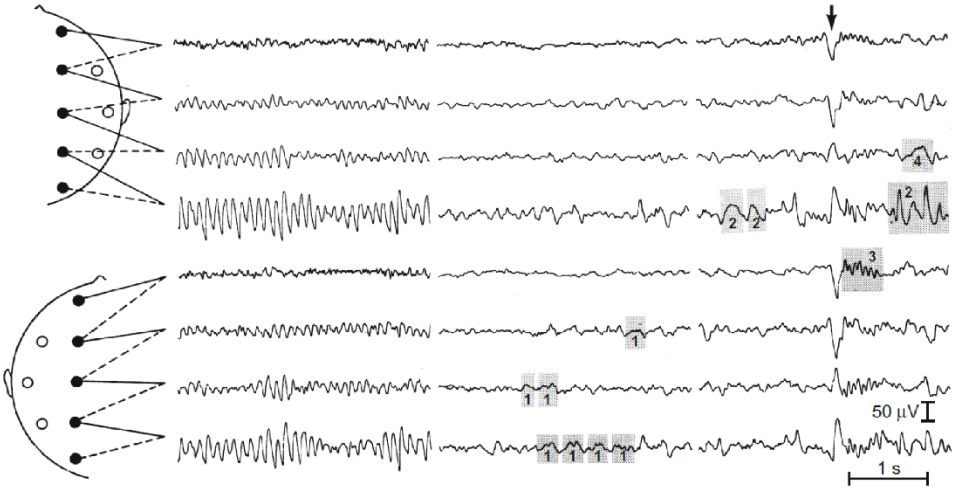
الکتروانسفالوگراف ابزاری است که می‌تواند سیگنال‌های الکتریکی-زیستی مغز به نام‌های الکتروانسفالوگرام یا EEG را اندازه‌گیری، ثبت، نمایش داده و تجزیه‌وتحلیل کند.



شکل ۲-۱۹ - دیاگرام داخلی یک سیستم الکتروانسفالوگراف دیجیتال

[1] Electroencephalograph

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شماره ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل مطالب از متن مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا



شکل ۲-۲۰ - نمونه اطلاعات ثبت‌شده توسط الکتروانسفالوگراف

۲-۸- نتیجه‌گیری

در این فصل اول به بررسی کلی اکوسیستم اینترنت اشیا، اجزا و چالش‌های آن و سیستم‌های مخابراتی مرتبط به‌صورت کلی پرداختیم. در ادامه مدولاسیون LoRa و پروتکل LoRaWAN و کاربردهای آن در سلامت بررسی شد و بعد از آن مختصری در مورد ابزارهای اندازه‌گیری در مهندسی پزشکی و روش عملکرد هر یک گفته شد. در فصل بعد مدل پیشنهادی یک اکوسیستم اینترنت اشیا با رویکرد پزشکی ارائه خواهد شد.

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

فصل سوم: مدل پیشنهادی برای حل مسئله

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز بوده و تابع قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

۳-۱- مقدمه

اینترنت اشیا پتانسیل ارتقا بسیاری از مسائل پزشکی همچون نظارت بر سلامت از را دور، تناسب‌اندام، بیماری‌های مزمن و مراقبت از سالمندان را دارا است. انطباق دارو و درمان در منزل نیز یکی دیگر از کاربردهای اینترنت اشیا در پزشکی می‌تواند باشد. در ادامه می‌توان به این باور رسید که با استفاده از IoT در مراقبت‌های پزشکی می‌توان کیفیت زندگی و هزینه‌های پزشکی را به شکل چشمگیری کاهش داد.

در حال حاضر آزمایشگاه‌های بسیاری در مراکز تحقیقاتی جهان در این موضوع تحقیقات انجام می‌دهند، چون پیش‌بینی می شود تا سال ۲۰۲۰ تعداد اشیا متصل به اینترنت برای هر فرد از ۱,۷ تا ۴,۳ افزایش یابد و به ۳۳ میلیارد شیء در جهان بالغ شود. در این صورت انجام تحقیقات و ایجاد آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در این راستا برای هر مرکز صنعتی و تحقیقاتی ضروری به نظر می‌رسد.

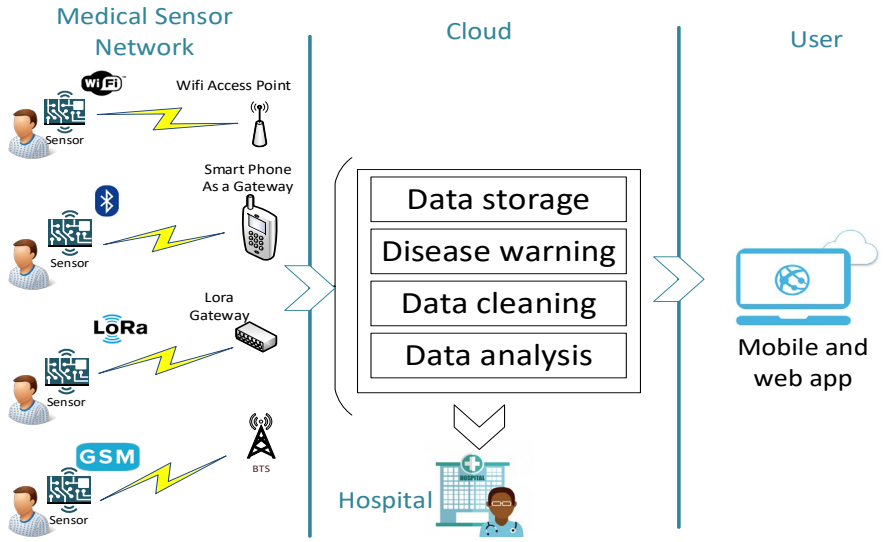
بنابراین هر پژوهشگاهی برای پیاده‌سازی عملی اینترنت اشیا نیازمند به آزمایشگاهی برای پیاده‌سازی و انجام آزمایش‌های عملی می‌باشد. ازجمله این آزمایشگاه‌ها می‌توان به IOT-LAB [۲]زیرمجموعه کنسرسیوم FIT اشاره کرد که بیش از ۲۷۰۰ حس‌گر بی‌سیم با توپولوژی‌های غیریکنواخت را در اختیار دارد. این کنسرسیوم توسط پنج مرکز بزرگ آموزش عالی فرانسه به هدف تحقیق بروی اینترنت اشیا پایه‌گذاری شده است.

۳-۲- مدل پیشنهادی

با توجه به اهدافی که در این پایان‌نامه دنبال می‌شود مدل پیشنهادی باید کل یک اکوسیستم اینترنت اشیا را پوشش داده و قابل پیاده‌سازی عملی باشد. در این راستا اول باید معماری مدل پیشنهاد شده و در مرحله بعدی راه‌کارهایی برای هر جز این معماری ارائه گردد تا در فصل‌های بعدی عملیاتی گردد.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

در شکل ۳-۱ قبلاً یک دیاگرام ازاین گونه اکوسیستم‌ها ارائه‌شده بود، در این بخش به شکل تخصصی‌تر و متناسب با نگاه مهندسی پزشکی این معماری بررسی می گردد. یک اکوسیستم زیستی-پزشکی[1] را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم‌بندی کرد که شامل شبکه حسگرها (حسگرها، سیستم مخابراتی و دروازه‌ها)، سیستم ابری اینترنت اشیا (با توانایی پشتیبانی از پروتکل‌ها، ذخیره داده‌ها، آنالیز و تحلیل داده‌ها) و درگاه گرافیکی و ارتباطی با کاربران و بهره‌بردار می‌باشد. بدیهی است هر بخش از این سیستم شامل زیر سیستم‌هایی می‌باشد که بعداً در زمان پیاده‌سازی به آن‌ها اشاره دقیق‌تری خواهد شد.



شکل ۳-۱ – معماری یک سیستم نظارت زیستی-پزشکی مبتنی بر اینترنت اشیا

در این ساختار باید سیستم به نحوی در نظر گرفته شود که هم بیماران و هم پزشکان و بهره‌برداران دارای قدرت مانور بالابود و هم‌زمان سیستم دارای توسعه‌پذیری و انعطاف لازم نیز باشد. برای رسیدن به این هدف بهترین راه‌کار می‌تواند این باشد که ترجیحاً از زیرساخت‌های موجود و پذیرفته‌شده جامعه کنونی استفاده گردد. برای مثال در لایه‌های مخابراتی می‌توان از LoRa که امروزه به خاطر خصوصیات خاص خود مورد استقبال فراوان قرارگرفته است و یا BLE که توسط اکثریت گوشی‌های همراه پشتیبانی می گردد استفاده نمود که درعین‌حال در نسخه آخر آن یعنی نسخه ۵ با رویکرد

[1] Biomedical

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران، با رعایت حقوق فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

اینترنت اشیا به آن نگاه شده و یکی از بهترین کاندیدها برای این انتخاب می‌تواند باشد و یا در لایه‌های ارائه سرویس می‌توان از واسط‌های گرافیکی تحت وب[1] استفاده نمود که بروی اکثر تجهیزات در سمت کاربران از گوشی‌های همراه و کامپیوترهای شخصی گرفته تا ماشین‌ها و روبات‌ها قابل‌استفاده می‌باشد.

امروزه یکی از بدیهی‌ترین انتظاراتی که از فن‌آوری می‌رود این است که سطح کیفی زندگی را بهبود و هم‌چنین باعث کاهش هزینه‌ها گردد. یکی از بخش‌های مهم در زندگی افراد مسائل مربوط به پزشکی و یا سلامت می‌باشد. بر همه پرواضح است که داشتن آزادی عمل برای یک بیمار و یا ورزشکار چقدر می‌تواند در سطح کیفیت درمان یا سلامت مؤثر باشد. از طرفی تمرکز تجهیزات پزشکی در مکان‌های مشخص در بیمارستان و معمولاً در فضاهای بسته بیماران را محدود به فضاهای خاصی می‌کند و از سوی دیگر لزوم حضور پزشک نیز در این محل‌ها الزامی است که در بسیاری از موارد در این مورد نیز محدودیت‌های وجود دارد. حال در این تحقیق با فرض وجود یک بیمارستان بزرگ یا یک مرکز ورزشی بزرگ جهت تمرین دادن ورزشکاران حرفه به دنبال ارائه و پیاده‌سازی راهکاری هستیم که بتوان با صرف هزینه قابل‌قبول به دامنه تحرک در گستره این فضای بزرگ نیز دست پیدا کنیم. بنابراین ایجاد یک اکوسیستم کامل اینترنت اشیا و پیاده سازی آن هدف اصلی این تحقیق خواهد بود، در ادامه کلیه اجزا پیشنهادی جهت پیاده‌سازی به تفکیک معرفی خواهد شد.

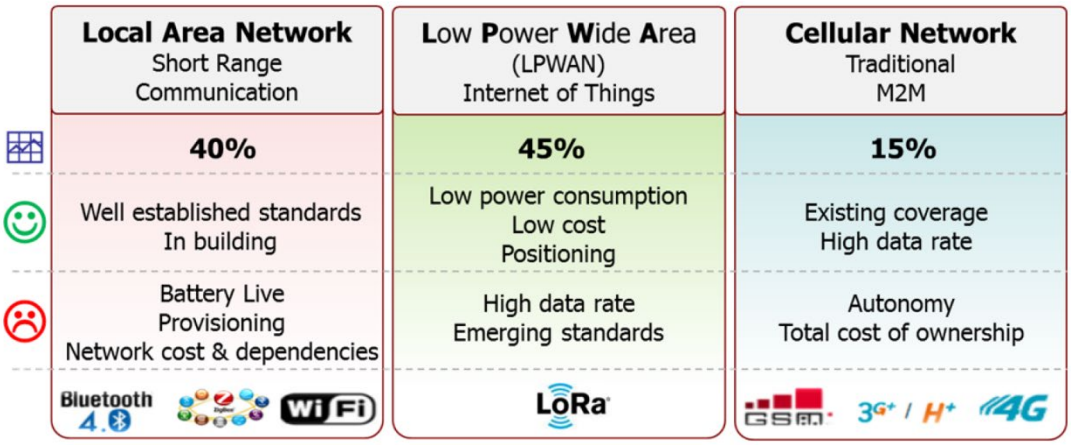
فن‌آوری های LoRa و Sigfox از جهت برد مؤثر بالای ۲۵ کیلومتری و همچنین توان کمتر نسبت به سایر تکنولوژی‌های جلب‌توجه می‌کنند. از طرفی متأسفانه Sigfox به دلیل متن بسته و انحصاری بودن لایه ابری آن نمی‌تواند گزینه مناسبی باشد بنابراین LoRa می‌تواند یک انتخاب خوب ازنظر برد، مصرف انرژی و نرخ داده و همچنین کار در باند ISM که معمولاً نیاز به مجوز از سازمان‌های تنظیم مقررات رادیویی ندارد، باشد.

شکل ۳-۲ انواع شبکه‌های مورداستفاده در اینترنت اشیا و درصد استفاده از آن‌ها را در این صنعت نشان می‌دهد. بدیهی است هیچ سیستم مخابراتی توان پاسخگویی به همه نیازهای این صنعت

[1] Web-based graphical user interface

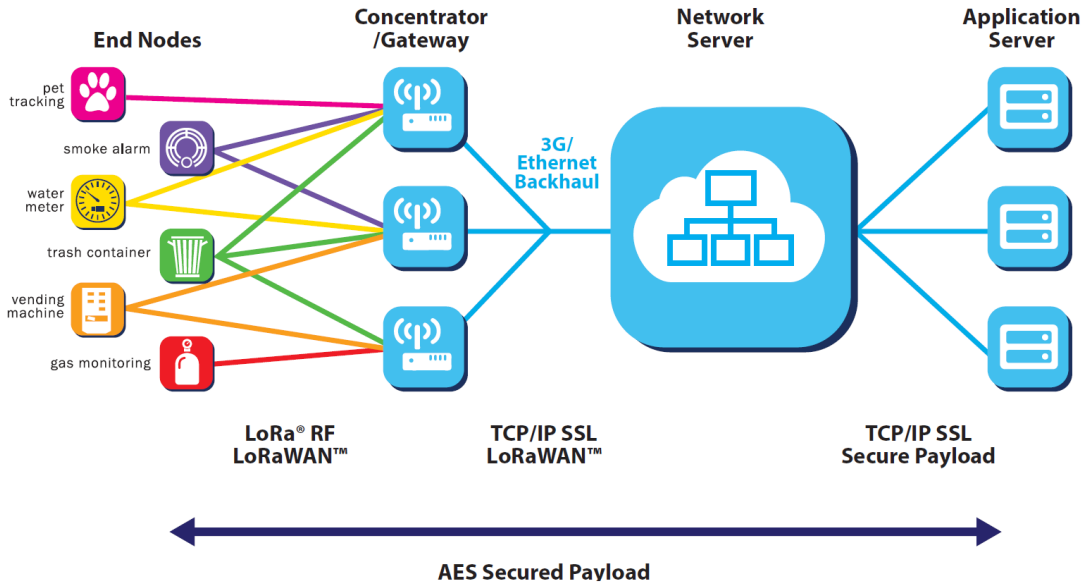
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ پژوهشهای علمی و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل مطالب از روی متن مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

به‌تنهایی را نخواهد داشت، اما همان‌گونه که از شکل بالا مشخص است سهم LPWAN بیشترین را به خود اختصاص داده است، که آن به دلیل قیمت پایین برد بالا و همچنین نرخ تبادل داده قابل‌قبول آن می‌باشد که مطلوب ما هم در این طرح می‌باشد، لذا بعدازاین مرحله سیستم مخابراتی بر محور فن‌آوری LoRa پیش خواهد رفت.



