

دانشگاه صنعتي امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دانشكده مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی

توسعه و پیاده­سازی کارت واسط شبکه خط برق با به کارگیری مدولاسیون FSK

نگارش

سید علیرضا صالحی دهنوی

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا زرندی

شهریور ۱۴۰۱

صفحه فرم ارزیابی و تصویب پایان نامه- فرم تأیید اعضاء كميته دفاع

در این صفحه (هر سه مقطع تحصيلي) بايد فرم ارزيابي یا تایید و تصویب پایان­نامه/رساله موسوم به فرم کمیته دفاع براي ارشد و دكترا و فرم تصويب براي كارشناسي، موجود در پرونده آموزشی را قرار دهند.

اينجانب سید علیرضا صالحی دهنوی متعهد مي‌شوم كه مطالب مندرج در اين پايان‌نامه حاصل كار پژوهشي من تحت نظارت و راهنمايي اساتيد دانشگاه صنعتي اميركبير بوده و به دستاوردهاي ديگران كه در اين پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذكر گرديده است. اين پایان‌نامه قبلاً براي احراز هيچ مدرك هم‌سطح يا بالاتر ارائه نگرديده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرك تحصيلي صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پيگيري قانوني خواهد داشت.

كليه نتايج و حقوق حاصل از اين پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتي اميركبير مي‌باشد. هرگونه استفاده از نتايج علمي و عملي، واگذاري اطلاعات به ديگران يا چاپ و تكثير، نسخه‌برداري، ترجمه و اقتباس از اين پایان نامه بدون موافقت كتبي دانشگاه صنعتي اميركبير ممنوع است. نقل مطالب با ذكر مآخذ بلامانع است.

علیرضا صالحی

امضا

تقدیم به همه کسانی که در راه آزادی و آزادگی از خود هزینه داده­اند.

زندگی صحنه یکتای هنرمندی ماست، هرکسی نغمه خود خواند و از صحنه رود، صحنه پیوسته بجاست، خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد.

از اینکه در مسیر زندگی توانستم فرصت و توان یادگیری را داشته باشم و فرصت ارزشمند مقطع کارشناسی را تجربه کنم و با موفقیت به پایان برسانم، بسیار خرسندم.

بدین­وسیله مراتب سپاس و گرامیداشت خود را خدمت،

* جناب آقای دکتر حیمدرضا زرندی، استاد راهنمای گرانقدر، بابت تلاش‌ها، التفات و راهنمایی‌های ایشان،
* جناب آقای دکتر حمیدرضا کیخا، بابت تلاش­ها و رهنمودهای بی‌دریغ­شان،
* و در پايان، از دوست عزيزم، آقای آریا وارسته بابت نظرات و راهنمایی‌های دلسوزانه­اش

ابراز و از کوشش آنان تشکر می نماییم.

علیرضا صالحی – تابستان 140۱

# چكيده

امروزه شبکه­ها­ی دستگاه­ها و اشیاء نقش به­سزایی در بهبود بهره­وری و درآمد صنایع گوناگون دارند. به طوری که تعلل در به­کارگیری آن­ها می­تواند آینده رقابتی یک شرکت را با خطر قابل توجهی روبه­رو کند. در برخی از صنایع، پشته­های شبکه رایج مانند TCP/IP برای ارتباط دستگاه­ها مناسب نمی­باشد. از جمله معایب اساسی به کاربردن پشته TCP/IP در این صنایع، هزینه­ی بالای نصب زیرساخت­ و دستگاه­هایی است که از آن پشتیبانی می­کنند. در صورتی که از پیش برای تأسیسات، زیرساخت­های لازم تدبیر نشده باشد (که در بیشتر موارد این چنین است) هزینه نصب زیرساخت تا بیش از دو برابر نیز افزایش خواهد یافت. همچنین تأثیر منفی امواج الکترومغناطیسی استفاده شده در لایه فیزیکی پشته TCP/IP بر کارکرد صحیح برخی دستگاه­ها (مانند دستگاه­های پایش بیمار)، از دیگر مشکلات مهم به­کارگیری این پشته می­باشند. از آنجا که حفظ کارکرد صحیح دستگاه­ها امری ضروری می­باشد، بسیاری از صنایع در برقراری اتصال میان اشیاء از راه پشته رایج TCP/IP، با مشکل جدی روبه­رو می­گردند. برای حل این معایب ارتباطات خط برق می­تواند روش مناسبی برای اتصال دستگاه­ها در چنین صنایعی باشد. از آن­جا که پهنای باند رسانه در ارتباطات خط برق پایین می­باشد، وجود یک پشته شبکه خط برق سبک با حداقل طول سرآیند در لایه­های شبکه امری ضروری است. در این پژوهش تلاش شد با شناسایی نیازمندی­های اساسی شبکه در این صنایع، کارت واسط شبکه خط برقی با پشته شبکه سبک و سرباری بسیار کمتر از TCP/IP با مدولاسیون FSK توسعه داده شده و پیاده­سازی گردد.

واژه‌های کلیدی:

ارتباطات خط برق، کارت واسط شبکه خط برق، پشته شبکه خط برق، پشته TCP/IP، مدولاسیون FSK

|  |  |
| --- | --- |
| فهرست مطالب | صفحه |

[چكيده ‌أ](#_Toc115975573)

[فصل اول مقدمه 1](#_Toc115975574)

[فصل دوم معرفی مسئله 6](#_Toc115975575)

[معرفی مسئله 7](#_Toc115975576)

[1-2- اهمیت روزافزون اینترنت اشیا 7](#_Toc115975577)

[2-2- چالش­ها و مشکلات پیشرو پیاده­سازی شبکه 8](#_Toc115975578)

[۱-۲-۲- امنیت شبکه اشیا 8](#_Toc115975579)

[۲-۲-۲- سربار و کارایی 8](#_Toc115975580)

[۳-۲-۲- هزینه پیاده­سازی 12](#_Toc115975581)

[۳-۲- ارتباطات خط برق 12](#_Toc115975582)

[5-2- جمع‌بندی 14](#_Toc115975583)

[فصل سوم روش پیشنهادی 15](#_Toc115975584)

[روش پیشنهادی 16](#_Toc115975585)

[1-3- کارت واسط شبکه خط برق 17](#_Toc115975586)

[۱-۱-۳- مودم خط برق KQ130-F 17](#_Toc115975587)

[۲-۱-۳- میکروکنترلر STM32F030C8T6 18](#_Toc115975588)

[3-2- گرداننده کارت واسط شبکه خط برق 19](#_Toc115975589)

[3-3- پشته شبکه طراحی شده 19](#_Toc115975590)

[۱-۳-۳- لایه پیوند 19](#_Toc115975591)

[۲-۳-۳- لایه انتقال 20](#_Toc115975592)

[4-3- جمع‌بندی 21](#_Toc115975593)

[فصل چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی 22](#_Toc115975594)

[پیاده‌سازی و ارزیابی 23](#_Toc115975595)

[۱-۴- پیاده‌سازی 23](#_Toc115975596)

[۱-1-۴- کارت شبکه خط برق 23](#_Toc115975597)

[۱-۱-۱-۴- شماتیک و قطعات مدار 23](#_Toc115975598)

[۲-۱-۱-۴- نرم­افزار میکروکنترلر 27](#_Toc115975599)

[۲-1-۴- گرداننده کارت شبکه 28](#_Toc115975600)

[۱-۲-۱-۴- لایه پیوند 28](#_Toc115975601)

[۲-۱-۲-۱-۴- طول داده 29](#_Toc115975602)

[۳-۱-۲-۱-۴- شناسه­های کارت شبکه 29](#_Toc115975603)

[۴-۱-۲-۱-۴- درهم­ریخته سرآیند 30](#_Toc115975604)

[۵-۱-۲-۱-۴- شناسه پنجره 30](#_Toc115975605)

[۶-۱-۲-۱-۴- داده و کد بررسی افزونگی دورهای 30](#_Toc115975606)

[۲-۲-۱-۴- لایه انتقال 30](#_Toc115975607)

[۱-۲-۲-۱-۴- تکه­تکه کردن 31](#_Toc115975608)

[۲-۲-۲-۱-۴- رمزگذاری 31](#_Toc115975609)

[۲-۴- خروجی و ارزیابی 32](#_Toc115975610)

[۱-۲-۴- ایرادیابی 32](#_Toc115975611)

[۲-2-۴- ارزیابی 35](#_Toc115975612)

[۳-۴- جمع‌بندی 38](#_Toc115975613)

[فصل پنجم جمع‌بندي و پیشنهاد کارهای آتی 40](#_Toc115975614)

[جمع‌بندي و پیشنهاد کارهای آتی 41](#_Toc115975615)

[5-1- جمع‌بندی 41](#_Toc115975616)

[5-2- پیشنهاد کارهای آتی 43](#_Toc115975617)

|  |  |
| --- | --- |
| **فهرست تصاویر** | **صفحه** |
| [شکل 1-1: تأثیر افزایش ده درصدی ارتباط ماشین-ماشین بر روی تولید ناخالص ملی [1] 2](#_Toc115990931)  [شکل 1-2: لایه­های پشته شبکه TCP/IP [2] 3](#_Toc115990932)  [شکل ۳-۱: دربرگرفته شدن SDU لایه بالایی به­دست PDU لایه پایین آن و سربار ساختار لایهای [2] 4](#_Toc115990933)  [شکل ۲-۱: روش­های پایه مدولاسیون داده دیجیتال [2] 13](#_Toc115990934)  [شکل ۲-۲: روش کلی ارتباطات خط برق [11] 13](#_Toc115990935)  [شکل ۳-۲: نمودار نویز منتشر شده بر روی خط برق توسط برخی دستگاه­ها [12] 14](#_Toc115990936)  [شکل ۳-۳: نمونه­ای از نتیجه برخورد که باعث خطا در داده­های دریافتی (سبز رنگ) می­شود 19](#_Toc115990937)  [شکل ۴-۱: نمودار شماتیک مدار کارت شبکه 24](#_Toc115990938)  [شکل ۲-۴: سطح منطقی ولتاژ در هر یک از تکنولوژی­های به کار رفته 25](#_Toc115990939)  [شکل ۳-۴: شماتیک مدار تقسیم­کننده ولتاژ 26](#_Toc115990940)  [شکل ۴-۴: نرم­افزار میکروکنترلرها به طور مستقل از مودم ایرادیابی شد 33](#_Toc115990941)  [شکل ۵-۴: شیوه ایجاد همبندی خطی مجازی در روند ایرادیابی گرداننده 34](#_Toc115990942)  [شکل ۴-۶: دو کارت شبکه به خط برق متصل شده­اند و به صورت دستی ایرادیابی می­گردند 34](#_Toc115990943)  [شکل ۴-۷: نمونه­ای از استفاده از کل پشته شبکه برای ارسال داده­های لایه کاربرد در برنامه کنسولی 35](#_Toc115990944)  [شکل ۴-۸: برد فیزیکی نهایی کارت شبکه خط برق 36](#_Toc115990945)  [شکل ۹-۴: سربار پشته شبکه پیشنهادی و TCP/IP در شبکه مدیریت انرژی بر حسب شمار حسگرها یا عملگرها 38](#_Toc115990946) | |

|  |  |
| --- | --- |
| فهرست جداول | صفحه |

[جدول ۱-۲: مشخصات شبکه در سامانه­های ساختمان هوشمند [9] 9](#_Toc115990947)