شکل ۳-۲ – انواع شبکه‌های مخابراتی مورداستفاده در اینترنت اشیا و درصد آن‌ها در بازار [۱۴]

شکل۳-۳ شمای کلی یک سیستم مبتنی بر LoRaWAN می‌با شد، ازاین‌رو برای ساخت یک اکوسیستم اینترنت اشیا مبتنی بر LoRaWAN باید دست‌کم اجزا زیر را در کنار هم سازمان‌دهی کرد.



شکل ۳-۳ – شمای یک اکوسیستم اینترنت اشیا مبتنی بر **LoRaWAN** [۱۴]

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و حقوق فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز با پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

۳-۲-۱- گره‌های سخت‌افزاری حس‌گر و عملگر

این بخش که یکی از بخش‌های مهم در این سیستم می‌باشد باید به چالش‌های پیش روی اینترنت ا شیا ذکر شده در بخش‌های پیشین، پا سخ گوید. در این را ستا پیش‌فرض‌های موردنیاز مجدداً در زیر ذکر می گردد:

- حداقل توان مصرفی
- قابلیت انعطاف
- توسعه‌پذیری
- متناسب با بودجه موجود
- قابلیت جابجایی [1]
- پشتیبانی از شبکه IP
- در دسترس بودن

در این راستا بسیاری از طراحان پیش‌ازاین، کیت‌های توسعه‌ای را طراحی و حتی به بازار ارائه کرده‌اند که در بسیاری از مقالات در این رشته مورداستفاده قرارگرفته‌اند و لازم به ذکر است در رویکرد مشابه این پایان‌نامه معمولاً از استانداردهای مخابراتی IEEE 802.11 و IEEE 802.15.4 و ا ستانداردهای زیرمجموعه این دو، بیشترین ا ستفاده را دا شته‌اند که از دلایل آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قیمت مناسب
- بیشترین سازگاری و به‌کارگیری در کنار بدن انسان و تشعشع کم
- سهولت بکار گیری
- وجود منابع پیشینه تحقیقاتی زیاد

[1] Mobility

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

در اینجا از پردازنده خانواده ESP32 ساخت شرکت Espressif Systems و از برد توسعه Lolin32 استفاده خواهد شد. تعدادی از خصوصیات این برد توسعه به‌اختصار به شرح زیر می‌باشد:

- مصرف انرژی بسیار کم
- قیمت مناسب
- در دسترس
- دارای سیستم شارژر باتری لیتیوم داخلی
- دارای رادیو داخلی با استانداردهای 802.11bgn و BLE 4.0
- تنوع درگاه‌های ارتباطی شامل I2C، SPI، UART و...

شکل ۳-۴ – برد توسعه پیشنهادی از **LOLIN32** از خانواده **ESP32**

۳-۲-۲- ماژول مودم[1] LoRa

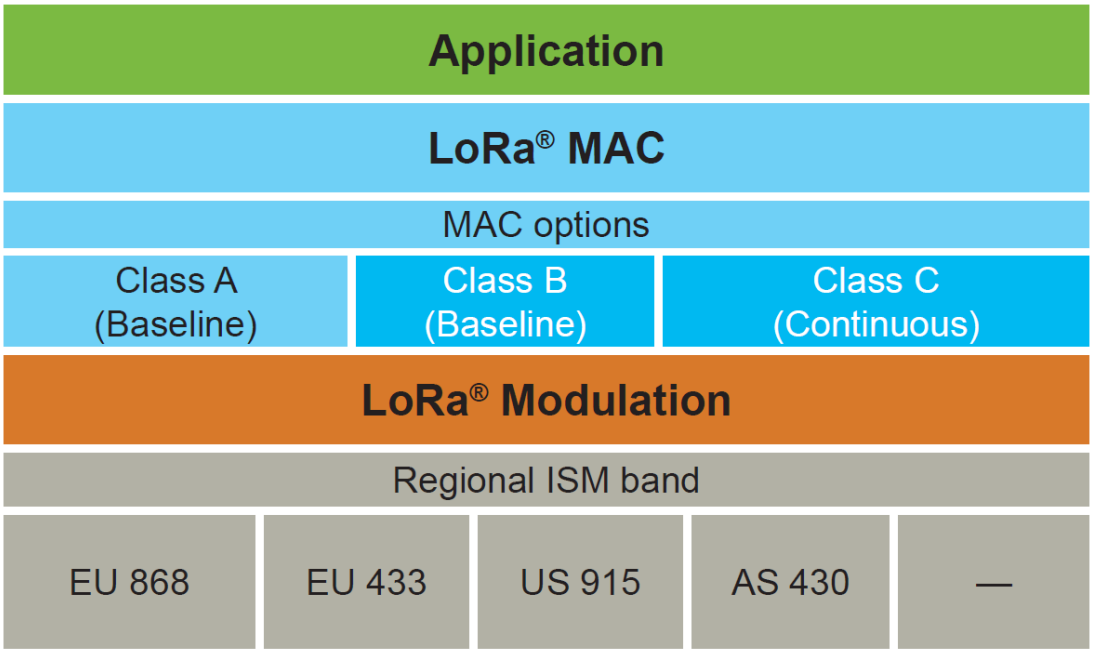
فن‌آوری LoRa به شکل انحصاری در اختیار شرکت Semtech می‌باشد ولی این شرکت علاوه

[1] Modem, Modulator Demodulator

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

بر تولید محصولات مبتنی بر این فن‌آوری، امتیاز تولید آن را به چند شرکت دیگر ازجمله HopeRF، STM، Microchip و چند شرکت دیگر سازنده قطعات نیمه‌هادی واگذار کرده است.

با توجه به در دسترس بودن ماژول RFM95W ساخت شرکت HopeRF در ایران و همچنین مشخصات و قیمت مناسب آن‌یکی از بهترین گزینه‌ها جهت استفاده در طراحی این اکوسیستم خواهد بود. این ماژول‌ها ازلحاظ فرکانس کاری تا این زمان به چهار بخش در فرکانس‌های 433، 470، 868، 915 مگاهرتز تقسیم می‌شوند که بسته به موقعیت جغرافیایی و مقررات رادیوی هر منطقه یکی از ای فرکانس‌ها قابل‌استفاده خواهند بود. در شکل ۳-۵ می‌توان ساختار لایه‌های LoRaWAN و همچنین فرکانس‌های کاری در محدوده‌های جغرافیایی مشاهده کرد. همان‌گونه که مشخص است اروپا دو فرکانس 433 و 868 مگاهرتز را مجاز اعلام کرده و آمریکا شمالی 915 مگاهرتز قابل‌استفاده می‌باشد. با استفاده از ماژول RFM95 در کنار برد LILON32 عملاً می‌توان یک گره عملیاتی برای شبکه LoRaWAN در اختیار داشت.



شکل ۳-۵ – لایه‌های **LoRaWAN** و همچنین فرکانس کاری در محدوده‌های مختلف [۱۴]

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

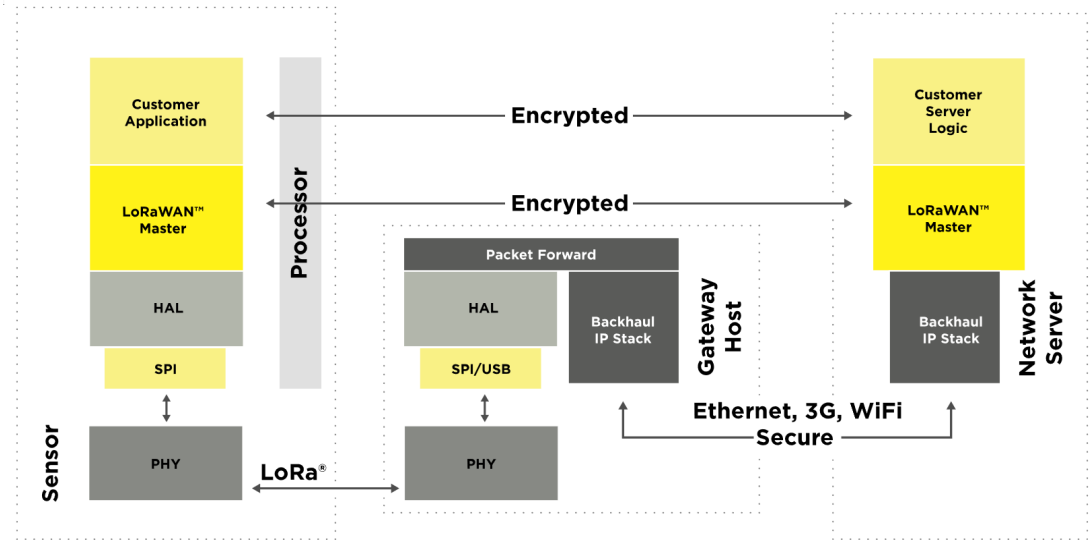
۳-۲-۳- دروازه[1] یا تجمیع کننده[2]

همان‌گونه که در فصل قبل گفته شد دروازه‌ها یا همان تجمیع کننده‌ها، زمانی که نیاز به ارتباط بین دو شبکه با استانداردهای متفاوت باشد مورداستفاده قرار می‌گیرند. لذا چون به شکل ذاتی LoRaWAN با شبکه‌های مبتنی بر IP سازگاری ندارد می‌بایست از دروازه‌ها ا ستفاده کرد. شرکت Semtech دو تراشه SX1301 و SX1308 را برای این منظور طراحی و معرفی کرده است. بزرگ‌ترین تفاوت این ترا شه‌ها با ترا شه‌های مودم‌های مر سوم SX127x (یا RFM96) قابلیت چند کانالِ بودن و ظرفیت بالای آن‌ها در دریافت داده‌ها در مودها و نرخ‌های داده مختلف LoRa می‌باشد. این خانواده نه‌تنها قابلیت ارسال و دریافت در چند کانال را دارا می‌باشند بلکه هم‌زمان می‌توانند اطلاعات را در نرخ‌های مختلف بروی یک کانال ارسال و دریافت نمایند، این قابلیت باعث می‌شود که هر دروازه بتواند از هزاران گره اطلاعات دریافت و ارسال کند. حال چنانچه نیاز به ایجاد یک شبکه گسترده و تنوع فر کانس و نرخ داده‌ای در کار نباشد، می‌توان یک مودم معمولی مانند آنچه در گره های LoRaWAN استفاده‌شده نیز استفاده کرد. این می‌تواند هزینه ساخت اکوسیستم را کاهش و همچنین سرعت ایجاد این شبکه را بالا ببرد، متأسفانه در لحظه نگارش پایان‌نامه تهیه دروازه‌های اصلی مبتنی بر SX1301 مهیا نشد و تنها گزینه استفاده از SX1276 (یا RFM96) هم به‌عنوان گره و هم به‌عنوان دروازه تک کانال، در اکوسیستم پیاده شده خواهیم بود.

یک دروازه علاوه بر جمع‌آوری داده‌های گره‌ها باید آن‌ها را بروی شبکه IP پیاده‌سازی و سپس از طریق شبکه میانی آن‌ها را به سرور شبکه ارجاع می‌دهد ازاین‌رو نام دیگر آن ارجاع‌کننده بسته[3] نیز می‌باشد.

[1] Gateway
[2] Concentrator
[3] Packet forwarder

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق مؤلفان، مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است. فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا



شکل ۳-۶ – شمای کلی یک اکوسیستم اینترنت اشیا بر اساس **LoRaWAN** [۱۴]

در شکل۳-۶ شمای کلی یک دروازه LoRaWAN نشان داده‌شده است، در این شکل یک حس‌گر، یک دروازه، سرور شبکه و سرور کاربردی[1] و مودم‌های مربوطه را نشان می‌دهد. ما در این تحقیق از چندین نمونه دروازه متن‌باز تک کانال قابل پیاده‌سازی بروی چند نوع مختلف برد توسعه استفاده خواهیم کرد که جزییات آن در فصل بعدی ارائه خواهد شد.

۳-۲-٤- شبکه میانی[2]

شبکه میانی همان‌گونه که مشخص است ارتباط بین دروازه و سرور شبکه را برقرار می‌کند. این شبکه می‌تواند یک شبکه سلولی موبایل مانند LTE و یا یک شبکه بی سیم مبتنی بر WiFi و یا حتی شبکه‌های کابلی مبتنی بر Ethernet باشد. لذا دروازه ما می‌بایست از یک سو مجهز به مودم LoRa و از سوی دیگر به فرستنده و گیرنده[3] شبکه میانی باشد تا بتواند بسته‌های دریافتی را ارجاع کند. با توجه به اینکه محوطه دانشگاه صنعتی شیراز به‌عنوان محل پایلوت این سیستم استفاده خواهد شد و سرورهای

[1] Application Server
[2] Backhaul
[3] Transceiver

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با بند ۵ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
موسسه پژوهشی مبتکر پایفا

پیش‌بینی‌شـــده نیز در همین محل قرار دارند لذا شـــبکه WiFi و Ethernet به‌عنوان شـــبکه میانی قابل‌استفاده می‌باشند.