[جدول 2-۲: مشخصات شبکه در سامانه­های مدیریت انرژی [9] 10](#_Toc115990948)

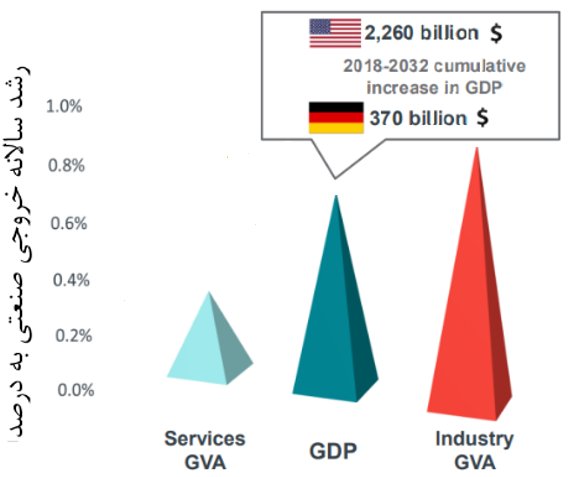
[جدول ۴-۱: ساختار قاب لایه پیوند 28](#_Toc115990949)

[جدول ۴-۲: ساختار قطعه لایه انتقال 31](#_Toc115990950)

[جدول ۴-۳: نرخ موفقیت در مدیریت انواع خرابی­هایی که بر اثر برخورد ایجاد میشوند 37](#_Toc115990951)

# فصل اول مقدمه مقدمه

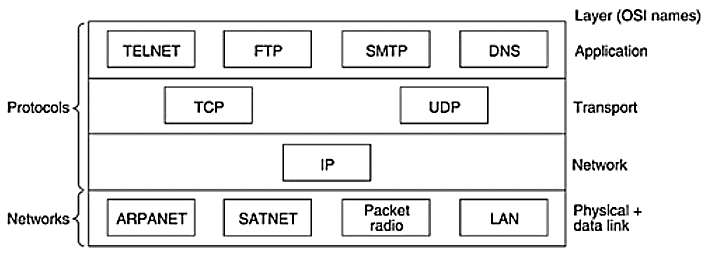
امروزه شبکه­های رایانه­ای با اندازه­گیری، گردآوری و جابه­جایی، تحلیل داده و در نهایت اعمال عملیات­های کنترلی باعث افزایش بهره­وری و بهبود بسیاری از فرآیندهای ساخت و تولید گشته­اند. همچنین امکان نظارت و کنترل فرآیندهای مختلف را فراهم آورده­اند.



شکل 11-1: تأثیر افزایش ده درصدی ارتباط ماشین-ماشین بر روی تولید ناخالص ملی [1]

از این رو این شبکه‌ها به نقشی بسیار مهم در جوامع انسانی دست یافته‌اند، به طوری که برپایه برآورد­ها مطابق شکل ۱-۱ افزایش ده درصدی ارتباط­های ماشین-ماشین در بازه ۱۵ ساله ۲۰۱۸ الی ۲۰۳۲ در کشور آمریکا منجر به افزایش ۰.۷ درصدی تولید ناخالص داخلی [[1]](#footnote-2)و رشد ۰.۹ درصدی ارزش افزوده ناخالص[[2]](#footnote-3) صنعتی، و ۰.۳ درصدی ارزش افزوده ناخالص خدماتی در این کشور شده است [1].

ساخت و نگه­داری اتکاپذیر شبکه­های رایانه­ای نیازمند اتصال قابل اطمینان میان رایانه­های شبکه می­باشد. برای این منظور رسانه­های انتقال داده[[3]](#footnote-4) و پشته­های شبکه[[4]](#footnote-5) گوناگونی توسعه داده­شده است که از جمله شناخته­ترین آن­ها می­توان به پشته TCP/IP اشاره کرد، که این پشته یک ارتباط اتکاپذیر را بر روی یک بستر انتقال داده اتکاناپذیر فراهم می­آورد [2].



شکل2 1-2: لایه­های پشته شبکه TCP/IP [2]

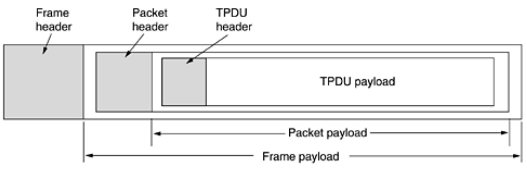
با توجه به شکل ۱-۲ پشته TCP/IP دارای پنج لایه کاربرد[[5]](#footnote-6)، انتقال[[6]](#footnote-7)، شبکه[[7]](#footnote-8)، پیوند[[8]](#footnote-9) و فیزیکی[[9]](#footnote-10) می­باشد. به طور خلاصه لایه فیزیکی انتقال بیت‌های خام میان دو دستگاه را که به یکدیگر از طریق رسانه انتقال متصل هستند، لایه پیوند مدیریت رسانه انتقال و خطایابی قاب­ها، لایه شبکه هدایت و مسیریابی بسته­ها و لایه انتقال فراهم کردن ابزاری مطمئن انتقال داده بر عهده دارد. در نهایت لایه کاربرد نیز پیام­های ارتباطی میان دو دستگاه نهایی را دریافت و ارسال میکنند [2].

هر یک از این پشته­ها مناسب برای کاربرد­ی خاص می­باشند. از این رو برپایه کاربرد، ممکن است در مواردی مانند:

* محدودیت در توان پردازشی
* نرخ پایین تولید داده و اهمیت آن
* ساده بودن شبکه
* بی­درنگ بودن عملیات­ها

پشته به صورت کامل پیاده­سازی نشود.

برای مثال در سیستم‌های نهفته که به طور میانگین کمتر از ۱۰۰ کیلوبایت حافظه اصلی و حافظه ثانویه وجود دارد، نمی­توان پیاده­سازی­های کامل این پشته را استفاده کرد چراکه دست­کم چند ۱۰۰ کیلوبایت حافظه اصلی و ثانویه نیاز دارند [3]. به طوری که در تلاش­هایی که برای پیاده‌سازی این پشته بر روی میکروکنترلرها انجام شده است برخی امکانات مانند درخواست بازفرستی خودکار انتخابی[[10]](#footnote-11) و کنترل اذحام[[11]](#footnote-12) پیاده‌سازی نشده است [4].



شکل3 ۳-۱: دربرگرفته شدن SDU لایه بالایی به­دست PDU لایه پایین آن و سربار ساختار لایه­ای [2]

به عنوان مثالی دیگر می­توان شبکه­های دربرگیرنده حسگرها و القاگرهایی با نرخ داده پایین را در نظر گرفت که برای کنترل و پایش به­کارمی­روند. از جمله این سیستم­ها می‌توان سامانه روشنایی و مدیریت انرژی ساختمان­ را نام برد که در مواقع لازم دستگاه­ها را به شبکه برق متصل یا از آن قطع می­کند. در این گونه سیستم­ها پهنای باند داده اندک می­باشد و رایانه­ها نیز محدودیت توان پردازشی دارند. از این رو استفاده از پشته TCP/IP که به هر پیام لایه کاربرد دست­کم ۲۰ بایت در لایه انتقال و ۲۰ بایت در لایه شبکه می‌افزاید که سربار بزرگی برای شبکه ایجاد می‌کند [2].

پشته­های شبکه را می­توان از نظر هزینه برپاسازی نیز بررسی کرد. از عوامل موثر بر هزینه برپاسازی پشته شبکه می­توان موارد زیر را برشمرد:

1. **جنس رسانه و روش بازنمایی بیت­ها در لایه فیزیکی (زمان‌بندی[[12]](#footnote-13)، مدولاسیون[[13]](#footnote-14)):** به طور کلی با افزایش فرکانس سیگنال داده ارسالی هزینه ساخت گیرنده و فرستنده لایه فیزیکی افزایش می­یابد، زیرا نیاز به ابزارهای دقیق­تر و پردازش سریع­تر سیگنال افزایش می­یابد. در صورت به­کاربردن مدولاسیون هرچه روش مدولاسیون پیچیده­تر باشد هزینه ساخت افزایش می­یابد، به طور کلی روش ASK ساده­ترین و ارزان­ترین و روش­های FSK و PSK پیچیده­تر و گران­تر می­باشند [5].
2. **سربار لایه­های بالاتر:** هرچه میزان پردازش واحد‌های داده[[14]](#footnote-15) در لایه‌های بالاتر بیشتر باشد، نیاز به فضای حافظه اصلی و ثانویه بیشتر و همچنین پردازنده با توان بالاتر است.