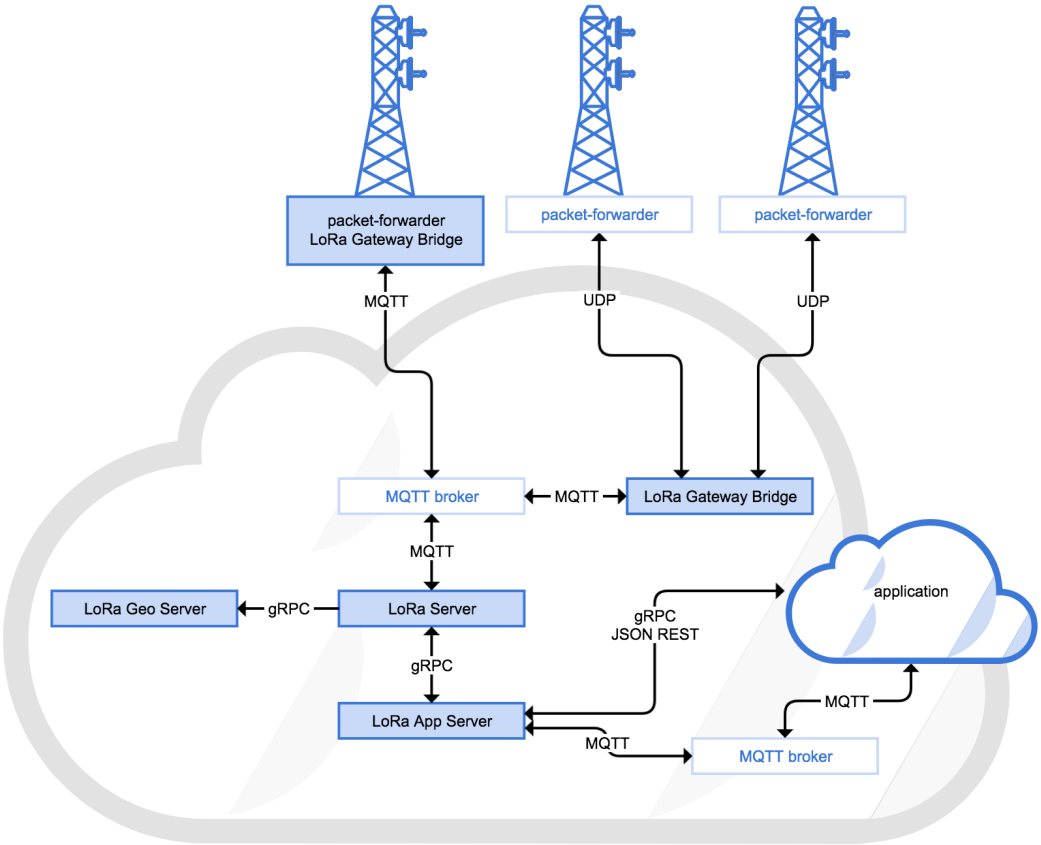
۳-۲-۵- سرور شبکه[1]

ســرور شــبکه در یک اکوســیســتم به ترتیب وظیفه تکرار زدایی[2]، تبادل قاب[3]های دریافتی از دروازه‌ها و همچنین تبادل‌های LoRaWAN Mac-Layer و زمان‌بندی بسته‌های ارســالی به دروازه‌ها (برای ارســـال به گره) را دارا می‌باشـــد و در کنار آن به رمزگشـــایی مرحله اول اطلاعات دریافتی و همچنین رمزنگاری اطلاعات ارســـالی به گره نیز خواهد پرداخت. بعدازآن این اطلاعات را به ســـرور کاربردی ارجاع می‌دهد. امروزه سـرورهای تجارتی بسـیاری بروی اینترنت وجود دارند که با دریافت هزینه و یا حتی به‌صـورت رایگان، ولی معمولاً با محدودیت‌های ارســال اطلاعات به‌صـورت روزانه، خدمات ارائه می کنند. برای مثال معروف‌ترین آن‌ها "The Things Network" یا TTN می‌با شد که باوجود اینکه رایگان قابل‌ا ستفاده می‌با شد، متن آن بسته و برای ار سال بسته‌ها به صورت روزانه دارای محدودیت می‌باشد.

همان‌گونه که قبلاً هم ا شاره شد در این تحقیق ما به دنبال پیاده سازی یک اکو سیستم به صورت کامل هسـتیم پس با این توصـیف باید به دنبال یک سـرور شـبکه به‌صـورت متن‌باز و قابل پیاده‌سـازی به صورت محلی و خصو صی با شیم. لذا یکی از بهترین گزینه‌ها قابل‌ا ستفاده پروژه [۱۸] "The LoRa Server project" می‌با شد که خود شامل سرور شبکه، سرور کاربردی و درگاه کاربری تحت وب می‌با شد. این پروژه به صورت متن‌باز ارائه شده و کاربران می‌توانند بسته به نیاز متن کد، آن را دریافت و بروی سیستم‌های اختصاصی خود نصب و فعال‌سازی کنند.

[1] Network Server
[2] De-duplication
[3] Frames

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز بوده و تکثیر و انتشار آن به غیر مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۳-۷ - معماری یک سیستم مبتنی بر **"LoRa Server Project"** [۱۹]

همان‌گونه در شکل ۳-۷ مشخص می‌باشد. این پروژه بخش‌های دیگری ازجمله Geo Server و Gateway Bridge را نیز پوشش می‌دهد که در این زمان مورداستفاده ما قرار ندارند.

۳-۲-۶- سرور کاربردی[1]

سرور کاربردی دو وظیفه کلی را دارد، رمزگشایی اطلاعات دریافتی از گره و اعتبار سنجی این اطلاعات که از دروازه و گره مجاز ارسال شده باشند و بعد از آن این اطلاعات ذخیره و یا ممکن است به سرور کاربردی دیگر جهت تحلیل و یا نمایش ارجاع شوند. این سرور نیز به صورت تجارتی بروی شبکه اینترنت وجود دارد که بسیاری دارای هزینه و یا حتی به صورت رایگان می‌باشند ولی معمولاً با

[1] application-server

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در تحقیقات فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

محدودیت‌های ارسال اطلاعات به‌صورت روزانه می‌باشند. از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به همان "The Things Network" اشاره کرد که باوجود اینکه رایگان قابل‌استفاده می‌باشد، متن آن بسته و برای ارسال بسته‌ها به‌صورت روزانه دارای محدودیت می‌باشد.

خوشبختانه پروژه "LoRa Server" این بخش را نیز با ارائه "LoRa App Server" به‌صورت متن‌باز پوشش می‌دهد. بنابراین با توجه به سازگاری آن به بخش قبلی عملاً بهترین نامزد در نوع خود می‌باشد. این سرور علاوه بر توان ذخیره اطلاعات دریافتی با ارائه یک API[1] امکان اتصال ساده آن به برنامه‌های کاربردی دیگر را نیز امکان‌پذیر کرده است، که بنا به نیاز ما به نمایش گرافیکی اطلاعات عملاً ما مجبور به استفاده از این بخش نیز می باشیم.

۳-۲-۷- درگاه ارتباطی با انسان تحت وب[2] یا HMI

این بخش به‌عنوان نقطه پایانی زنجیره این اکوسیستم، بیشترین تعامل را با کاربران خواهد داشت. بهره‌برداران این قسمت می‌توانند پزشکان یا پرستاران و حتی ناظران ورزشی باشند که چندان تخصصی در امور رایانه‌ای نیز ندارند لذا این بخش علاوه بر توان ذخیره و نمایش اطلاعات باید به‌صورت کاربرپسند[3] نیز باشد تا بتواند به هدف خود برسد. پس از بررسی نمونه‌های متعدد ازاین‌دسته، انتخاب نهایی به دلایل زیر "ThingsBoard" می‌باشد.

- متن‌باز
- رایگان
- قدرت گرافیکی بالا
- قابلیت ارتباط با پروتکل‌های MQTT، CoAP، HTTP و WebSocket
- محیط کاربرپسند

[1] application programming interface
[2] Web-Based Human-Machine Interface
[3] User-Friendly

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. متخلفان از مفاد قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

- توسعه‌پذیر
- پشتیبانی از سیستم‌های عامل مختلف مثل لینوکس و ویندوز و ....

این سیستم علاوه بر دارا بودن موارد بالا به‌صورت داخلی قابلیت ذخیره اطلاعات را داشته و از طرف دیگر خود نیز یک MQTT Broker و CoAP Server پیشرفته هم هست که می‌تواند بعداً در اتصال به گره‌ها با پروتکل‌های ارتباطی دیگر ما را یاری کند.

۳-۳- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که مشاهده شد در این بخش نقشه راه پیاده سازی این اکوسیستم موردبررسی قرار گرفت. در فصل بعدی به‌صورت گام‌به‌گام پیاده‌سازی این سیستم موردبررسی قرار خواهد گرفت.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌ترات [illegible] فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فصل چهارم: پیاده‌سازی اکوسیستم

LoRaWAN

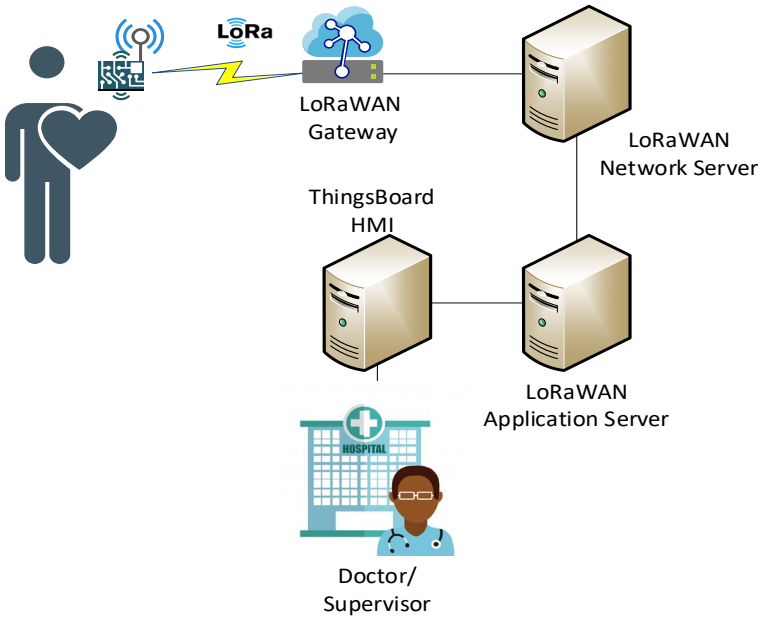
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

۴-۱- مقدمه

یکی از چالش‌ها در صنعت قابلیت پیاده‌سازی ایده در عمل و در محیط صنعتی می‌باشد و این موضوع بزرگ‌ترین تفاوت مباحث عملی از تئوری می‌باشد. در این بخش گزارش پیاده‌سازی انجام شده، ارائه و نتایج حا صل از آن موردبرر سی قرار می‌گیرد. این فصل از پایان‌نامه عملاً راه‌کاری قابل‌استفاده در صنعت نه‌فقط مهندسی پزشکی می‌باشد.

۴-۲- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی

در این بخش کلیه واحدهای یک اکوسیستم LoRa در کنار هم راه‌اندازی و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، که این قسمت‌ها شامل گره حس‌گر، دروازه در دو نوع و درنهایت سروهای شبکه، سرور کاربردی و درگاه ارتباط ماشین-انسان پیاده‌سازی می‌شود. شکل ۴-۱ دیاگرام سیستم را نشان می‌دهد.

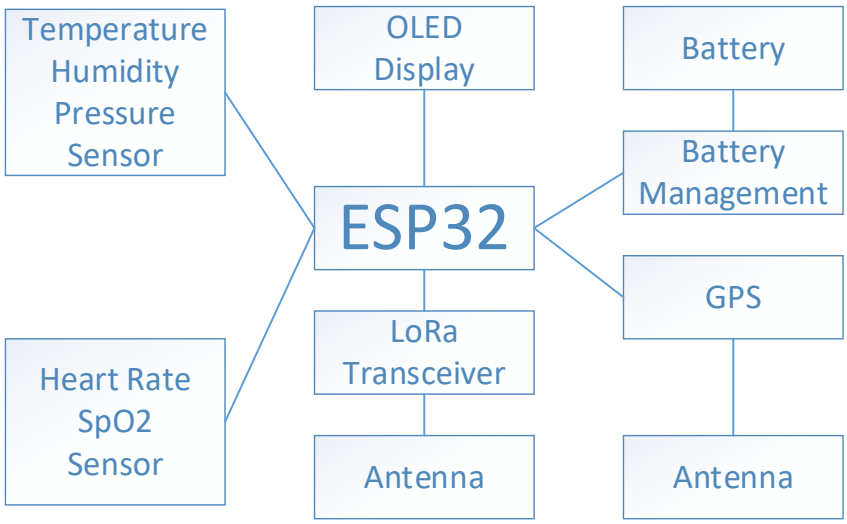


شکل ۴-۱ - دیاگرام منطقی مدل پیشنهادی

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

٤-٢-١- گره‌های سخت‌افزاری حس‌گر و عملگر

همان‌گونه که در فصل سوم پایان‌نامه اشاره‌شده ما از برد توسعه LILON32 مبتنی بر ESP32 ا ستفاده خواهیم کرد، هرچند امکان ا ستفاده از پردازنده‌های STM32، و AVR نیز وجود دا شت ولی با توجه به خصوصیات بسیار خوب ازجمله حافظه بالا و درعین‌حال مصرف بهینه این پردازنده‌ها ESP32 یکی از بهترین انتخاب‌ها است، که البته در بخش‌های بعدی این فصل مجدد به این مورداشاره خواهد شد. شکل ۴-۲ دیاگرام گره حس‌گر و جدول ۴-۱ قطعات سخت‌افزاری مورد استفاده در این بخش و برآورد تقریبی هزینه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲ - دیاگرام منطقی گره حس‌گر و عملگر

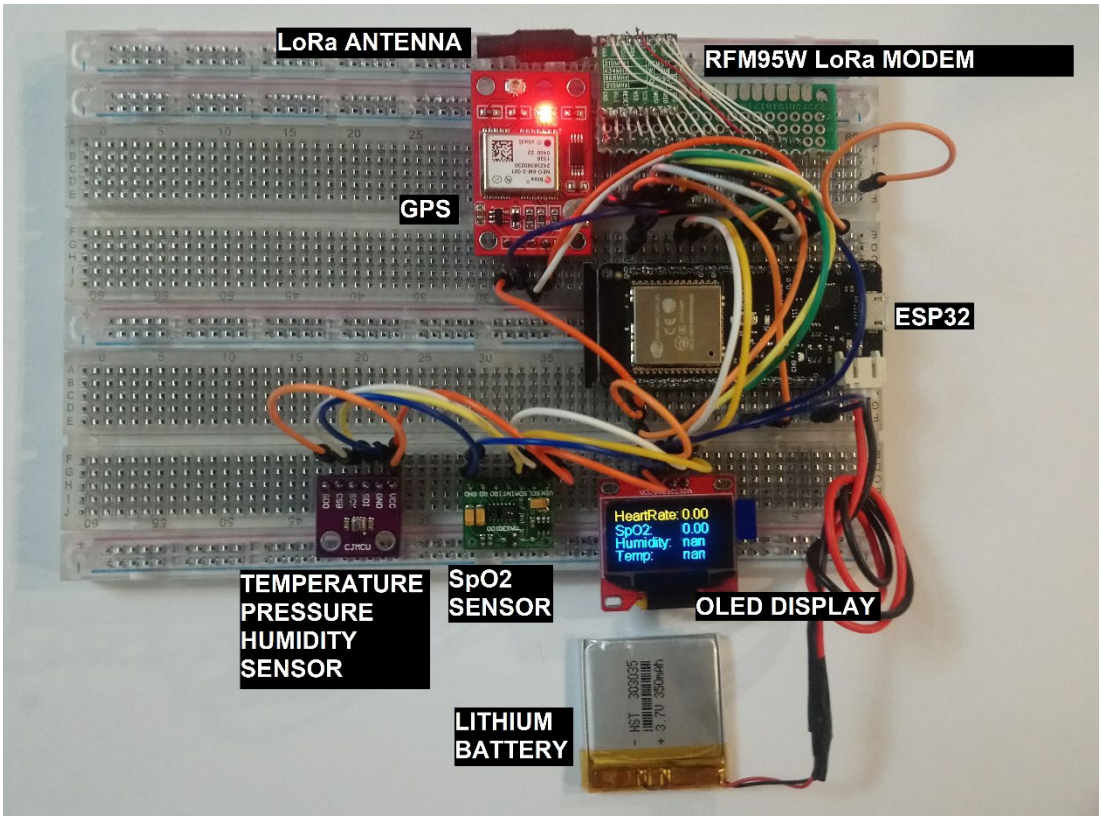
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز بوده و تخلف از مفاد قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
مؤسسه پژوهشی میلاد پایه قانونی

جدول ۴-۱- فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در گره

کد و مدل	کاربرد	قیمت تقریبی
ESP32	پردازنده	4$
MAX30100	حسگر ضربان قلب	2$
BME280	حسگر فشار، دما، رطوبت	2$
SSD1306	نمایشگر OLED	2$
NEO-6M	موقعیت‌یاب GPS	3$
RFM95W	مودم LoRa	5$
Li-Ion Battery	باطری لیتیوم یون قابل شارژ	2$
GPS Antenna	آنتن موقعیت‌یاب GPS	2$
LoRa Antenna	آنتن مودم LoRa	2$
	جمع	23$

در شکل ۴-۳ تصویری از گره پیاده شده بروی برد آزمایشگاهی دیده می‌شود. لازم به ذکر است پردازنده ESP32 دارای رادیوی داخلی با پشتیبانی از BLE و 802.11bgn نیز می‌باشد که البته در این طرح غیرفعال می‌باشد.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۴-۳ - تصویر گره پیاده شده بروی برد آزمایشگاهی

همان‌گونه که مشخص می‌باشد این گره علاوه بر حس‌گر موقعیت‌یاب توان اتصال به چندین نمونه حس‌گر به‌صورت هم‌زمان را دارد و افزودن حس‌گر دما، رطوبت و فشار در کنار حس‌گر ضربان قلب در جهت نمایش این توانمندی بوده است. این مدار به‌توسط محیط کاربری آردوینو[1] به واسطه کتابخانه‌های موجود برنامه‌ریزی‌شده تا بتواند اطلاعات دریافتی از حس‌گرها را بعد از جمع‌آوری به‌صورت کد و رمزنگاری‌شده از طریق مودم LoRa ارسال کند. اطلاعات در جهت کاهش حجم ارسالی اول با کتابخانه CayenneLPP[2] کدگذاری و سپس توسط کتابخانه IBM LMiC[3] در دو مرحله رمزنگاری و پس از افزودن اطلاعات کناری ازجمله اطلاعات شناسایی گره (نام گره؛ شماره شناسایی گره) به‌توسط مودم LoRa به دروازه‌های مجاور خود ارسال می‌شوند.