در شبکه TCP/IP رایج‌ترین رسانه انتقال، زوج سیم­های تابیده می­باشد که به طور میانگین در ۶۰۰ متر کابل­کشی برای ساختمان‌های در حال تاسیس حدود ۲۰۰۰ دلار هزینه در بر خواهد داشت اما این رقم برای ساختمان‌هایی که پس از ساخت اقدام به نصب تجهیزات می‌کنند، بیش از دو برابر افزایش خواهد یافت[[15]](#footnote-16) [6]. از این رو در کاربرد­هایی مانند سامانه نظارت انرژی ساختمان‌ها که گستردگی فیزیکی تأسیسات و همچنین شمار دستگاه­ها قابل­توجه است و پهنای­باند داده مورد نیاز نیز کم می باشد، می­توان دریافت که پشته TCP/IP‌ مناسب نمی­باشد.

فصل دوم  
معرفی مسئله

# معرفی مسئله

در این فصل نخست اهمیت روزافزون به­کارگیری شبکه­های رایانه­ای و اینترنت اشیا[[16]](#footnote-17) در صنایع گوناگون را بررسی کرده، سپس به چالش­های پیش­رو صنایع برای پیاده­سازی شبکه­های رایانه­ای متداول در حوزه کاریشان می­پردازیم. در نهایت درباره ارتباطات خط برق[[17]](#footnote-18) صحبت خواهد شد و این‌که چگونه خواهد توانست برخی از این چالش­ها و مشکلات پیاده­سازی شبکه را برطرف نماید.

## 1-2- اهمیت روزافزون اینترنت اشیا

امروزه بسیاری از شرکت‌ها و صنایع رو به خودکارسازی و سامانه­های نظارت بر روند ساخت و تولید روی آورده­اند، چرا که امکان نظارت گسترده، بی­درنگ و کم­هزینه، پیش‌بینی و بهینه­سازی فرآیندها را فراهم می­آورد و که به طور خلاصه باعث کاهش قابل توجه هزینه­ها می­گردد [7].

این افزایش بهره­وری تا اندازه­ای است که برپایه برآوردها استفاده از اتوماسیون تا سال ۲۰۲۷ به واسطه ایجاد صرفه جویی درهزینه‌ها، باعث افزایش ۱۴۸.۶ میلیارد دلاری درآمد صنایع می­گردد. از این رو تعداد دستگاه­های متصل به شبکه رشد بی­سابقه را تجربه خواهد کرد و تخمین زده می­شود تا پایان سال ۲۰۲۲ شمار دستگاه­های اینترنت اشیا به ۲۹ میلیارد عدد برسد. انگیزه ۵۴ درصد از پروژه­های اینترنت اشیا که در صنایع به منظور کاهش هزینه­ها می­باشد. از این رو به­کارگیری اینترنت اشیا در صنایع می­تواند توان رقابتی آن­ها را افزایش دهد، به طوری که ۲۳ درصد از شرکت‌های چینی به این منظور از اینترنت اشیا بهره می­برند [8]. از این رو بیش از ۸۰ درصد از مدیران اجرایی صنایع بر این باورند که اینترنت اشیا برای برخی یا همه خط­های تولیدشان ضروری است. و ۵۸ درصد از تولیدکنندگان باور دارند که این فن­آوری تبدیل به یک ضرورت راهبردی برای عملیات­های صنعتی شده است و در نهایت ۸۳ درصد از سازمان­هایی که فن­آوری یادشده را پیاده­سازی کرده­اند اعلام کرده­اند که بهبود قابل توجهی را در کارایی تجربه کرده­اند [8].

در نتیجه به نظر می­رسد که حرکت به­سوی اینترنت اشیا و پیاده­سازی آن در صنایع مختلف یک ضرورت گریز ناپذیر گشته است و شرکت­هایی که در این راه دیر اندیشه و عمل کنند، از نظر راهبردی و رقابتی به طور قابل توجهی از دیگر رقبای خود عقب می­افتند.

## 2-2- چالش­ها و مشکلات پیش­رو پیاده­سازی شبکه

اما این حرکت به سوی اینترنت اشیا ساده نخواهد بود و چالش­های گوناگون بر حسب کاربردهای مورد نیاز ممکن است روبه­روی شرکت‌ها قرار گیرد. که در ادامه به آن می پردازیم.

### ۱-۲-۲- امنیت شبکه اشیا

به طور کلی دستگاه­های اینترنت اشیا متصل به شبکه در بازه پنج دقیقه­ای اتصال به شبکه مورد حمله قرار می­گیرند. این حملات در سال ۲۰۱۸ به شدت افزایش یافت به طوری که در سال ۲۰۱۹ به بیش از ۳۰۰ درصد رسید. با این وجود ۴۸ درصد از شرکت­ها اقرار می­کنند که نمی­توانند نقص­های امنیتی در شبکه خود را شناسایی کنند [8].

از این رو درنظر گرفتن پشته­های شبکه­ای که بتوانند نیازمندهای امنیتی را پوشش دهند، از همان آغاز طراحی سامانه ضروری به نظر می­رسد چراکه پس از پیاده­سازی تغییر و اصلاح شبکه نیازمند هزینه­های هنگفت است. این امر به ویژه زمانی قابل توجه می­شود که ۷۴ درصد از مشتریان نگران ازدست دادن حریم خصوصی و آزادی­های شهروندی خود هستند که موجب فشار افزوده بر شرکت­ها برای در نظر گرفتن روش­های ایمن در پیاده­سازی شبکه خود شده است [8].

### ۲-۲-۲- سربار و کارایی

برای بررسی سربار و کارایی پیاده­سازی شبکه­های گوناگون بهتر است نخست به تحلیل نیازمندی­های شبکه بسته به­ کاربردها بپردازیم. به عنوان مثالی رایج، سامانه­های اتوماسیون ساختمان و نظارت بر توان مصرفی را بررسی می­کنیم. به طور کلی این دو سامانه پهنای باند و نیازمندی­های شبکه­ای پایینی دارند که جزئیات هریک در جدول‌های ۲-۱ و ۲-۲ آورده شده است.

جدول 1۱-۲: مشخصات شبکه در سامانه­های ساختمان­ هوشمند [9]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نام خدمات | اندازه شبکه | پوشش شبکه | نرخ ترافیک | جهت ترافیک | نیاز به کیفیت خدمات**[[18]](#footnote-19)** |
| نظارت وضعیت ساختمان | کوچک(ده دستگاه) تا متوسط(۱۰۰ دستگاه) | کوچک (چند ده متر) | یکنواخت؛ یک پیام در هر دقیقه به ازای هر دستگاه | دوطرفه | کم؛ تاب­آوری تاخیر یک دقیقه |
| کنترل نور | نایکنواخت؛ نادر | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر سه ثانیه |
| کنترل آب و هوا | یکنواخت؛ یک پیام هر ۱۵ دقیقه به ازای هر دستگاه | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر پنج ثانیه |
| ابزارهای هوشمند | نایکنواخت؛ نادر | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر سه ثانیه |
| نظارت برای امنیت و ایمنی | یکنواخت؛ رایج | متوسط؛ تاب­آوری تاخیر سه ثانیه؛ زیاد برای هشدارها |
| سرگرمی | نایکنواخت؛ رایج | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر چند صد میلی ثانیه |

جدول 2-۲: مشخصات شبکه در سامانه­های مدیریت انرژی [9]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نام خدمات | اندازه شبکه | پوشش شبکه | نرخ ترافیک | جهت ترافیک | نیاز به کیفیت خدمات |
| مدیریت توان خانگی[[19]](#footnote-20) | کوچک(ده دستگاه) | کوچک(چند ده متر) | یکنواخت؛ یک پیام در هر دقیقه به ازای هر دستگاه | دوطرفه | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر پنج ثانیه |
| زیرساخت پیشرفته اندازه­گیری[[20]](#footnote-21) | متوسط(۱۰۰ دستگاه) تا بزرگ  (۱۰۰۰دستگاه) | متوسط  (چند ۱۰۰ متر) | یکنواخت؛ یک پیام در هر ساعت به ازای هر دستگاه | متوسط؛ تاب­آوری تاخیر ۱۵ ثانیه |
| مدیریت پاسخ به نیاز[[21]](#footnote-22) | بزرگ  (۱۰۰۰ دستگاه) | بزرگ (چند ده کیلومتر) | نایکنواخت؛ نارایج، یک پیام به ازای هر دستگاه در همه­پخشی[[22]](#footnote-23) | کم؛ تاب­آوری تاخیر یک دقیقه |
| حفاظت و کنترل گستره پهناور | یکنواخت؛ یک پیام هر ۱۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه به ازای هر دستگاه | زیاد؛ تاب­آوری تاخیر سه ثانیه |

بر پایه جزئیات نیازمندی‌های شبکه­ این دو سامانه که در بالا آورده شده است، می­توان کران بالا و پایین گذردهی و جزئیات کارایی استفاده از پشته TCP/IP برای این سامانه­ها را محاسبه کرد.

در این سامانه­ها هر پیام لایه کاربرد را می­توان به دو دسته: ۱) انتقال داده حسگر ۲) انتقال فرمان بخش­بندی کرد. دسته اول نیازمند یک بایت ابرداده[[23]](#footnote-24)، یک بایت شناسه دستگاه برده[[24]](#footnote-25)، یک بایت شناسه حسگر و دو بایت داده حسگر می­باشد که روی­­هم این دسته از پیام­ها طول میانگین برابر با پنج بایت دارد. دسته دوم نیز نیازمند یک بایت ابرداده، یک بایت شناسه دستگاه برده، یک بایت شناسه عملگر و دو بایت نیز برای کیفیت فرمان عملگر که روی­هم برابر با پنج بایت خواهد شد. به طور میانگین برای محاسبه کران بالا می­توان گفت هر دستگاه در هر ۱۵ ثانیه یک پیام حسگر ارسال و یک پیام فرمان دریافت می­کند و روی­هم­رفته ۱۰۰ دستگاه داریم؛ در این صورت کران بالای گذردهی کل بر اساس رابطه­­ی ۲-۱ بدست می­آید:

|  |  |
| --- | --- |
| رابطه ۲-۱ |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

از آن‌جا که در پشته TCP/IP ۲۰ بایت در لایه انتقال و ۲۰ بایت در لایه شبکه به پیام افزوده می­شود در نتیجه دست­کم ۴۰ بایت سربار به ازای هر پیام خواهیم داشت که بر این اساس کارایی انتقال پیام بر اساس رابطه ۲-۲ به صورت زیر محاسبه می­گردد:

|  |  |
| --- | --- |
| رابطه ۲-۲ |  |
|  |  |

همچنین گذردهی شبکه TCP/IP دست­کم برابر با یک مگابیت بر ثانیه می­باشد اما با وجود نیازمندی کم این سامانه در صورت استفاده از این پشته نرخ بهره­وری به شدت پایین می­آید [10].