سیگنال ارسالی گره توسط کلیه دروازه‌هایی که در برد رادیویی گره قرار دارند دریافت می‌شود

[1] Arduino
[2] Cayenne Low Power Payload (LPP)
[3] LoraMAC-in-C

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

و عیناً به سرور شبکه خود ارسال می شود، اما نکته لازم به اشاره این است که به دلیل کدگذاری AES128 بروی داده‌ها امکان رمزگشایی آن‌هم در دو مرحله برای دروازه و سرور شبکه وجود ندارد. همین امر می‌تواند نقطه قوت این سیستم باشد چراکه اطلاعات توسط همه قابل دریافت بوده اما قابل‌استفاده نیست، از منظر دیگر باز به دلیل همین کدگذاری امکان بسیاری از حمله‌های امنیتی به‌سادگی میسر نیست. در آخر این توضیح لازم است که گره حس‌گر، هر ده ثانیه، اطلاعات حس‌گرها را توسط مودم خود ارسال می‌کند و در این مرحله ما باید اطلاعات زیر را در برنامه گره تعریف کنیم. این اطلاعات در مراحل راه‌اندازی سرور شبکه و سرور کاربردی لازم خواهند بود.

```
// LoRaWAN NwkSKey, network session key
Static const PROGMEM u1_t NWKSKEY[۱۶] = { 0x75, 0x41, 0xE9, 0x98, 0x2F,
0x7B, 0x92, 0xB7, 0x5D, 0x17, 0x4A, 0xC0, 0xE5, 0x04, 0xB7, 0x8F };

// LoRaWAN AppSKey, application session key
Static const u1_t PROGMEM APPSKEY[۱۶] = { 0x69, 0xA7, 0xFD, 0x74, 0x58,
0x49, 0x46, 0xE2, 0x65, 0x35, 0xF0, 0x06, 0x7C, 0x09, 0x64, 0xAF };

// LoRaWAN end-device address (DevAddr)
Static const u4_t DEVADDR = { 0x26011DEA}; // address for node
```

این اطلاعات حاوی دو کلید ۱۲۸ بیتی برای رمزگشایی در سرورهای شبکه و کاربردی و یک آدرس ۳۲ بیتی برای آدرس‌دهی گره می‌باشد. با کمک دو کلید اول بسته رمزنگاری شده و مشخص می شود اطلاعات بسته مربوطه به چه گره‌ای می‌باشد. در این حالت باوجودی که منبع بسته مشخص می‌باشد محتوای بسته از شنود و دست‌کاری در امان خواهد بود.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از پدیدآوران علمی، تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با بند قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

٤-٢-٢- دروازه یا تجمیع کننده

به دلیل قیمت گران و در دسترس نبودن ماژول‌های SX1301 به‌عنوان تراشه دروازه معرفی‌شده توسط شرکت Semtech در این مرحله یک دروازه تک کانال پیاده‌سازی گردیده است. اما با توجه امکانات موجود دو نوع مختلف دروازه پیاده‌سازی گردید که در هر بخش در مورد خصوصیات آن‌ها توضیح داده خواهد شد. در اینجا چون به صورت تک کانال اطلاعات دریافت می‌گردد، کلیه گره‌ها نیز باید بروی کانالی برنامه‌ریزی شوند که دروازه آن را شنود می‌کند، در غیر این صورت بسته‌ها توسط دروازه و سرور شبکه قابل دریافت نخواهند بود. جدول ۲-۴ پارامترهای دروازه‌ها را نشان می‌دهد که بروی آن‌ها تنظیم خواهد گردید.

۴-۲- پارامترهای تنظیم‌شده در دروازه‌ها و گره‌ها

Parameter	Value
Spread Factor	SF7
CAD	off
HOP	off
Channel	0
Frequency	902.30 MHz

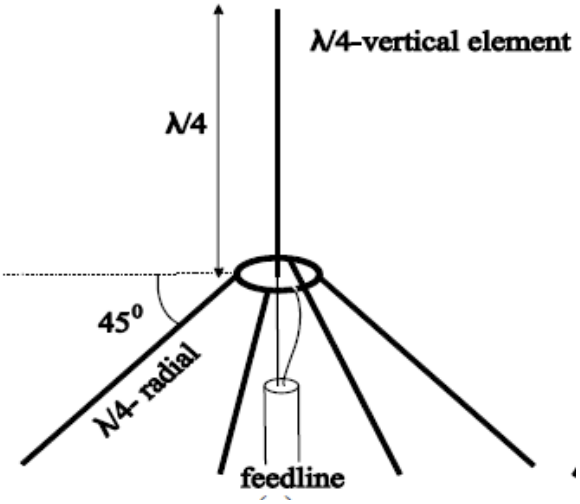
٤-٢-٢-١- آنتن دروازه

آنتن های تک قطبی بالای زمین مجازی[1]، همانگونه که از اسم آن بر می آید، یک آنتن تک قطبی با منتشر کننده یک چهارم موج طول،بروی زمین مجازی می با شد. برای فرکانس های کاری به خصوص در باند های VHF[2] و UHF[3]،آنتن های تک قطبی یک چهارم موج مزیت گسترده ای نسبت به آنتن های دو قطبی دارند. آنها در فرکانس های بالای ۱۰ مگاهرتز بسیار پرطرفدار هستند، آن

[1] Monopole antenna above virtual ground
[2] Very high frequency
[3] Ultra-high frequency

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل مطالب از متن، مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

هم در صورتی که ابعاد آنها تحت کنترل قرار دارد. این دسته از آنتن ها انتخاب خوبی برای باندهای فرکانسی VHF و UHF هستند و این موضوع باعث محبوبیت آنها در پخش FM[1] گردیده است. در باند VHF که از ۳۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ مگاهرتز را شامل می شود، یک آنتن یک چهارم موج تک قطبی[2] حدود دو و نیم متر طول خواهد داشت. در باند UHF که از ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز را شامل می شود یک آنتن یک چهارم موج تک قطبی حدود ۱۵ سانتی متر طول خواهد داشت. در هر دو مورد، آنتن های دو قطبی به دو برابر طول نیاز دارند که باعث ایجاد محدودیت های ساختاری در سیستم های مختلف می شود[20].



شکل ۴-۴ - یک آنتن تک قطبی بروی زمین مجازی[20]

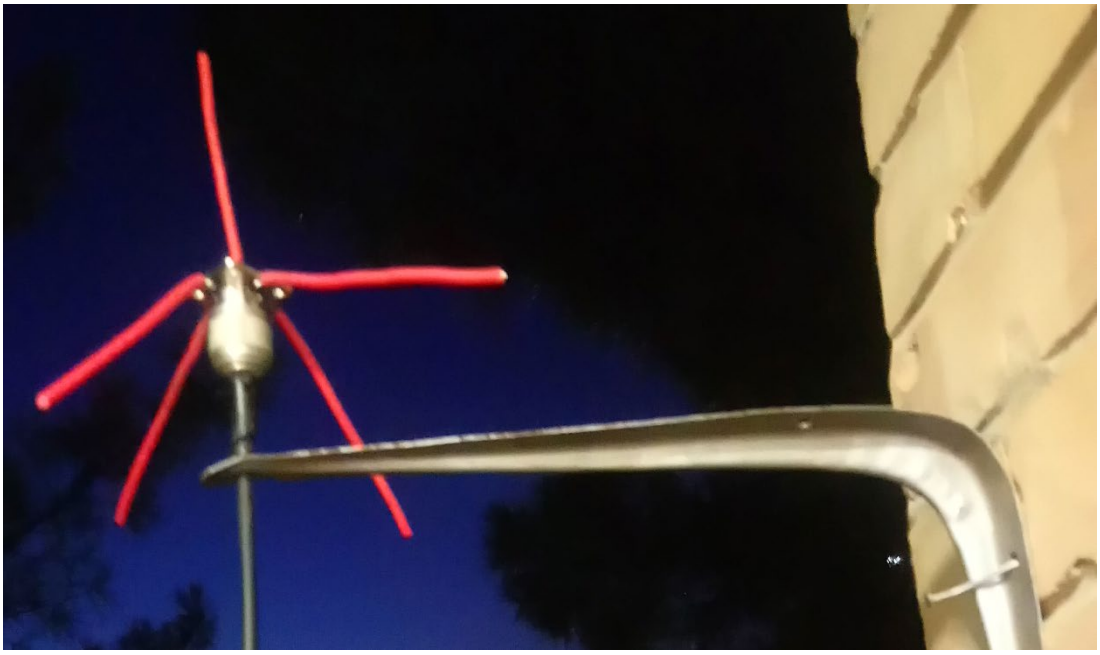
در شکل ۴-۴ یک آنتن تک قطبی یک چهارم موج بروی زمین مجازی دیده می شود. اندازه عناصر عمودی و شعاعی آن یک چهارم طول موج مورد نظر خواهد بود. طول موج هر فرکانس نیز از فرمول زیر محاسبه می گردد، که در آن λ طول موج به متر، C سرعت نور در واحد متر بر ثانیه (۲۹۹،۷۹۲،۴۸۵ متر بر ثانیه) و f فرکانس بر حسب هرتز می باشد.

[1] Frequency modulation
[2] Quarter-wave monopole

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از پدیدآوران علمی، تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مطابق با قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

$$\lambda = C/f \qquad (۱-۴)$$

با این حساب برای فرکانس کاری ۹۱۵ مگاهرتز که مد نظر ما است. طول عناصر عمودی و شعاعی آنتن ما باید حداقل ۸,۱۹ سانتی متر با شد. در شکل ۴-۵ نمونه آنتن ساخته شده با احتساب عدد بدست آمده قابل مشاهده می باشد.



شکل ۴-۵ - آنتن تک پل یک چهارم موج بروی زمین مجازی ساخته شده

اتصال بین آنتن مذکور تا مودم دروازه با کابل هم محور[1] RG-58C به طول سه متر می با شد. با احتساب خروجی ۲۵ میلی وات (+14 dBm) طبق اطلاعات شرکت سازنده مودم LoRa مورد استفاده در این تحقیق و محاسبات فنی کابل مذکور توان خروجی حدودی ۱۵ میلی وات بروی ورودی آنتن خواهیم داشت.

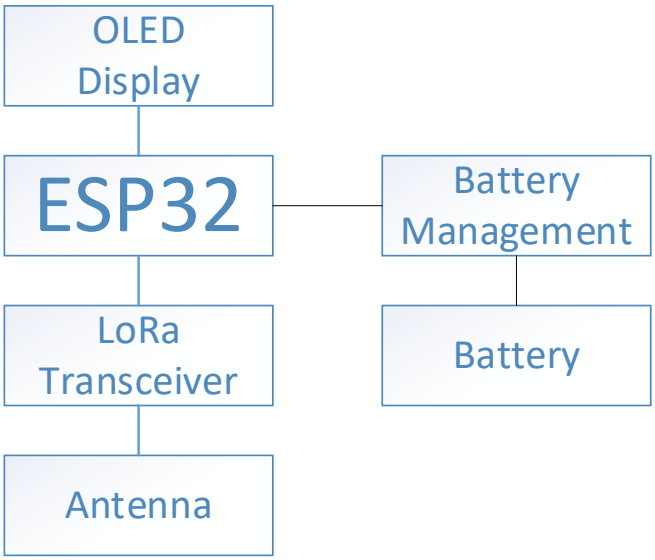
دروازه تک کانال مبتنی بر ESP32

با در اختیار داشتن یک مودم LoRa و یک برد توسعه LILON32 می‌توان یک دروازه تک کانال به دست آورد. با پشتیبانی پروتکل 802.11bgn توسط پردازنده ESP32 می‌توان به هر شبکه

[1] Coaxial

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر بایدهای قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

WiFi که در دسترس باشد متصل شد، هرچند ESP32 قابلیت اتصال را به شبکه کابلی Ethernet را نیز دارد ولی در این صورت نیازمند اضافه شدن یک ترانسویر به مدار مذکور خواهیم بود.



شکل ۴-۶ - دیاگرام دروازه تک کانال مبتنی بر **ESP32**

جدول۴-۳- فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در دروازه **ESP32**

کد و مدل	عملکرد	قیمت تقریبی
ESP32	پردازنده و WiFi	4$
SSD1306	نمایشگر OLED	2$
RFM95W	مودم LoRa	5$
Li-Ion Battery	باطری لیتیوم یون قابل شارژ	1$
LoRa Antenna	آنتن مودم LoRa	2$
	جمع	14$

از مزایای دروازه ذکرشده می‌توان به مصرف پایین انرژی، حجم فیزیکی بسیار پایین و قابلیت حمل آسان در شرایط خاص اشاره کرد. ولی از نقاط ضعف آن می‌توان به قدرت پایین پردازشی آن نسبت به پردازنده‌های خانواده ARM Cortex-A اشاره کرد. همین امر باعث می‌شود که عملیات پردازشی خیلی پیشرفته برای اجرا در محل دروازه به محدودیت برخورد کنند ولی چنانچه نیازی به

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علم و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقض حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء

پردازش خاصی در محل دروازه نباشد این سیستم می‌تواند یک راه‌حل مؤثر باشد.

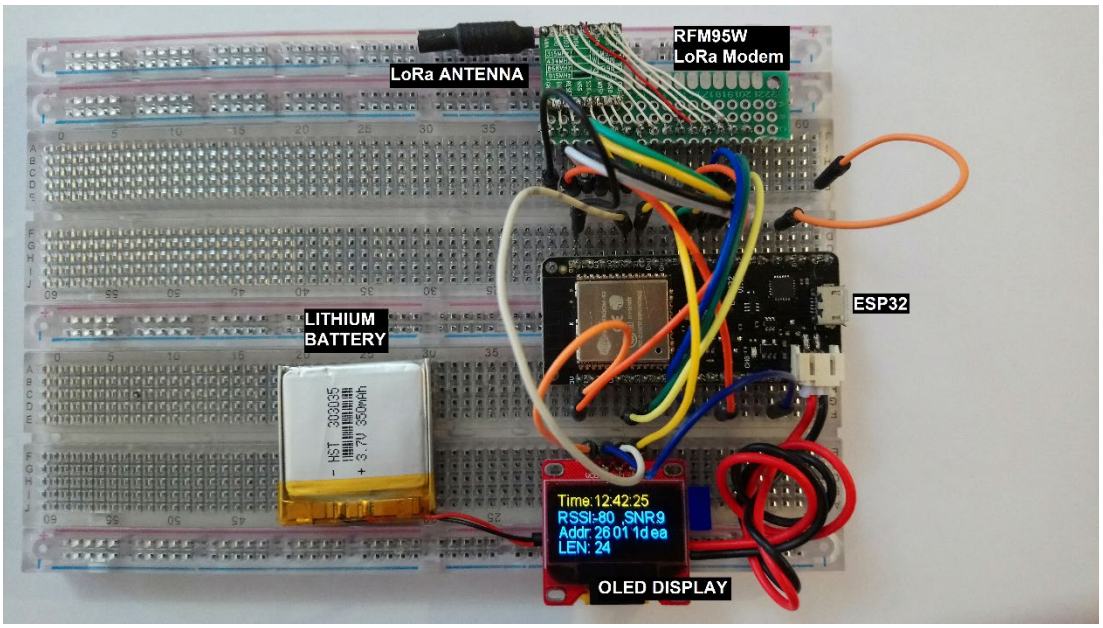
تصـــویر ۴-۶ دریافتی توســـط دروازه نشـــان می‌دهد و همان‌گونه که انتظار می‌رود این اطلاعات رمزنگاری‌شده می‌باشند.

```
...WLAN reconnected
Host esp32-9d65a8 WiFi Connected to AJS-1111111
Local UDP port=1700
Connection successful
Gateway ID: 3C71BFFFFF9D65A8, Listening at SF7 on 902.30 Mhz.
setupTime:: Time not set (yet)
WiFi connected
Time: Wednesday 14:36:28
Gateway configuration saved
WWW Server started on port 80
-------------------------------------
pRSSI: -51 RSSI: -157 SNR: 9 Length: 24 -> 40 EA 1D 1 26 80 20 1 1 E6 97 E8 FF F8 DF 8 B7 E9 50 2 1A 17 E4 77
RXPK:: {"rxpk":[{"tmst":11568450,"chan":0,"rfch":0,"freq":902.299987,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","
codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-51,"size":24,"data":"Q0odASaAIAEB5pfo//jfCLfpUAIaF+R3"}]}
RXPK:: package length=202
WiFi connected
PKT_PUSH_ACK:: size 4 From 192.168.150.83, port 1700, token: CF2D

stateMachine:: NO intr
rpRSSI: -50 RSSI: -157 SNR: 9 Length: 24 -> 40 EA 1D 1 26 80 21 1 1 F0 E2 35 CF 37 1E C7 5C 7C 8B 74 65 3F 32 4
7
RXPK:: {"rxpk":[{"tmst":23814292,"chan":0,"rfch":0,"freq":902.299987,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","
codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-50,"size":24,"data":"Q0odASaAIQEB8OI1zzcex1x8i3RlPzJH"}]}
RXPK:: package length=202
WiFi connected
PKT_PUSH_ACK:: size 4 From 192.168.150.83, port 1700, token: 2946

stateMachine:: NO intr
```

شکل ۴-۷ - تصویر خروجی کنسول دروازه مبتنی بر **ESP32**

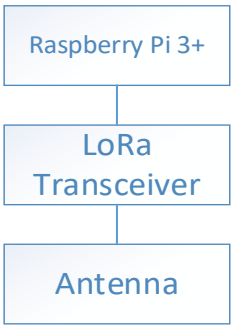


شکل ۴-۸ – مدار دروازه**ESP32** پیاده شده بر روی برد آزمایشگاهی

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در محیط فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و یا بنا بر قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

دروازه تک کانال مبتنی بر Raspberry Pi 3+

با در اختیار داشتن یک مودم LoRa و یک برد توسعه Raspberry Pi 3 می‌توان یک دروازه تک کانال اما با امکاناتی فراتر از دروازه‌های مبتنی بر ESP32 به دست آورد. با پشتیبانی پروتکل 802.11bgn و همچنین دارا بودن درگاه‌های Ethernet و USB می‌توان علاوه بر اتصال به شبکه‌های WiFi به شبکه‌های کابلی و همچنین GSM و LTE نیز متصل شد.



شکل ۴-۹ – دروازه تک کانال مبتنی بر Raspberry Pi 3+

از طرف دیگر با بهره‌مندی از پردازنده قدرتمند ARM Cortex-A53 با فرکانس 1.4GHz و حافظه 1GB علاوه بر دروازه می‌توان پردازش‌های بسیاری را در این نوع دروازه انجام دارد ولی آن روی سکه هم معایبی را در خود دارد، توان مصرفی بالا این پردازنده و گرمای حاصل از کارهای محاسباتی در آن ممکن است باعث مشکلات و محدودیت‌هایی گردد. بنابراین انتخاب هر یک از این دروازه‌های بسته به شرایط خاصی می‌تواند متفاوت باشد. در این دروازه سیستم‌عامل Raspbian-Stretch به تاریخ 2018/01/13 نصب گردیده به همراه نرم‌افزار single_chan_pkt_fwd (با تشکر از Thomas Telkamp) و انجام تنظیمات مربوطه به سرور شبکه خصوصی آزمایشگاه بسته‌های دریافتی توسط مودم LoRa بدون هیچ تغییری بروی بستر IP به سرور شبکه خصوصی ارسال می‌گردند. لازم به ذکر این اطلاعات بروی پورت ۱۷۰۰ UDP به سرور شبکه ارسال می‌گردد و البته امکان رمزنگاری اطلاعات بین دروازه و سرور شبکه نیز در صورت نیاز وجود دارد. در این مرحله با روشن شدن دروازه‌ها و گره، بعد از ۱۰ ثانیه (طبق برنامه‌ریزی انجام‌شده) اطلاعات گره بر روی دروازه دریافت

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز با پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

می‌شـــود. شـــکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ مربوط به اطلاعات دریافتی بر روی کنســـول دروازه‌های ESP32 و Raspberry Pi 3+ می‌باشـند. می‌توان این نکته را موردتوجه قرارداد که اطلاعات ارسـالی توسـط کلیه دروازه‌های در د سترس دریافت می شود و ممکن ا ست بیش یک دروازه اطلاعات را دریافت به سرور شبکه ارجاع دهد که خود می‌تواند ضامن دریافت مطمئن‌تر اطلاعات گره‌ها باشد.

```
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: server: .address = 192.168.150.83; .port = 1700; .enable
 = 0
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: Gateway Configuration
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]:   SC Gateway (contact@whatever.com)
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]:   Dragino Single Channel Gateway on RPI
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]:   Latitude=29.63399315
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]:   Longitude=52.56083679
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]:   Altitude=10
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: Trying to detect module with NSS=6 DIO0=7 Reset=0 Led1=4
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: SX1276 detected, starting.
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: Gateway ID: 00:00:00:ff:ff:00:00:00
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: Listening at SF7 on 902.300000 Mhz.
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: -----------------------------------
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: stat update: 2019-09-11 10:13:31 GMT no packet received
yet
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: Packet RSSI: -37, RSSI: -112, SNR: 9, Length: 24 Message
:'@...&.B..".."P[.q*p.h.07J'
Sep 11 14:43:31 raspberrypi single_chan_pkt_fwd[1504]: rxpk update: {"rxpk":[{"tmst":1172683976,"freq":902.3,"c
han":0,"rfch":0,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","rssi":-37,"lsnr":9.0,"size":24,"data":"Q
OodASaAQgEBIufAUFvXcSpwl2jRMDdK"}]}
```

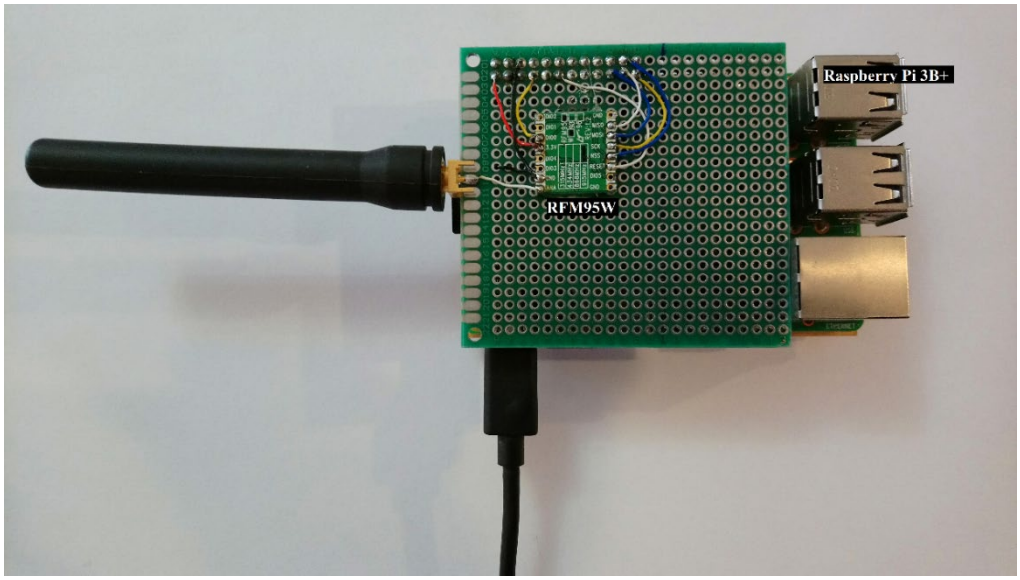
شکل ۴-۱۰ - تصویر خروجی کنسول دروازه مبتنی بر **Raspberry Pi 3+**

جدول ۴-۴ فهرســـت و برآورد تقریبی قطعات مورداســـتفاده در این دروازه را نشـــان می‌دهد. شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نیز تصاویر دروازه مذکور را به‌خوبی نشان می‌دهند.

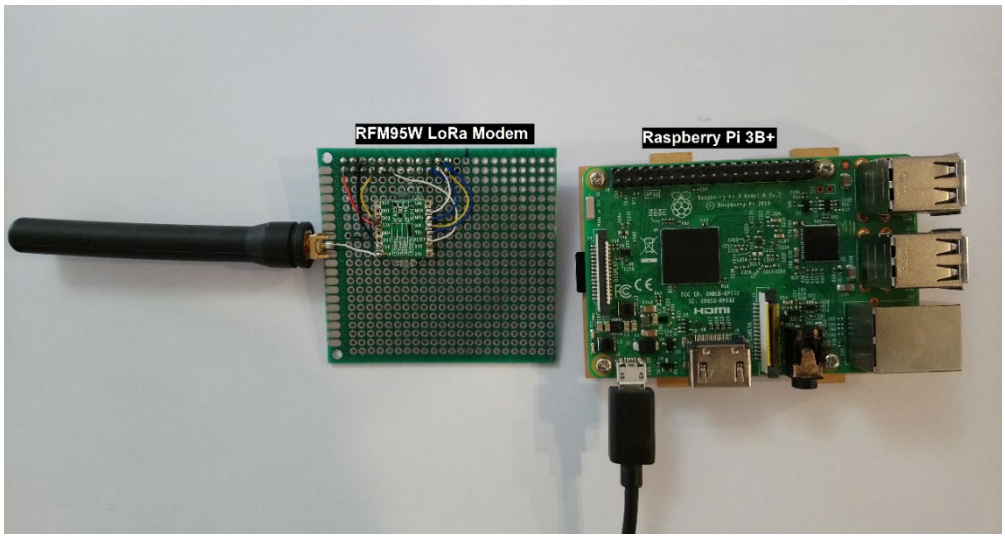
جدول ۴-۴- فهرست قطعات سخت‌افزاری مورداستفاده در گره

کد و مدل	کاربرد	قیمت تقریبی
Raspberry Pi 3+	پردازنده و WiFi و Ethernet	40$
RFM95W	مودم LoRa	5$
LoRa Antenna	آنتن مودم LoRa	2$
	جمع	47$

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پژوهشگران و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶) از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل و نشر مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۴-۱۱ – تصویر دروازه پیاده شده بروی **Raspberry Pi 3+**



شکل ۴-۱۲ – مودم و برد **Raspberry Pi 3+** به‌صورت جداگانه

٤-۲-۳- شبکه میانی

همان‌گونه در فصل قبل توضیح داده شد بعد از دروازه‌ها نیاز به اتصال به یک شبکه مانند WiFi، Ethernet و یا حتی LTE داریم تا به‌توسط آن دروازه بسته‌های دریافتی را به سمت سرور شبکه ارسال کند. در آزمایشگاه اینترنت اشیا دانشگاه صنعتی به کمک تجهیزات موجود و با استفاده از WiFi

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت‌نامهٔ پژوهشگران علمی و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

دروازه‌ها به شبکه داخلی آزمایشگاه متصل شدند. بدیهی است امکان اتصال از طریق شبکه کابلی نیز وجود دارد اما شبکه بی‌سیم در این مورد باعث انعطاف بیشتر سیستم در آزمایشگاه خواهد شد.