با توجه به این توصیفات به نظر می­رسد که پشته­ رایج برای اتصال رایانه­ها (TCP/IP) گزینه مناسبی برای برقراری اتصال شبکه در سامانه­های اینترنت اشیا نمی­باشد. و باید از پشته­هایی با کارایی و بهره­وری بالاتر استفاده کرد.

### ۳-۲-۲- هزینه پیاده­سازی

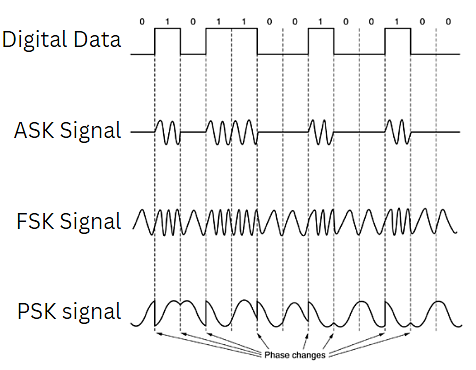
باوجود تلاش­ها برای پیاده­سازی فن­آوری اینترنت اشیا، اما بسیاری از صنایع زیرساخت­های لازم برای شبکه را پیش از ساخت تأسیسات تدبیر نکرده­اند. از این رو هزینه نصب زیرساخت برای اتصال دستگاه‌های شبکه به طور قابل ملاحظه­ای افزایش می­یابد. با این وجود ممکن است بتوان با بهره­گیری از اتصال بی­سیم این هزینه­ها را کاهش داد. اما گاهی موانعی بر سر راه استفاده از اتصال بی­سیم وجود دارد که به صورت زیر باشند:

1. چنانچه تأسیسات دارای دیوارهای ضخیم یا طبقه­های زیرزمینی داشته باشد. در این صورت اتصال بی­سیم کاربری پایینی خواهد داشت.
2. چنانچه سطح محرمانگی بالاتری نیاز باشد به طوری که نمی­بایست داده‌ها به صورت بی­سیم جابه­جا گردند.
3. چنانچه امواج الکترومغناطیسی اثر ناخواسته­ای بر روی دستگاه­های دیگر بگذار، مانند بیمارستان­ها

## ۳-۲- ارتباطات خط برق

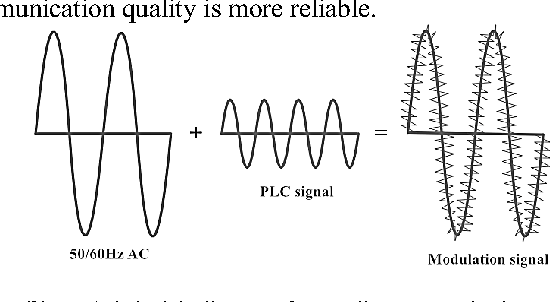
یکی از روش­های ارسال داده­های دیجیتال تبدیل آن­ها به سیگنال­های آنالوگ می­باشد که به این روش مدولاسیون دیجیتال به آنالوگ گفته می­شود و وارون این عملیات دمدولاسیون نام دارد. مدولاسیون به طور کلی از فرکانس­هایی پایه برای انتقال داده­های دیجیتال استفاده می­کند که به آن­ها فرکانس­های حامل گفته می­شود [2].

با استفاده از مدولاسیون امکان حضور همزمان چندین سیگنال بر روی یک رسانه فراهم می­گردد. این سیگنال­ها می­توانند به تمامی سیگنال­های داده باشند یا سیگنال برق را نیز دربر بگیرند [2]. از این رو با بهره­بردن از مدولاسیون این امکان فراهم می­گردد که بتوان بر روی خط برق داده نیز ارسال کرد.

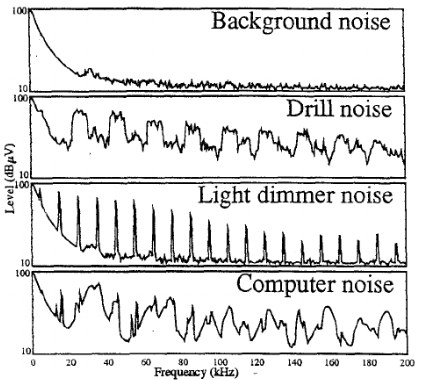


شکل4 ۲-۱: روش­های پایه مدولاسیون داده دیجیتال [2]

البته به دلیل برخی از ویژگی­های سیم­های برق نظیر: کابل و اتصال­های کیفیت پایین، منتشر شدن نویز دستگاه­های متصل مانند: جاروبرقی، لامپ­ها و یخچال بر روی خط برق، بازتاب امواج الکترومغناطیسی بر روی آن به طوری ذاتی محیط چالش برانگیزی برای انتقال داده می­باشد. که البته می­توان با بهره­گیری از روش­های مقاوم در برابر نویز مانند PSK و FSK، کاهش فرکانس حامل و استفاده از مکانیسم‌های شناسایی خطا با این چالش به مقابله پرداخت [11].



شکل5 ۲-۲: روش کلی ارتباطات خط برق [11]



شکل6 ۳-۲: نمودار نویز منتشر شده بر روی خط برق توسط برخی دستگاه­ها [12]

همان­گونه که در شکل ۲-۳ مشخص شده­است، روش کلی این فن­آوری قراردادن سیگنال داده بر روی موج AC می­باشد. لازم به ذکر است که می­توان چندین سیگنال داده را به طور همزمان بر روی خط برق قرار داد و یا به عبارتی چندین کانال داده داشت که هر کدام از آن‌ها فرکانس حامل متفاوتی دارند. به این ترتیب می­توان گذردهی رسانه را افزایش داد.

## 5-2- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا اهمیت گریز ناپذیر به­کارگیری اینترنت اشیا در صنایع و کارخانه­­ها را مورد بررسی قرار دادیم. سپس به چالش­ها و مشکلات پیش­روی پیاده­سازی و به­کارگیری این فن­آوری پرداختیم. در نهایت با ارتباطات خط برق آشنا شدیم و این‌که این فناوری چگونه می­تواند در برخی از کاربرد­ها چالش­های پیش­رو را حل کند و مناسب­ترین گزینه باشد.

# فصل سوم روش پیشنهادی

# روش پیشنهادی

در فصل پیش­رو اجزای کلی کارت واسط شبکه پیشنهادی برای ایجاد شبکه اشیا برشمرده می­شود و جزئیات پیاده­سازی در فصل ۴ پوشش داده می­شود. قابلیت­هایی که مدولاسیون خط برق برای ما فراهم می­کند برای برطرف کردن چالش­­های یادشده در فصل پیشین چشمگیر است. اما همچنان تلاش­های بیشتری باید صورت گیرد تا بتوان بر بستر آن روشی اتکاپذیر ساخت. چرا که در یک شبکه عملیاتی ممکن است حالت­های گوناگونی رخ دهد که برای هر یک باید اقدام متناسبی صورت گیرد. از جمله این حالت­ها می­توان موارد زیر را برشمرد:

1. برخورد سیگنال­های ارسال شده از دو یا چند مودم (نیاز به شناسایی و مدیریت برخورد سیگنال‌ها بر روی رسانه)
2. رخ دادن خطا در داده­های ارسالی در هنگام ارسال، بر روی خط برق یا دریافت (نیاز به مکانیسم شناسایی خطا و بازفرستادن داده)
3. ایمن نبودن رسانه و نگرانی از نشت اطلاعات (نیاز به فراهم کردن نوعی از رمزگذاری داده­ها)
4. وجود چندین دستگاه متصل به خط (نیاز به تخصیص شناسه یکتا به هر کدام)

حالت­های یک، دو و چهار در لایه پیوند و دو و سه در لایه انتقال از پشته شبکه مدیریت می­شوند. از آن­جا که همبندی[[25]](#footnote-26) شبکه در خط برق را می­توان خطی[[26]](#footnote-27) در نظر گرفت از این رو شبکه تک سطحی خواهد بود. در نتیجه مفاهیم مسیریابی[[27]](#footnote-28) و هدایت[[28]](#footnote-29) وجود نخواهد داشت زیرا هر یک از دستگاه‌ها به طور مستقیم با همه دستگاه­های دیگر در ارتباط است. پس در این مدل اتصال، لایه شبکه وجود ندارد.

با توجه به توضیحات بالا ضرورت پیاده­سازی کارت واسط شبکه که لایه­های مورد نیاز از پشته شبکه را پیاده­سازی می­کند مشخص می­شود.

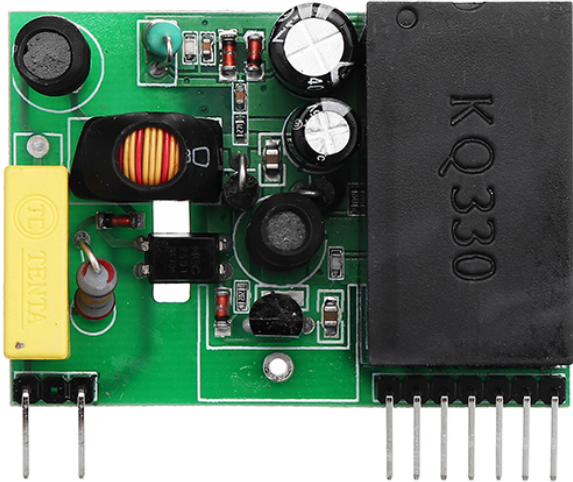
## 1-3- کارت واسط شبکه خط برق[[29]](#footnote-30)

کارت­های شبکه وظیفه متصل کردن رایانه­ها به شبکه را دارند. کارت شبکه خط برق نیز با پیاده­سازی بخش‌های مورد نیاز از پشته شبکه، وظیفه متصل کردن دستگاه­های مختلف به یکدیگر از طریق خط برق را بر عهده دارد. کارت شبکه پیشنهادی دربردارنده یک مودم خط برق[[30]](#footnote-31) و یک میکروکنترلر خواهد بود.