٤-٢-٤- سرور شبکه

در فصل قبل مختصری درباره جایگاه قرارگیری سرور شبکه صحبت شد. سرور شبکه درواقع قلب تپنده یک اکو سیستم LoRaWAN می‌باشد. چنانچه در یک مجموعه سرور شبکه از کار بیفتد عملاً ارتباط بین دروازه‌ها و سرور کاربردی قطع می‌گردد و ادامه عملیات ممکن نخواهد بود. از این مرحله به بعد کلیه سیستم‌های به‌صورت مجازی و بروی فوق ناظر[1] شرکت VMWare و مبتنی بر معماری x86 هستند، هرچند بروی سکوهای دیگری همچون ARM نیز قابلیت پیاده‌سازی وجود دارد. میزان حافظه تخصیص یافته بین 2GB تا 4GB و سیستم عامل Ubuntu 18.04.1 Desktop نصب‌شده‌اند. پس از نصب سرور شبکه طبق دستورالعمل سازنده و اجرای آن، تصویر ۴-۱۲ بر روی کنسول، دریافت اطلاعات از سمت گره‌ها و دروازه را نشان می‌دهد.

```
level=info msg="starting LoRa Server" band=US_902_928 docs="https:/www.loraserver.io/" net_id=000000 version=3.2.1
level=info msg="disabling all channels"
level=info msg="enabling channels" channels="[0 1 2 3 4 5 6 7]"
level=info msg="storage: setting up storage module"
level=info msg="storage: setting up Redis connection pool"
level=info msg="storage: connecting to PostgreSQL"
level=info msg="storage: applying PostgreSQL data migrations"
level=info msg="storage: PostgreSQL data migrations applied" count=0
level=info msg="gateway/mqtt: connecting to mqtt broker" server="tcp://localhost:1883"
level=info msg="no geolocation-server configured"
level=info msg="configuring join-server client" ca_cert= server="http://localhost:8003" tls_cert= tls_key=
level=info msg="backend/gateway: connected to mqtt server"
level=info msg="gateway/mqtt: subscribing to gateway event topic" qos=0 topic=gateway/+/event/+
level=info msg="api: starting network-server api server" bind="0.0.0.0:8000" ca-cert= tls-cert= tls-key=
level=info msg="starting downlink device-queue scheduler"
level=info msg="starting multicast scheduler"
level=info msg="gateway/mqtt: gateway stats packet received" gateway_id=000000ffff000000
level=info msg="gateway updated" gateway_id=000000ffff000000
level=info msg="metrics saved" aggregation="[MINUTE HOUR DAY MONTH]" name="gw:000000ffff000000"
```

شکل ۴-۱۳ - خروجی کنسول سرور شبکه در زمان راه‌اندازی

در این مرحله عملاً اطلاعات گره‌های شبکه در دسترس می‌باشد و می‌توان توسط سایر نرم‌افزارها البته با داشتن کلید مربوطه این اطلاعات استخراج، تحلیل و استفاده گردد.

[1] Hyper-Visor

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و با پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

٤-٢-٥- سرور کاربردی

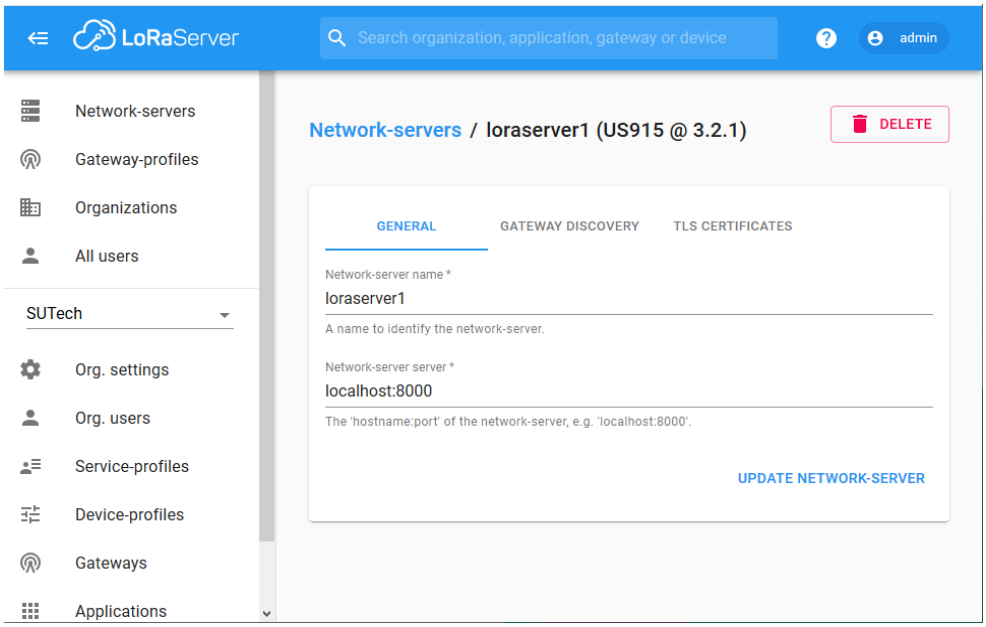
سرور کاربردی به‌عنوان قسمت مکمل یک رابط کاربری تحت وب و همچنین یک API را در اختیار ما می‌گذارد تا اول بتوان تنظیمات دروازه‌ها و سرورهای کاربردی را انجام دهیم و دوم اینکه بتوان با کمک API امکانات سیستم را توسط نرم‌افزارهای سفارشی تحت کنترل گرفت و یا آن را با دیگر نرم‌افزارهای کاربردی ادغام کرد. کاری که در مرحله بعد در تعامل با ThingsBoard صورت می‌پذیرد.

```
level=info msg="starting LoRa App Server" docs="https://www.loraserver.io/" version=3.3.0
level=info msg="storage: setting up storage package"
level=info msg="storage: setting up Redis pool"
level=info msg="storage: connecting to PostgreSQL database"
level=info msg="storage: applying PostgreSQL data migrations"
level=info msg="storage: PostgreSQL data migrations applied" count=0
level=info msg="integration/mqtt: TLS config is empty"
level=info msg="integration/mqtt: connecting to mqtt broker" server="tcp://localhost:1883"
level=info msg="api/as: starting application-server api" bind="0.0.0.0:8001" ca_cert= tls_cert= tls_key=
level=info msg="api/external: starting api server" bind="0.0.0.0:8080" tls-cert= tls-key=
level=info msg="integration/mqtt: connected to mqtt broker"
level=info msg="integration/mqtt: subscribing to tx topic" qos=0 topic=application/+/device/+/tx
level=info msg="api/external: registering rest api handler and documentation endpoint" path=/api
level=info msg="api/js: starting join-server api" bind="0.0.0.0:8003" ca_cert= tls_cert= tls_key=
level=info msg="device updated" dev_eui=001094701aae961b
level=info msg="finished unary call with code OK" grpc.code=OK grpc.method=HandleUplinkData grpc.request.deadline="2019-09-
)-11T12:34:19-04:00" grpc.time_ms=8.921 peer.address="127.0.0.1:41526" span.kind=server system=grpc
level=info msg="integration/mqtt: publishing message" qos=0 topic=application/1/device/001094701aae961b/rx
level=info msg="integration/thingsboard: attributes and telemetry uploaded" dev_eui=001094701aae961b event=up
```

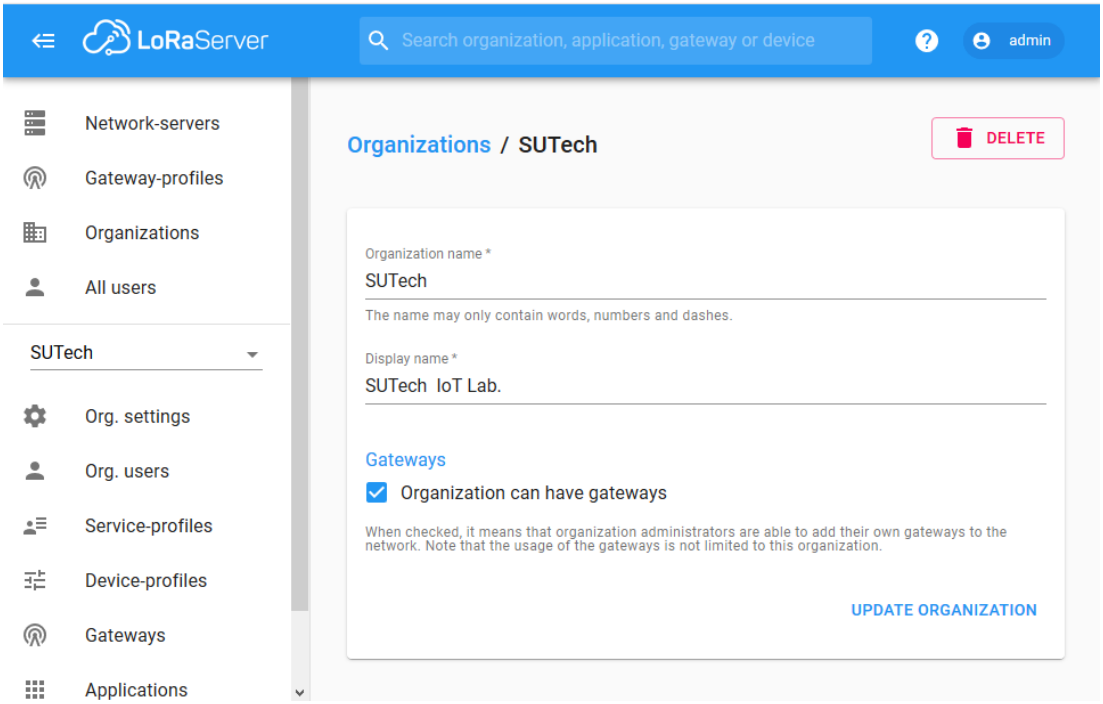
شکل ۴-۱۴ – تصویر خروجی کنسول سرور کاربردی بعد دریافت اولین پیام از گره **LoRaWAN**

پس‌از این مرحله صفحه کاربری و مدیریتی تحت وب در د سترس خواهد بود و می‌توان سیستم را از این طریق پیکربندی کرد. پس از واردکردن آدرس و از طریق پورت ۸۰۸۰ و واردکردن رمز عبور پیش‌فرض به ترتیب دروازه‌ها و سرور شبکه و گره‌ها (Devices) در سیستم تعریف می‌شوند که تصاویر آن در ادامه آمده است. شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴ – ۲۴ به ترتیب تنظیمات و هم‌چنین خروجی سیستم را نشان می‌دهند.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علم و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

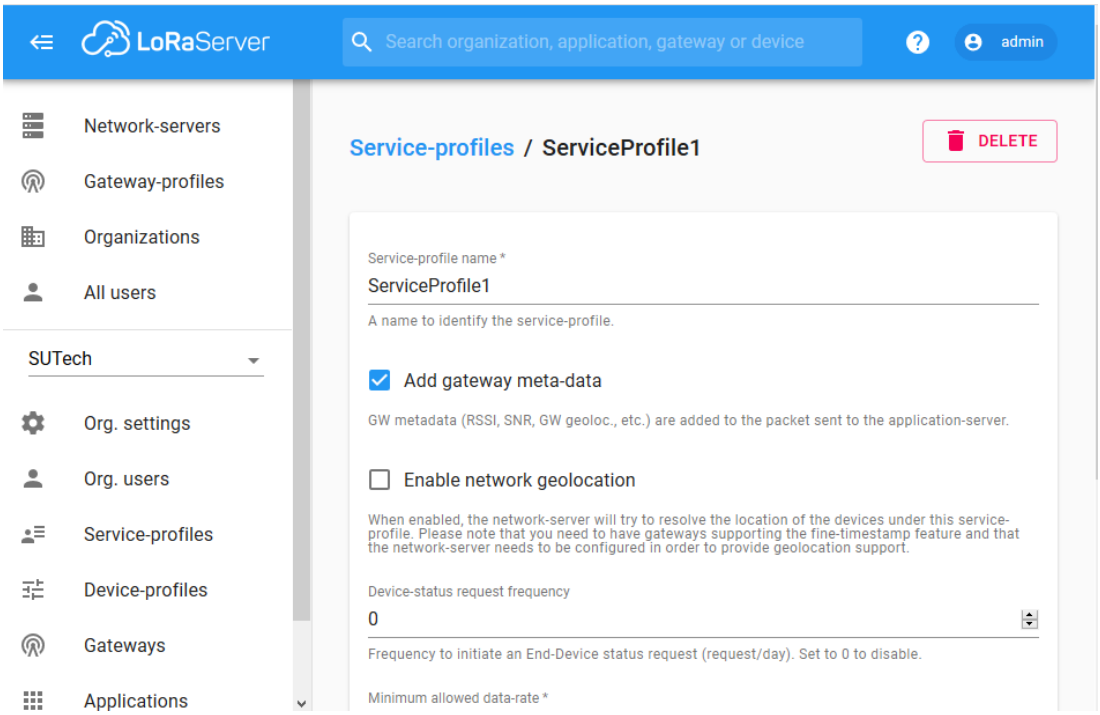


شکل ۴-۱۵ – تعریف مشخصات اتصال سرور شبکه

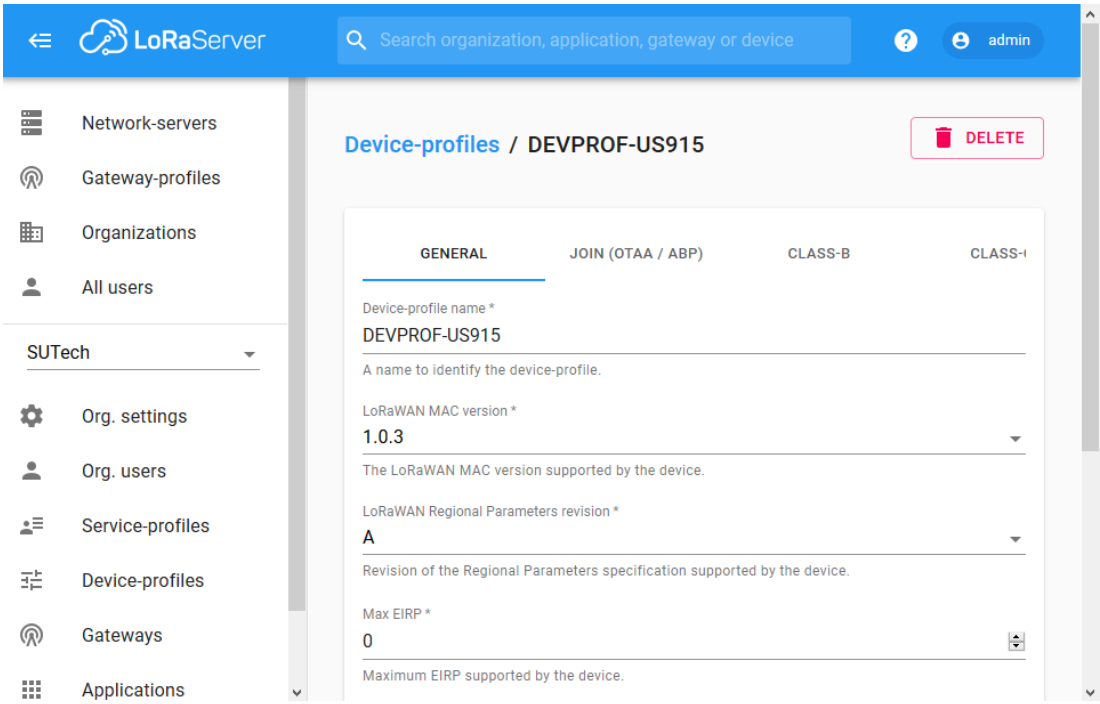


شکل ۴-۱۶ – تعریف سازمان جدید در سرور کاربردی

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و با رعایت قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

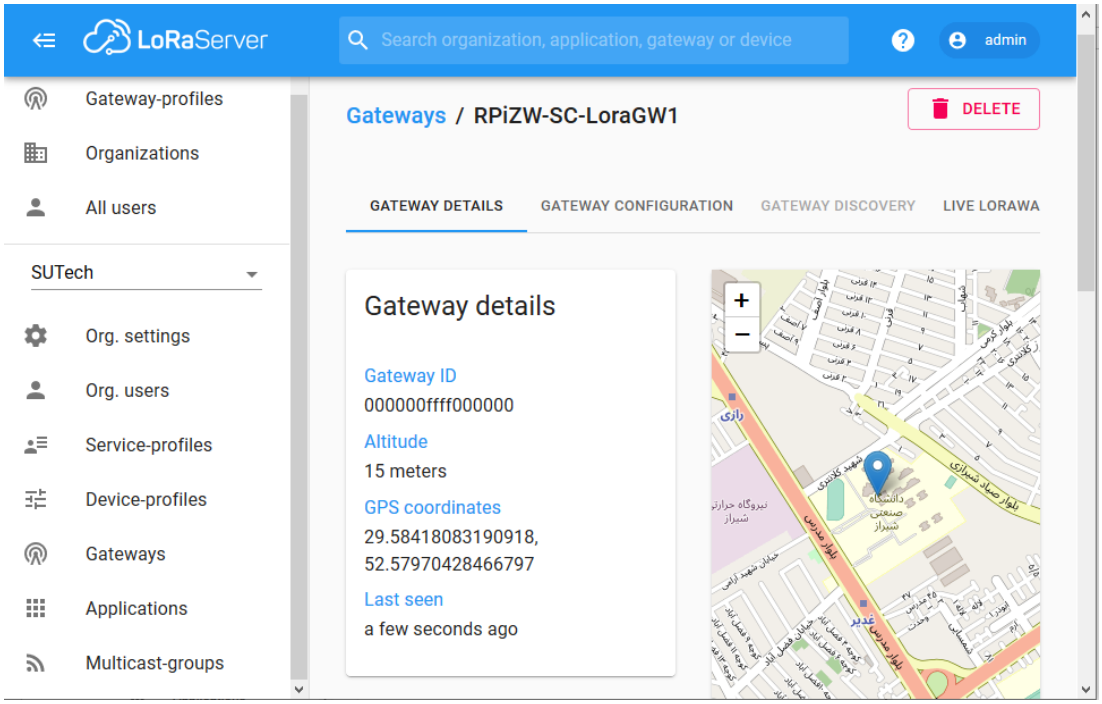


شکل ۴–۱۷ – تعریف پروفایل برای سرویس جدید

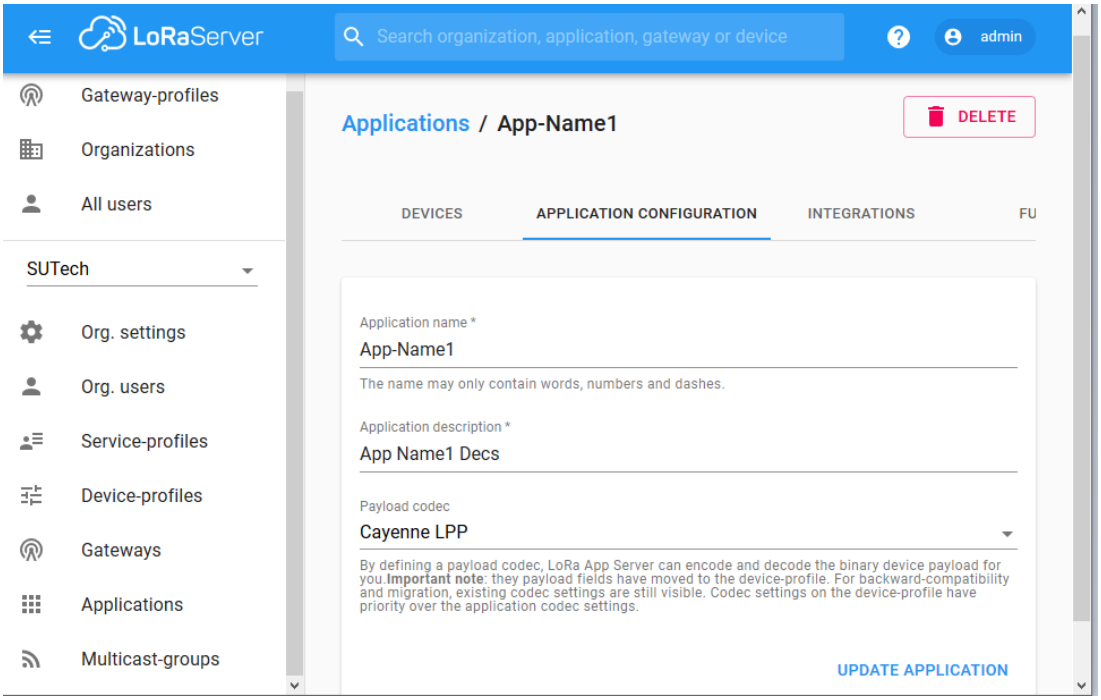


شکل ۴–۱۸ – تعریف پروفایل برای گره‌ها در سیستم

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پژوهشگران و پژوهشگران فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

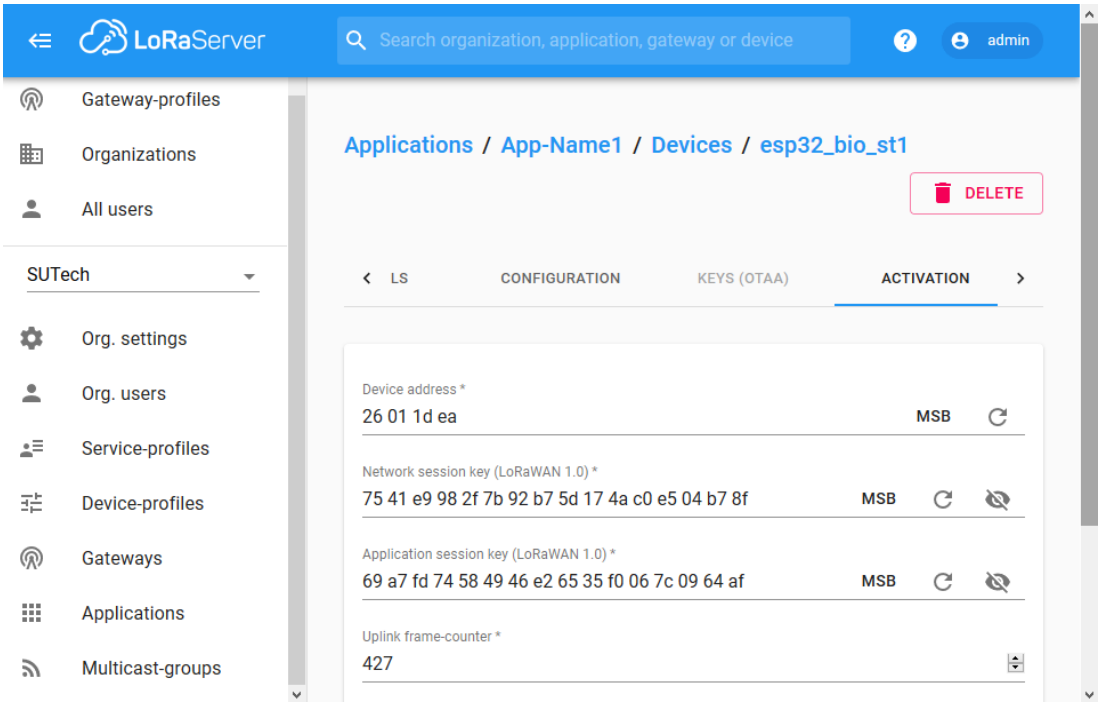


شکل ۴-۱۹ – تعریف دروازه‌ها در سیستم با وارد کردن **Gateway ID**

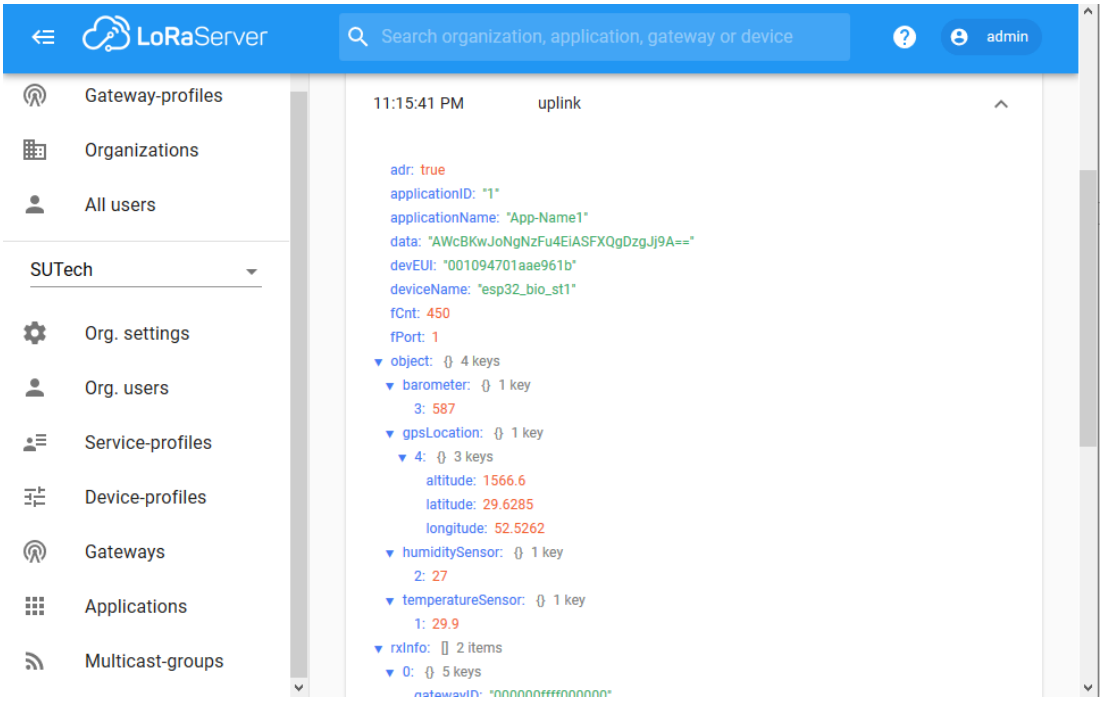


شکل ۴-۲۰ – تعریف سرویس کاربردی در سیستم

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

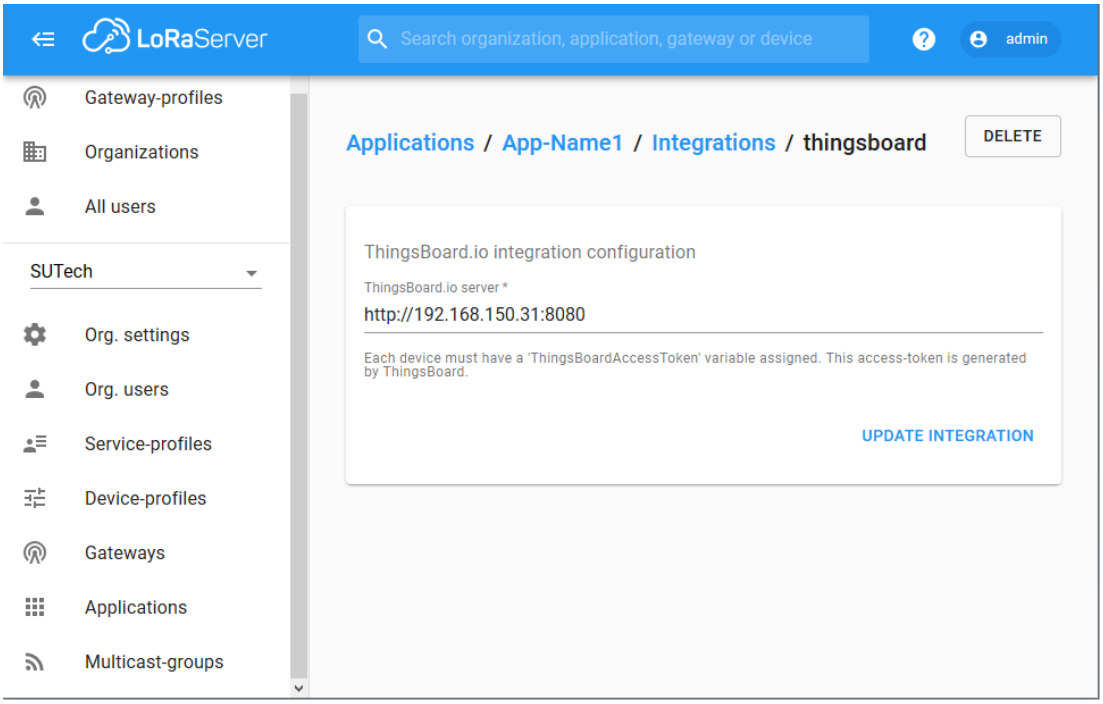


شکل ۴-۲۱ – تعریف گره در زیرمجموعه سرویس کاربردی با واردکردن کلیدهای مربوطه

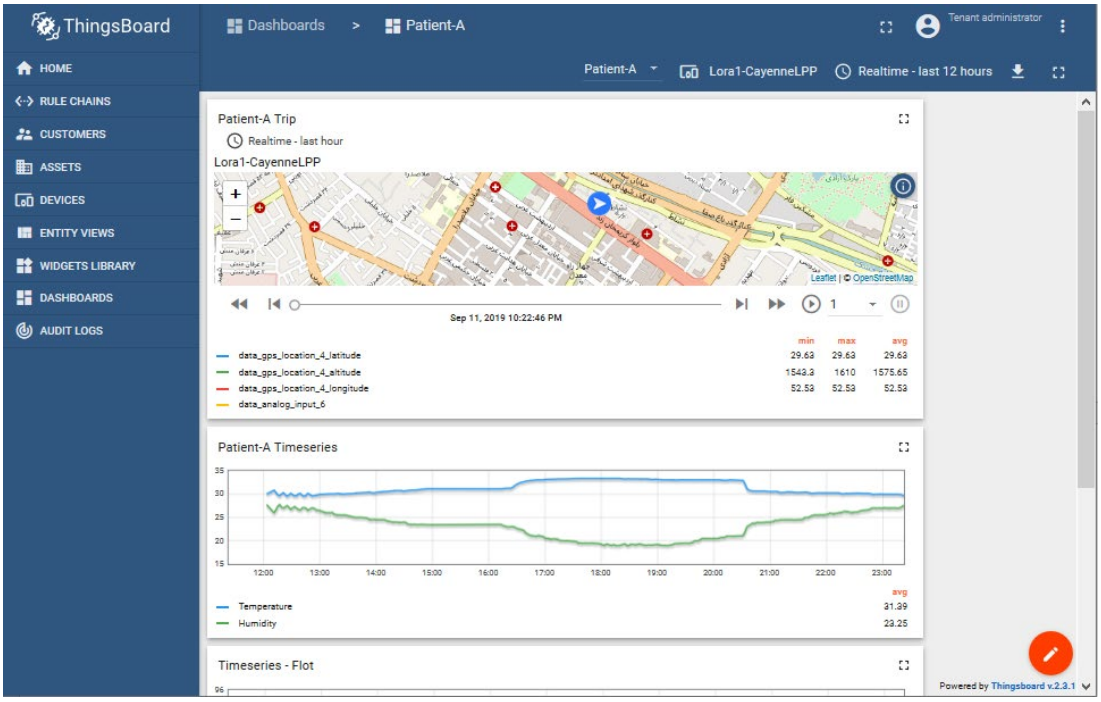


شکل ۴-۲۲ – نمایش اطلاعات دریافتی رمزگشایی‌شده در سیستم

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در محیط تحقیقات فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