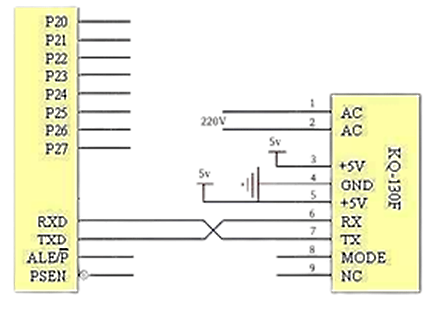
### ۱-۱-۳- مودم خط برق KQ130-F

مودم خط برق وظیفه دارد داده­های دیجیتال دریافتی از میکروکنترلر را به سیگنال­های آنالوگ تبدیل کرده و بر روی خط برق قرار دهد. در همین هنگام دیگر مودم­های متصل، سیگنال­های آنالوگ را دریافت می­کنند و در فرآیند دمدولاسیون آن­ها را به داده­های دیجیتال اصلی باز می­گردانند. پس از آن داده دیجیتال را به میکروکنترلر ارسال می­کنند و میکروکنترلر نیز در نهایت آن را برای دستگاه ارباب[[31]](#footnote-32) می­فرستد.

مودم خط برق پیشنهادی KQ130-F می­باشد که از مدولاسیون FSK استفاده می­کند [13]. این مودم از طریق پروتکل UART با میکروکنترلر در ارتباط می­باشد. فرکانس سیگنال UART مورد نیاز برای ارتباط با مودم برابر با 9600 هرتز می­باشد. بیت تقارن به کار برده نمی­شود و شمار بیت­های پایان برابر با یک می باشد [14].



تصویر1 ۳-۱: نمایی از ماژول KQ130-F



تصویر‏0 ۲-۳: شماتیک شیوه اتصال مودم KQ130-F به میکروکنترلر

این مودم دو مد کارکردی دارد، که با قرار دادن مقدار صفر ویا یک منطقی(یا Hi-Z) بر روی پایه MODE مشخص می­گردد. در صورتی که پایه MODE مقدار یک منطقی داشته یا رهاشده باشد، بایت­های داده ارسالی را به همان شکل که هستند برای مودم ارسال می­شوند. ولی اگر پایه یادشده بر روی صفر منطقی باشد نیاز است که پیش از ارسال بایت­ها، تعداد آن­ها برای مودم مشخص شود. برای مثال برای فرستادن رشته کاراکتری "Hello World!" باید رشته بایتی "0c 48 65 6c 6c 6f 20 57 6f 72 6c 64 21" را بر روی پایه TX میکروکنترلر قرار داد که مقدار 0c یا ۱۲ مشخص کننده شمار بایت­های ارسالی می­باشد [14].

### ۲-۱-۳- میکروکنترلر STM32F030C8T6

برای به­کاربردن مودم نیاز به یک میکروکنترلر هستیم که در نقش واسط به مدیریت مودم بپردازد. میکروکنترلر داده­های دریافتی از دستگاه ارباب را بافر کرده و با فرمت مدنظر مودم برای آن ارسال می­نماید. از سوی دیگر بایت­های دریافتی از مودم را بافر می­کند و سپس بایت­های داده را از آن جدا می­کند و برای دستگاه ارباب می­فرستند.

این میکروکنترلر از ۶ کیلو بایت رم برخوردار است که توانایی خوبی را در مدیریت و بافر کردن داده­های ارسالی و دریافتی به آن می­دهد.

## 3-2- گرداننده[[32]](#footnote-33) کارت واسط شبکه خط برق

کارت واسط شبکه پیشنهادی نیاز به یک برنامه در دستگاه ارباب دارد تا به درستی با کارت واسط ارتباط برقرار کرده و اقدام به فرستادن و دریافت داده بکند. در ادامه به جزئیات این پشته شبکه بیشتر پرداخته می­گردد.

## 3-3- پشته شبکه طراحی شده

مجموعه برنامه گرداننده و کارت واسط شبکه پیشنهادی، لایه­های موردنیاز از پشته شبکه را پیاده‌سازی می­کنند. که در ادامه به کارکرد­های مورد نیاز از هر لایه که باید در طرح پیشنهادی پیاده گردد، می­پردازیم.

خط برق

کارت شبکه

گرداننده

**پشته شبکه**

کارت شبکه

گرداننده

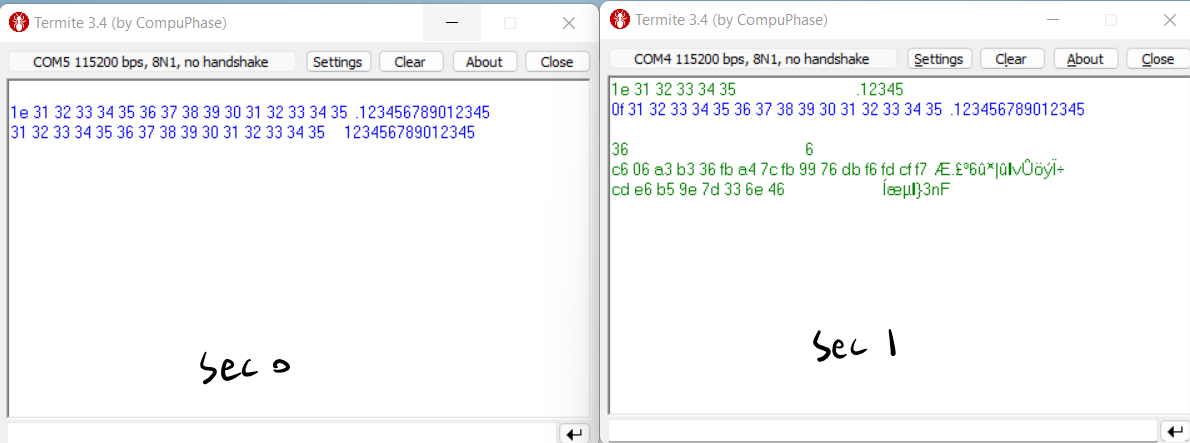
**پشته شبکه**

امواج FSK

امواج FSK

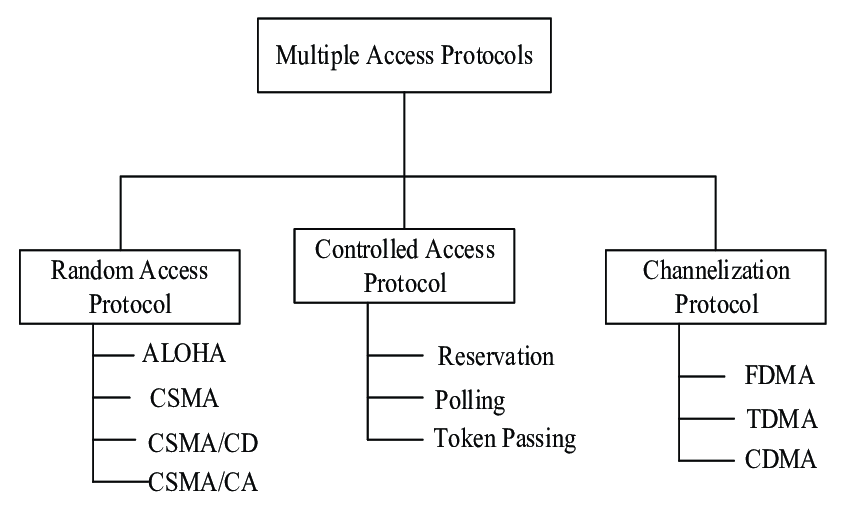
### ۱-۳-۳- لایه پیوند

از آنجا که همبندی شبکه در ارتباط خط برق به صورت خطی می­باشد، در نتیجه احتمال برخورد سیگنال­های ارسالی از سوی دستگاه­های گوناگون وجود دارد، زیرا همه دستگاه­ها از یک رسانه مشترک استفاده می­کنند و باید سازوکاری برای مدیریت دسترسی به رسانه[[33]](#footnote-34) به­کار برده شود [2].



شکل7 ۳-۳: نمونه­ای از نتیجه برخورد که باعث خطا در داده­های دریافتی (سبز رنگ) می­شود

روش­هایی که در مدیریت دسترسی رسانه به کار برده می­شود را می­توان به سه دسته در نظر گرفت. دسته اول روش­های تصادفی که در آن­ها هر یک از دستگاه­ها بدون داشتن دانشی از حضور و تلاش­های دیگر دستگاه­ها اقدام به فرستادن داده می­کند. دسته دوم روش­های برپایه نوبت­دهی پویا که در این روش­ها یک دستگاه­ها چنانچه داده­ای برای فرستادن داشته باشن می­توانند در فرصتی که برای به دست آوردنش رقابت کرده یا به نوبت به دست می­آورند داده­ی خود را ارسال نمایند. دسته سوم نیز روش­های تقسیم ایستای رسانه انتقال داده میان دستگاه­ها می­باشد که گاهی اتلاف منابع زیادی را در بر خواهد داشت [15].



شکل‏0 ۴-۳: دسته­بندی انواع روش‌های مدیریت دسترسی رسان

همچنین از آنجا که بستر خط برق به تنهایی اتکاپذیر نیست، نیاز می­باشد که سازوکارهایی برای شناسایی خطا و آگاه کردن فرستنده از رخداد خطا و بازفرستادن داده تعیین گردد. به این سازوکارها به طور کلی بازفرستی خودکار می­گویند.

همچنین باید شناسه­ای به هر یک از دستگاه­های همبند تخصیص یابند که بتوان قاب­ها را به درستی از فرستنده فرستاد و دستگاه گیرنده، به قاب ارسالی پاسخ دهد.

### ۲-۳-۳- لایه انتقال

پس نیاز قاب­­بندی داده در لایه پیوند روشن شد. اما این قاب­بندی از آنجا که محدودیت بیشینه طول قاب را به پیام ارسالی اعمال می­کند از این رو نمی­توان داده­هایی را با اندازه­ای بزرگتر از طول قاب فرستاد. برای حل این مهم نیاز است که تکه­تکه سازی پیامی که از لایه کاربرد به لایه انتقال داده می­شود، در این لایه پیاده­سازی شود. ممکن است در الگوریتم پیاده­سازی تکه­تکه کردن نیز یک محدودیت حداکثر طول وجود داشته باشد و هر چند به ندرت گاهی پیام­های لایه کاربرد بزرگتر از این مقدار باشند که در این صورت خود لایه کاربرد باید آن را مدیریت کند.

یکی دیگر از دغدغه­ها در رابطه با این شبکه، خطر شنود داده می­باشد. زیرا هر کس که به طور فیزیکی این امکان را ( هر چند نامحتمل) بیاید که به سیم برق دسترسی پیدا کند، می­تواند با یک مودم مناسب سیگنال­ها را بر روی فرکانس­­های به کار رفته دریافت کرده و با بررسی و به دست آوردن روش مدولاسیون به کار رفته، به اطلاعات دادوستد شده در شبکه دسترسی یابد. از این رو باید یک روش رمزنگاری مناسب نیز در لایه انتقال تدبیر گردد.

## 4-3- جمع‌بندی

در این فصل تلاش کردیم رویکرد کلی را در راه­حلی توضیح دهیم که برای مشکلات پیش­رو در پیاده­سازی شبکه­های اینترنت اشیا پیشنهاد شد. اینکه چگونه می­توان پشته شبکه­ای را بر بسته خط برق به جای پشته TCP/IP ارائه داد که هم اتکاپذیری مناسب را ارائه دهد و هم مشکلات یادشده در کاربردهای صنایع را بهبود بخشد. در فصل بعدی به بررسی جزئیات این راه ­پیشنهادی می­پردازیم.

# فصل چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی

# پیاده‌سازی و ارزیابی

در این فصل روند طراحی و پیاده­سازی برد کارت شبکه خط برق و گرداننده­ی آن بررسی می­شود. از آنجا که پروژه دارای بخش سخت­افزاری و نرم­افزاری می­باشد، ناهمگون است و روند طراحی، پیاده­سازی و آزمون و خطا اندکی دشوار­تر از زمانی می­باشد که کل سامانه نرم­افزاری یا سخت­افزاری باشد زیرا تعامل میان سخت­افزار و نرم­افزار مهم می­گردد و وجود نویز در مدار، اتصالی در بخشی از مدار و اتصالات و یا آسیب دیدگی قطعات مدار می­تواند با وجود پیاده­سازی صحیح نرم­افزار منجر به سردرگمی گردد.

## ۱-۴- پیاده‌سازی

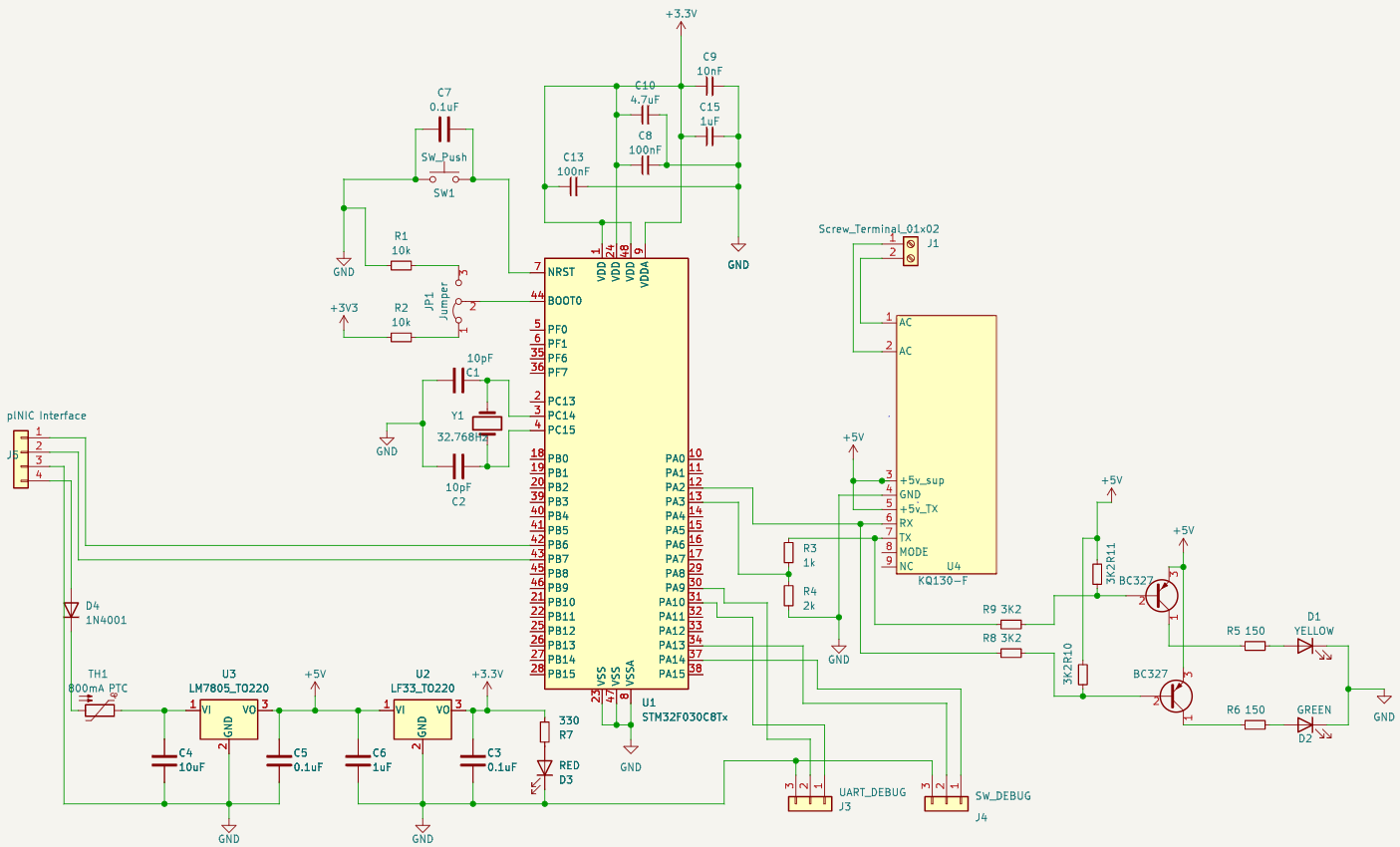
در این بخش نخست در رابطه با کارت شبکه خط برق صحبت خواهد شد اینکه طراحی مدار به چه صورت بوده و سپس در رابطه با شیوه پیاده­سازی نرم­افزار آن و اینکه از چه بستری برای توسعه برنامه آن استفاده شد، صحبت می­شود. سپس در رابطه با بستر پیاده­سازی گرداننده کارت شبکه و اجزای نرم­افزاری آن صحبت خواهد شد.

### ۱-1-۴- کارت شبکه خط برق

کارت شبکه برق به طور کلی از دو بخش برد فیزیکی و نرم­افزار آن تشکیل شده است که در ادامه به شماتیک مدار، نرم افزار به کار رفته برای طراحی شماتیک و تدبیرهای در نظرگرفته شده در شماتیک می­پردازیم و سپس به سراغ نرم­افزار کارت شبکه خواهیم رفت.

#### ۱-۱-۱-۴- شماتیک و قطعات مدار

در قسمت به بخش­های مختلف مدار مانند تغذیه، ال­ای­دی­های دریافت و ارسال داده، تدبیرهای ایمنی و پیشگیری از نویز به کار رفته در مدار می­پردازیم.



شکل8 ۴-۱: نمودار شماتیک مدار کارت شبکه

شماتیک مدار که در شکل ۴-۱ نشان داده­شده است با نرم­­افزار متن­باز طراحی شماتیک و شبیه­سازی KiCad طراحی شده است. در ادامه به توضیح بخش‌های گوناگون شماتیک می­پردازیم.

##### ۱-۱-۱-۱-۴- بخش تغذیه

از آنجا که مودم KQ130-F تغذیه پنج ولت نیاز دارد [14]، از رگولاتور LM7805 با بسته بندی دیپ[[34]](#footnote-35) استفاده شده است که سه پایه دارد. (U3) این رگولاتور می­تواند بیشینه جریان ۱.۵ راآمپر در سطح ولتاژ پنج ولت فراهم کند. که البته برای کارکردن با بیشینه جریان نیاز به یک گرماپخش­کن[[35]](#footnote-36) می­باشد. کمترین ولتاژ ورودی برابر با ۷.۵ ولت و بیشینه ولتاژ ورودی ۱۶ ولت می­باشد [16].

همچنین میکروکنترلر STM32 نیز نیاز به تغذیه ۳.۳ ولت دارد که برای فراهم کردن آن از رگولاتور LF33 استفاده شده است که بسته­بندی آن دیپ می­باشد. (U2) کمترین ولتاژ ورودی آن برابر با ۳.۸ ولت می­باشد. و بیشینه جریانی که فراهم می­کند برابر با ۵۰۰ میلی آمپر می­باشد [17].

برای پیشگیری از آسیب رسیدن به قطعه­ها در صورت اتصال وارونه پایان­های اصلی تغذیه از دیود یکسو کننده بر سر راه تغذیه اصلی استفاده شده است. (D4) از این رو چنانچه ­به تصادف پایانه­ها وارونه بسته شوند جریان بسیار کمی از مدار گذر خواهد کرد و به قطعات آسیب نخواهد رسید.