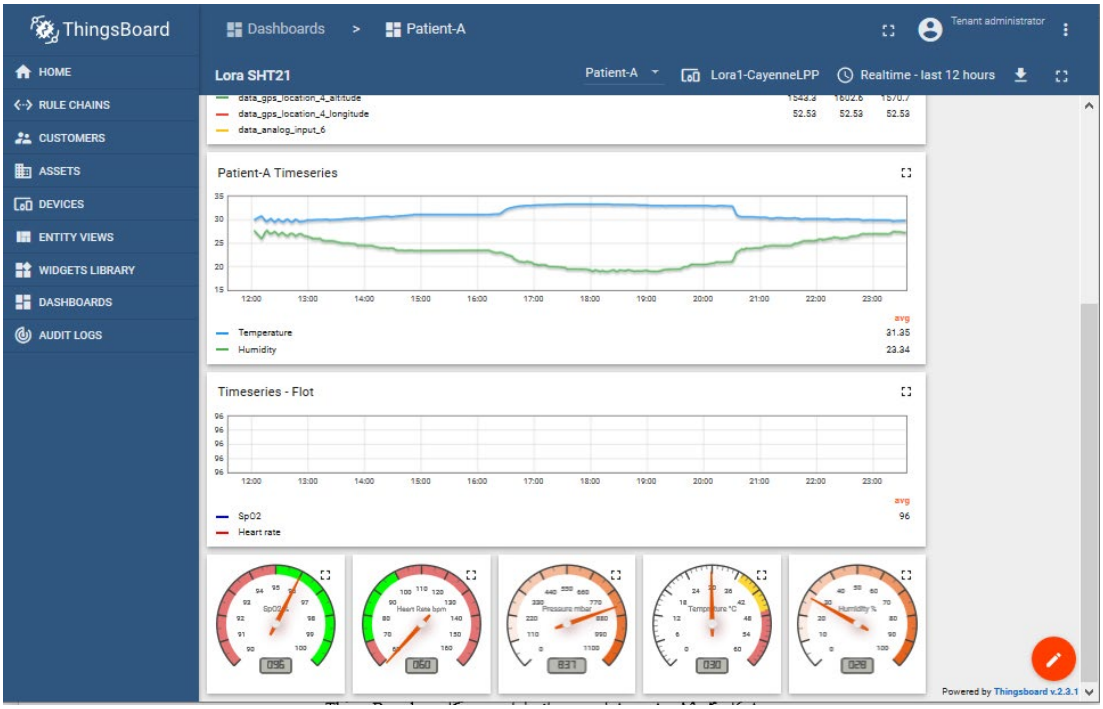


شکل ۴-۲۳ – تعریف سرور **ThingsBoard** جهت ادغام سرور کاربردی در آن



شکل ۴-۲۴ – نتیجه نهایی پس از طراحی درگاه در **ThingsBoard**

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.



شکل ۴-۲۵ – نتیجه نهایی پس از طراحی درگاه در **ThingsBoard**

۴-۳- نتیجه‌گیری

در این فصل کلیه قسمت‌های اکوسیستم راه‌اندازی گردید. یک گره حس‌گر فعال و در نقاط مختلف آزمایشگاه و محوطه آزاد دانشگاه مورد آزمایش قرار گرفت که نتیجه مطابق با پیش‌بینی‌ها پیشرفت و مدل به‌خوبی به اطلاعات پاسخ می‌دهد. در فصل بعد نتایج را تشریح خواهیم کرد.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

فصل پنجم : جمع‌بندی و پیشنهادات

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از آثار پژوهشگران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

۵-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل پس بررسی کامل یک اکو سیستم اینترنت اشیا و کاربردهای آن در سلامت و مهندسی پزشکی، اقدام به راه اندازی و آزمایش عملی یک سیستم مبتنی بر این تحقیق کردیم. شاید مهم ترین قسمت هر تحقیق را بتوان نتیجه حاصل و ارزش آن کاربرد دانش فنی حاصله در زندگی افراد یک جامعه دانست. سازندگان بسیاری از تجهیزات پزشکی از برندگان جوایز بزرگی همچون نوبل و غیرو بوده اند، شاید بهترین علت آن باشد که این تجهیزات روزانه جان بسیاری را از مرگ می راهاند. در این بخش سعی شده نتایج حاصل از این تحقیق جمع بندی گردد و در آخر پیشنهاداتی برای تحقیق‌های آتی ارائه خواهد شد.

۵-۲- نتایج حاصله و نوآوری

پس از راه اندازی این اکو سیستم کامل شامل حسگر، دروازه‌ها، سرور شبکه، سرور کاربردی و در نهایت رابط تحت وب ماشین و انسان، این امکان حاصل شد که پس از نصب سنسور بروی بدن یک فرد داوطلب، علایم حیاتی چون نرخ ضربان قلب، درصد اشباع شدن خون از اکسیژن، موقعیت جغرافیایی و سایر موارد را در محدوده پردیس دانشگاهی دانشگاه صنعتی شیراز را دریافت و مورد ارزیابی قرار دهیم.

چند خصلت ویژه در این سیستم آن را از سایر کارهای انجام شده قبلی متمایز می کند. اول اینکه واحد سنسور امکان اضافه شدن سنسور های دیگر را در صورت لزوم دارد. دوم به دلیل استفاده از LoRa در بخش مخابراتی این سیستم توان ارسال و دریافت اطلاعات را تا ۱۵ کیلومتر می تواند داشته باشد و این درحالی است سیستم دارای کمترین مصرف انرژی نیز می باشد. سوم به دلیل استفاده از نرم افزار ها و سخت افزار های دارای متن باز در آینده امکان هر نوع تغییرات و توسعه وجود دارد. چهارم به دلیل نصب کل اکو سیستم در آزمایشگاه اینترنت اشیاء دانشگاه و عدم نیاز به استفاده از خدمات ابری بالاسری به چندین هدف دست یافته ایم که از آن جمله می توان به عدم وابستگی سیستم به

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیاء
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در محیط فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

ارتباطات اینترنتی، عدم نیاز به پرداخت هزینه های اجاره سیستم های ابری، عدم نیاز به دریافت خدمات از اپراتور ها تلفن همراه، اینترنت و میزبانی نام برد.

نتیجه آزمایشات انجام گرفته بروی سنسور در دورترین نقاط محوطه دانشگاهی بروی کانال صفر باند US915 (۹۰۲,۳۰ مگاهرتز) به شرح زیر می باشد:

جدول۵-۱– عملکرد سیستم و سطح سیگنال دریافتی

محل سنسور	فاصله هوایی (متر)	SNR (dB)	RSSI (dBm)
ورودی سمت شهید کلانتری	156	4	-98
ورودی سمت مدرس قدیم	213	2	-105
ورودی اصلی	266	-3	-111

در این مدت اطلاعات در آزمایشگاه به صورت منظم در هر ۱۰ ثانیه قابل دریافت بود. لذا این سیستم توانایی نظارت از راه دور در محوطه های بازرگ همچون بیمار ستان ها، آ سایشگاهها و حتی مراکز ورزشی حرفه ای را دارا بوده و بسته به نیاز با کمتریم وابستگی به بیرون (اینترنت و سرویس دهندگان خدمات اینترنت اشیا) قابلیت سفارسی سازی را نیز در خود دارد.

استفاده از شبکه LoRaWAN به صورت خصوصی و به منظور مخابره اطلاعات حیاتی نوآوری این تحقیق نسبت به کارهای انجام شده قبلی می باشد. در اکثر نمونه مشابه قبلی از شبکه های تلفن همراه در سطح مخابراتی و از میزبان های شبکه LoRaWAN ابری بروی اینترنت عمومی استفاده شده بود که در این سیستم وابستگی به خدمات بیرونی به حداقل رسیده است.

۵-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آتی

به ترتیب موارد زیر را برای تحقیقات آتی می توان پیشنهاد داد:

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

- ترکیب شبکه LoRaWAN با شبکه گسترده بدن با کمک Bluetooth low energy در سطح حسگر ها
- ایجاد یک شبکه حسگر با روشهای مخابراتی ترکیبی جهت بررسی مشکلات توسعه پذیری اکوسیستم
- بهینه سازی مصرف انرژی در سطح حسگر ها بروی شبکه LoRaWAN

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

مراجع

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهاده‌ها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.
IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا

مراجع

[1] Philip A. Catherwood,David Steele,Mike Little,Stephen Mccomb,James Mclaughlin, "A Community-Based IoT Personalized Wireless Healthcare Solution Trial," *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine,* vol. 6, pp. 1-13, 2018.

[2] S. Aghaei, "Evolution of the World Wide Web : From Web 1.0 to Web 4.0," *International journal of Web & Semantic Technology,* vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2012.

[3] "IPv6," Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IPv6&oldid=914028264. [Accessed 12 9 2019].

[4] N. Naik, "Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP," in *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Vienna, Austria, 2017.

[5] Farshad Firouzi, Amir M. Rahmani, K. Mankodiya, M. Badaroglu, G.V. Merrett, P. Wong, Bahar Farahani, "Internet-of-Things and big data for smarter healthcare: From device to architecture, applications and analytics," *Future Generation Computer Systems,* vol. 78, pp. 583-586, 2018.

[6] Diksha Sopori, Tanaya Pawar,Manjiri Patil,Roopkala Ravindran, "Internet of Things: Security Threats," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET),* vol. 6, no. 3, p. 5, 3 2017.

[7] Xiaolin Jia, Quanyuan Feng, Taihua Fan, Quanshui Lei, "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)," in *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, Yichang, China, 2012.

[8] S. Tepe, "The Blind Men and the Elephant," Medium, [Online]. Available: https://medium.com/betterism/the-blind-men-and-the-elephant-596ec8a72a7d. [Accessed 16 9 2019].

[9] R. Gravelle, "IoT Development Platform: Intel IoT Platform," codeguru, 26 10 2017. [Online]. Available: https://www.codeguru.com/products/IoT/iot-development-platform-intel-iot-platform.html. [Accessed 12 9 2019].

[10] S. Partners, "STL Partners," [Online]. Available: https://stlpartners.com/research/the-iot-ecosystem-and-four-leading-operators-strategies/. [Accessed 12 9 2019].

[11] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gateway_(telecommunications)&oldid=912203436. [Accessed 12 9 2019].

[12] T. Renzenbrink, "Elektor," Elektor, 25 10 2013. [Online]. Available: https://www.elektormagazine.com/articles/internet-of-things-starter-kit-connects-devices-over-ipv6. [Accessed 9 12 2019].

[13] S. Corporation, "What is LoRa®?," Semtech Corporation, [Online]. Available: https://www.semtech.com/lora/what-is-lora. [Accessed 12 9 2019].

[14] LoRa Alliance, "What is LoRaWAN," [Online]. Available: https://lora-alliance.org/resource-hub/what-lorawanr. [Accessed 12 9 2019].

[15] "Smart Healthcare," semtech, [Online]. Available: https://www.semtech.com/lora/lora-applications/smart-healthcare. [Accessed 12 9 2019].

[16] G. Baura, Medical Device Technologies 1st Edition, Elsevier, 2011.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از پدیدآوران علمی، تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و با پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

[17] Sang-Joong Jung,Young-Dong Lee,Yong-Su Seo,Wan-Young Chung, "Design of a low-power consumption wearable reflectance pulse oximetry for ubiquitous healthcare system," in *IEEE*, Seoul, 2008.

[18] The LoRa Server project, [Online]. Available: https://www.loraserver.io/overview/. [Accessed 12 9 2019].

[19] "System architecture," Lora Server Project, [Online]. Available: https://www.loraserver.io/overview/architecture/.

[20] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic_Web&oldid=915073319. [Accessed 12 9 2019].

[21] Daniel Barata,Gonçalo Louzada,Andreia Carreiro,António Damasceno, "System of Acquisition, Transmission, Storage and Visualization of Pulse Oximeter and ECG Data Using Android and MQTT," *Procedia Technology,* vol. 9, pp. 1265-1272, 2013.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادهها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی، پژوهشی و بدون حمایت از رفتار مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

Abstract

IoT has the potential to enhance many medical issues such as remote health monitoring, fitness, chronic illness, and elderly care. Drug compliance and home treatment can also be another application of IoT in medicine. In this research, while attempting to investigate the application of IoT in medical engineering, a complete model of the "IoT ecosystem" with the medical engineering approach is implemented in a fully practical manner. The ecosystem includes sensor node hardware and software containing Pulse Oximetry sensors, a LoRaWAN-based network with a Shiraz University of Technology campus-wide operating, IoT gateways, network and application servers, and finally a web-based HMI system for the beneficiary's users. Finally, the performance of the entire system is evaluated in real terms. The results of this research make it possible to use it in future research as a reliable infrastructure.

Keywords: Internet of Things, IoT, Bio-medical, LoRa, LoRaWAN, Loraserver, ThingsBoard, Pulse Oximetry

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

IN THE NAME OF GOD

Design and Implementation of an IoT Based Model with a Bio-medical Approach and its Evaluation

BY

Ali Jafarzadeh Shirazi

THESIS

SUBMITTED TO THE

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING

AND INFORMATION TECHNOLOGY

SHIRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

IN PARTIAL

FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE (M.Sc.)

In

INFORMATION TECHNOLOGY ENGINEERING
(COMPUTER NETWORKS)

Thesis committee members:

Javidan R., Ph.D., Associate Professor of Computer and Information Technology Engineering Department (supervisor)

Eslami M., Ph.D., Associate Professor of Electrical and Electronics Engineering (Advisor)

Khayami R., Ph.D., Assistant Professor of Computer and Information Technology Engineering Department (Referee)

September 2019

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا
دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مبتنی بر پایهٔ قانون حمایت از حقوق مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

Shiraz University of Technology
Department of Computer Engineering
And Information Technology

M.Sc. Thesis

Design and implementation of an IoT based model with a Bio-medical approach and its evaluation

BY

Ali Jafarzadeh Shirazi

Supervisor

Reza Javidan Ph.D.

Advisor

Mohsen Eslami Ph.D.

September-2019

دسترسی به این مدرک بر پایهٔ آیین‌نامهٔ ثبت و اشاعهٔ پیشنهادها، پایان‌نامه‌ها، و رساله‌های تحصیلات تکمیلی و صیانت از حقوق پدیدآوران علمی و تحقیقاتی، فناوری به شمارهٔ ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۱۳۹۵/۹/۶ از پایگاه اطلاعات علمی ایران (گنج) در پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک) فراهم شده و استفاده از آن با رعایت کامل حقوق پدیدآوران و تنها برای هدف‌های علمی، آموزشی و پژوهشی مجاز است. نقل مطالب، مصنفان، و هنرمندان (۱۳۴۸) و الحاقات و اصلاحات بعدی آن و سایر قوانین و مقررات مربوط شدنی است.

IOT IRAN
مرکز تحقیقات اینترنت اشیا