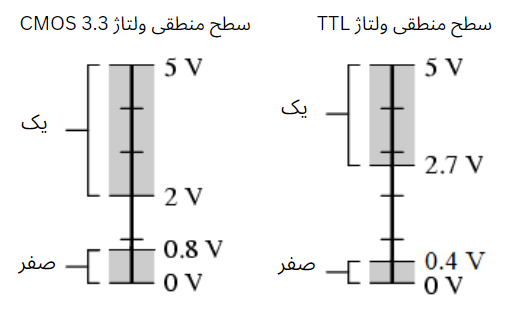
##### ۲-۱-۱-۱-۴- مدار نمایانگر دریافت و ارسال داده

برای ایرادیابی و نمایش وضعیت کارت شبکه در هر لحظه دو چراغ ال­ای­دی در نظر گرفته شده است که یکی از آن­ها برای نمایش دریافت بایت­های ورودی (رنگ سبز) و دیگری برای نمایش بایت­های ارسالی می­باشد. (رنگ زرد) این دو ال­ای­دی در شماتیک قطعه­های D1 و D2 می­باشند. برای گرداندن این چراغ­ها نمی­توان به طور مستقیم خط­های سیگنال را استفاده کرد زیرا می­تواند منجر به آسیب رساندن به پایه­های سیگنال داده شود.

از این رو از ترانزیستور­های PNP با شماره BC327 استفاده شده است که در شماتیک قطعات مشخص شده­اند. پایه امیتر[[36]](#footnote-37) این ترانزیستورها به یک منطقی متصل شده است که با یک منطقی سیگنال داده که به پایه بیس[[37]](#footnote-38) ترانزیستور متصل شده، برابر می­باشد.

##### ۳-۱-۱-۱-۴- اتصال میکروکنترلر و مودم

همانگونه که در فصل پیش گفته شده مودم KQ130-F از ارتباط UART‌ استفاده می­کند. اتصال­ها در این ارتباط ساده است پایه Rx به پایه Tx متصل میگردد و پایه Tx به پایه Rx متصل میگردد.

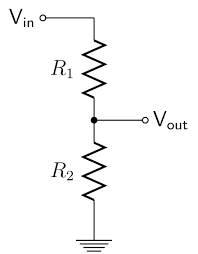


شکل9 ۲-۴: سطح منطقی ولتاژ در هر یک از تکنولوژی­های به کار رفته

همانگونه که در تصویر ۰-۱ مشخص است با وجود اختلاف در سطح ولتاژ منطقی در مودم (سمت راست) و میکروکنترلر (سمت چاپ) مشخص است که دو دستگاه می­توانند به بدون مشکل از نظر تفسیر سطوح منطقی با یکدیگر صحبت بکنند.

تنها مسئله­ای که باید به آن توجه شود اختلاف ولتاژ سطح­های منطقی مودم و میکروکنترلر می­باشد که در اولی سطح منطقی یک برابر با پنج ولت می­باشد و در دومی سطح منطقی یک برابر با ۳.۳ ولت می­باشد. این در اتصال Tx میکروکنترلر به Rx مودم اشکالی ایجاد نمی­کند ولی در اتصال Rx میکروکنترلر به Tx مودم ممکن است که پایه میکروکنترلر آسیب ببیند زیرا ولتاژ در حالت بیکار[[38]](#footnote-39) برابر با پنج ولت می­باشد و ممکن است پایه ۳.۳ ولتی میکروکنترلر آن را تحمل نکرده و آسیب ببیند.

از این رو از تقسیم­کننده ولتاژ مقاومتی استفاده شد که مفهوم آن ساده است و اساس آن افت ولتاژ سیگنال به هنگام گذر از مقاومت می­باشد.



شکل10 ۳-۴: شماتیک مدار تقسیم­کننده ولتاژ

تصویر ۴-۳ مدار کلی تقسیم کننده مقاومتی ولتاژ را نشان می­دهد و با توجه به این مدار و رابطه ۴-۱ ولتاژ خروجی تقسیم کننده (Vout) به دست می­آید.

|  |  |
| --- | --- |
| رابطه ۴-۱ |  |

در مدار تقسیم­کننده مقاومتی ولتاژ برای R1 مقدار یک کیلو اهم و برای R2 مقدار دو کیلو اهم در نظر گفته شده است. که در این صورت اگر Vin برابر با پنج ولت باید Vout طبق رابطه ۴-۱ بدست می­آید:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

در نتیجه با این مدار تقسیم­کننده پنج ولت به ۳.۳۴ ولت تبدیل می­شود که به خوبی برای پایه میکروکنترلر مناسب می­باشد.

#### ۲-۱-۱-۴- نرم­افزار میکروکنترلر

نرم­افزار میکروکنترلر به زبان سی­پلاس­پلاس/سی[[39]](#footnote-40) و بر بستر STM32CubeMX نوشته شده است. این چهارچوب[[40]](#footnote-41) نرم­افزاری متن باز توسط شرکت STM32 برای میکروکنترلرهای خود فراهم شده و در آن کتابخانه­های[[41]](#footnote-42) پایه برای کار با واحدهای سخت­افزاری مانند UART،TWI ، ADC پیاده­سازی شده است. همچنین در محیط توسعه STM32CubeIDE امکان به کاربردن واحدهای نرم­افزاری نیز فراهم شده است مانند رمزنگاری WolfSSL و کتابخانه­های گرافیکی [18].

در پیاده­سازی نرم­افزار میکروکنترلر از وقفه­های سخت­­افزاری برای ارسال داده­ها به و دریافت داده­ها از USART استفاده شد. به این صورت که هرگاه داده­ی تازه­­ای دریافت شود در ثبات داده دریافتی (USART\_RDR) قرار داده می­شود و به طور خودکار پرچم خالی نبودن ثبات داده ورودی (RXNE) در ثبات وقفه و وضعیت (USART\_ISR) یک شود و وقفه خالی نبودن ثبات دریافت، رخ میدهد. افزون بر این وقفه خالی بودن ثبات داده ارسالی (USART\_TDR) هنگامی رخ می­دهد که از پیش داده­ای در این ثبات ریخته شده باشد و پس از ارسال موفقیت­آمیز ثبات خالی گردد [19].

لازم به ذکر است که باید برای استفاده از وقفه­ها بیت فعال­سازی متناظرشان را نیز در ثبات کنترل فعال کرد. برای فعال کردن وقفه­های خالی نبودن ثبات دریافت داده، باید بیت RXNEIE را در ثبات USART\_CR1 برابر با یک قرار داد. برای فعال کردن وقفه خالی بودن ثبات ارسال نیز باید بیت TXEIE را در ثبات کنترل یاد شده برابر با یک قرار داد [19].

همچنین برای فعال­سازی کلی هر یک از خطوط وقفه باید بیت متناظر با آن خط وقفه در NVIC فعال گردد. از این رو باید این بیت­ها را برای واحدهای USART1 و USART2 در NVIC فعال کرد.

به علاوه برای فعال­سازی هر یک از واحدهای جانبی به کار رفته مانند USART2 و USART1 باید کلاک فعال شود. که برای اینکار باید بیت­های متناظر در ثبات کنترل واحد RCC فعال گردد [19].

### ۲-1-۴- گرداننده کارت شبکه

در پیاد­ه­سازی کارت شبکه از چهارچوب .NET استفاده و زبان C# انتخاب شد. محیط توسعه یک­پارچه­ای که در آن پیاده­سازی برنامه گرداننده انجام گردید، Visual Studio 2022 می­باشد. پشته شبکه­ که متشکل از کارت شبکه و گرداننده آن می­باشد، همان طور که در فصل پیش گفته شد قابلیت­هایی از لایه­های پیوند و انتقال را دربر می­گیرد که در ادامه به توضیح جزئیات هر یک می­پردازیم.

#### ۱-۲-۱-۴- لایه پیوند

این لایه در پشته شبکه طراحی شده، قطعه[[42]](#footnote-43) را از لایه انتقال میگیرد و آن را در درون یک قاب قرار می­دهد. در این لایه کنترل خطا برای سرآیند و برای داده، درخواست خودکار بازفرستی و تخصیص شناسه به کارت­های شبکه، پیاده­سازی شده است. با توجه به این، ساختار هر قاب لایه پیوند مطابق با شکل ۳-۱ می­باشد:

جدول3 ۴-۱: ساختار قاب لایه پیوند

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| کد بررسی افزونگی دوره­ای[[43]](#footnote-44)  دو بایت | داده تا ۳۱ بایت | شناسه پنجره چهار بیت | درهم­شده سرآیند چهار بیت | شناسه فرستنده چهار بیت | شناسه گیرنده چهار بیت | طول داده پنج بیت | پرچم­ها  سه بیت |

طول سرآیند در قاب برابر با سه بایت می­باشد، و طول کد بررسی افزونگی دوره­ای نیز برابر با دو بایت است از این رو حداکثر کارایی در این لایه برابر با  *درصد می­باشد. در ادامه به توضیح هر یک از این زمینه­ها[[44]](#footnote-45) در قاب می­پردازیم.*

##### ۱-۱-۲-۱-۴- پرچم­ها

پرچم­ها نوع قاب را مشخص می­کنند. به طور کلی چهار نوع قاب وجود دارد که به شرح زیر می­باشند:

1. قاب داده: این قاب دربردارنده­ی داده­ای است که لایه پیوند از لایه بالایی دریافت کرده و پس از قرار دادن در قاب ارسال می­کند.
2. قاب تأیید داده: پس از آنکه یک فرستنده قابی را ارسال می­کند در صورتی که قاب گیرنده یکتایی داشته باشد، گیرنده پس از بررسی صحت سرآيند و داده­ی قاب، باید قاب تأیید داده را برای فرستنده ارسال کند تا فرستنده از دریافت درست داده اطمینان حاصل کرده و قاب بعدی را ارسال نماید. قاب تأیید دارای زمینه­های داده و کد بررسی افزونگی دوره­ای نمی­باشد. از این رو اندازه آن تنها سه بایت است.
3. قاب عدم تأیید داده: چنانچه گیرنده­ی یکتای قاب با بررسی زمینه­های کنترل خطا دریافت که قاب خطادار است، برای فرستنده قاب عدم تأیید داده را ارسال می­نماید و فرستنده پس از دریافت این پیام دوباره قاب داده کنونی را ارسال می­نماید. این قاب دارای زمینه­های داده و کد بررسی افزونگی دوره­ای نمی­باشد. از این رو اندازه آن تنها سه بایت است.
4. قاب تخصیص شناسه: سازوکار تخصیص شناسه به کارت­های شبکه می­تواند پویا می­باشد از این رو هر یک از کارت­های شبکه پس از اتصال به خط برق می­توانند در صورت امکان برای دریافت شناسه کارت شبکه با دیگر کارت شبکه­های موجود بر روی خط برق مذاکره کنند. در این فرآیند از این نوع قاب­ها استفاده می­گردد.

#### ۲-۱-۲-۱-۴- طول داده

طول داده­ای که از لایه بالاتر دریافت شده در این زمینه مشخص می­گردد. لازم به ذکر است که برخی از انواع قاب­ها داده­ای از لایه بالاتر ندارند و صرفا برای انجام هماهنگی­ها درون لایه پیوند در رسانه دادوستد می­گردند. از این رو طول داده­ این قاب­ها برابر با صفر خواهد بود.

از آن­جا که اندازه این زمینه برابر با پنج بیت و طول کد CRC‌ نیز دو بایت می­باشد، بیشینه طول داده قابل حمل در هر قاب برابر با ۲۹ = ۲-۳۱ بایت می­باشد.

#### ۳-۱-۲-۱-۴- شناسه­های کارت شبکه

برای مشخص کردن فرستنده و گیرنده از این زمینه­ها استفاده می­گردد، طول هر کدام برابر با چهار بایت می­باشد، از آنجا که شناسه صفر غیرمجاز می­باشد و شناسه ۱۵ نیز برای همه­پخشی است، تعداد کل شناسه­های مجاز برای کارت­های شبکه برابر با ۱۴ می­باشد.

#### ۴-۱-۲-۱-۴- درهم­ریخته سرآیند

برای آنکه از درست بودن شناسه فرستنده و گیرنده و طول داده مطمئن شویم باید از سازوکار شناسایی خطا برای سرآیند استفاده شود. از میان سازوکار‌های موجود روش درهم­سازی به­کار برده شد. در این روش زمینه­های دیگر موجود در سرآیند را درهم­کرده و چهار بیت نخست رشته درهم را در این زمینه قرار می­دهیم.

#### ۵-۱-۲-۱-۴- شناسه­ پنجره

این زمینه در سازوکار درخواست خودکار بازفرستی نقش مهمی دارد. هنگامی که لایه پیوند داده­ای از لایه بالاتر دریافت می­کند به قاب دربردارنده آن یک شماره پنجره اختصاص می­دهد که در این زمینه از قاب نوشته می­شود. گیرنده پس از دریافت این قاب می­تواند از طریق همین شماره پنجره برای فرستنده مشخص کند که کدام قاب دچار خطا گشته و نیازمند ارسال دوباره است یا اینکه به درستی دریافت شده و می­تواند برای ارسال قاب داده بعدی استفاده گردد.

#### ۶-۱-۲-۱-۴- داده و کد بررسی افزونگی دوره­ای

در زمینه داده، داده­های دریافت شده از لایه بالاتر قرار داده می­شود. همچنین کد بررسی افزونگی دوره­ای برای این داده محاسبه می­شود و در زمینه مربوط به خود قرار داده می­شود. گیرنده وقتی یک قاب مربوط به خود را دریافت کرد، صحت آن را بررسی می­کند. برای این­کار زمینه درهم­ریخته سرآیند را با درهم­ریخته­ای که خود گیرنده از سرآیند محاسبه کرده، مقایسه می­کند و اگر برابر نبودند قاب عدم تأیید برای فرستنده ارسال می­شود. در صورت برابر بودن آنگاه کد بررسی افزونگی برای زمینه داده­ی قاب دریافتی محاسبه می­گردد و سپس با زمینه کد بررسی افزونگی درون قاب مقایسه می­شود و چنانچه برابر بودند آنگاه قاب تأیید برای فرستنده ارسال می­شود. در غیر این صورت قاب عدم تأیید برای فرستنده ارسال خواهد شد.

### ۲-۲-۱-۴- لایه انتقال

از آنجا که ممکن است داده­های لایه کاربرد از حداکثر طول قاب در لایه پیوند طولانی­تر باشند باید سازوکاری طراحی کرد برای آن­که ارسال داده­های طولانی ممکن شود. همچنین اگر داده­ها رمزگذاری نشده باشند، با دسترسی به سیم برق و شنود آن می­توان به اطلاعات شبکه دسترسی پیدا کرد. در نتیجه نیاز است که سازوکاری برای رمزگذاری داده­های لایه کاربرد در نظر گرفته شود. این موارد در لایه انتقال پیاده­سازی می­شود. در ادامه زمینه­های قطعه لایه انتقال و جزئیات رمزگذاری و تکه­تکه­سازی توضیح داده می­شود.

جدول4 ۴-۲: ساختار قطعه لایه انتقال

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| داده  تا ۸×۲۹ بایت | شناسه تکه سه بیت | شناسه قطعه چهار بیت | تکه­­های بیشتر [[45]](#footnote-46) یک بیت |

#### ۱-۲-۲-۱-۴- تکه­تکه کردن

چنانچه داده­های لایه کاربرد بزرگتر از بیشینه طول قاب در لایه پیوند باشد با تکه­تکه کردن داده و قرار دادن آن در قطعه­های پشت سرهم می­توان ارسال آن را مدیریت کرد. برای آن­که بتوان داده­های متفاوت را به طور همروند[[46]](#footnote-47) ارسال کرد از شماره­ی قطعه و برای مشخص کردن ترتیب تکه­ها در هر قطعه از شماره­ی تکه استفاده می­­شود. همچنین برای مشخص کردن آخرین تکه از یک قطعه از پرچم تکه­­های بیشتر استفاده می­شود. این پرچم چنانچه صفر باشد یعنی همچنان بسته آخر دریافت نشده است و در غیر این صورت یعنی بسته نهایی دریافت شده است و می­توان با مرتب­سازی تکه­­ها کل قطعه را به لایه بالاتر تحویل داد.

#### ۲-۲-۲-۱-۴- رمزگذاری

رمزگذاری یکی از مهم­ترین فنونی است که برای امنیت داده­ها در پشته شبکه به­کاربرده شده است. رمزگذاری نامتقارن نیاز به رد و بدل کردن کلید خصوصی و عمومی می­باشد و به طور کلی طول این کلید­ها نسبت به پهنای باندی که مودم ارائه می­کند زیاد می­باشد. برای مثال در رمزگذاری RSA کلید می­تواند اندازه­ای برابر با ۱۲۸، ۲۵۶ یا ۵۱۲ بایت داشته باشد. از این رو از رمزگذاری نامتقارن استفاده نشده است.

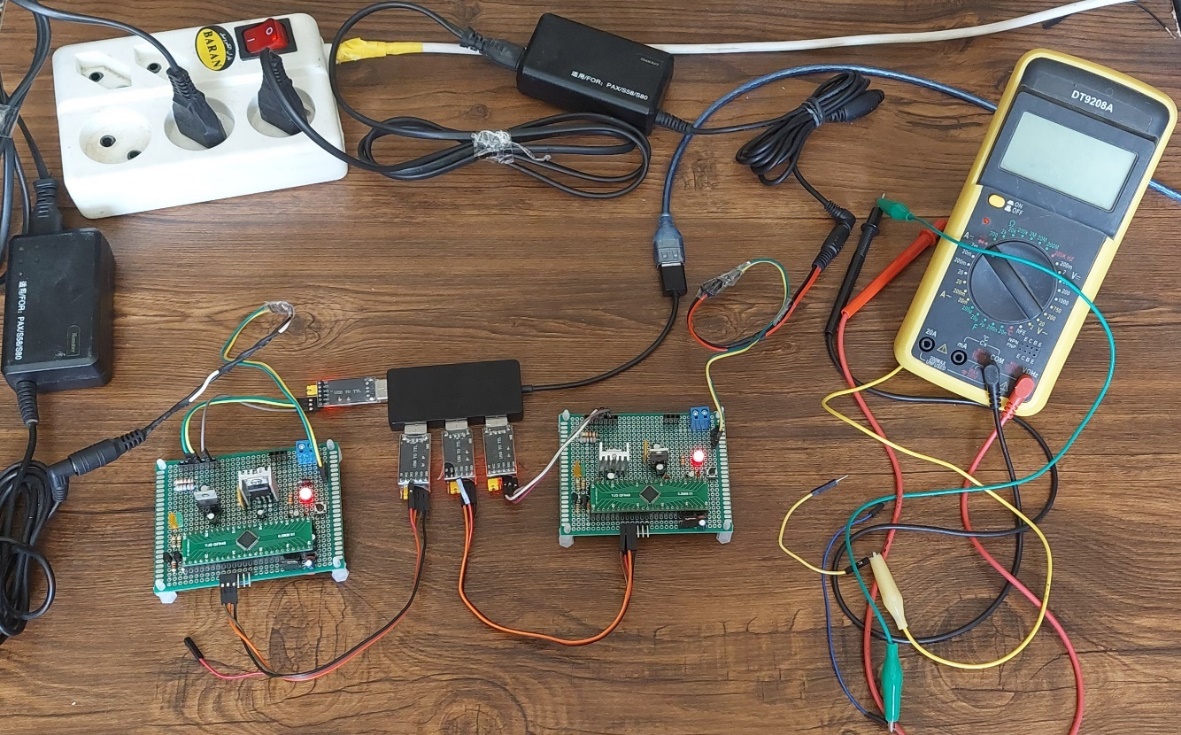
اما در روش­های رمزگذاری متقارن از آنجا که کلید در میان فرستنده و گیرنده مشترک می­باشد نیازی به تبادل کلید نمی­باشد و از این رو سربار کمتری بر روی شبکه ایجاد می­کند. در نتیجه برای رمزگذاری در این پشته شبکه از رمزگذاری متقارن AES‌ با کلید ۱۲۸ بیتی استفاده شد.

## ۲-۴- خروجی و ارزیابی

روند ایرادیابی و رفع آن در حین توسعه دستگاه چند مرحله را در بر گرفت. به دلیل ساده­ و سریع­تر بودن شبیه­سازی نرم­افزاری، در این مراحل تا جای ممکن از این ابزار استفاده شد. چراکه امکان توسعه موازی و دقیق نرم­افزار و سخت­افزار پروژه را فراهم می­کرد. پس تکمیل نسخه نهایی به ارزیابی کارایی پشته شبکه می­پردازیم.

### ۱-۲-۴- ایرادیابی

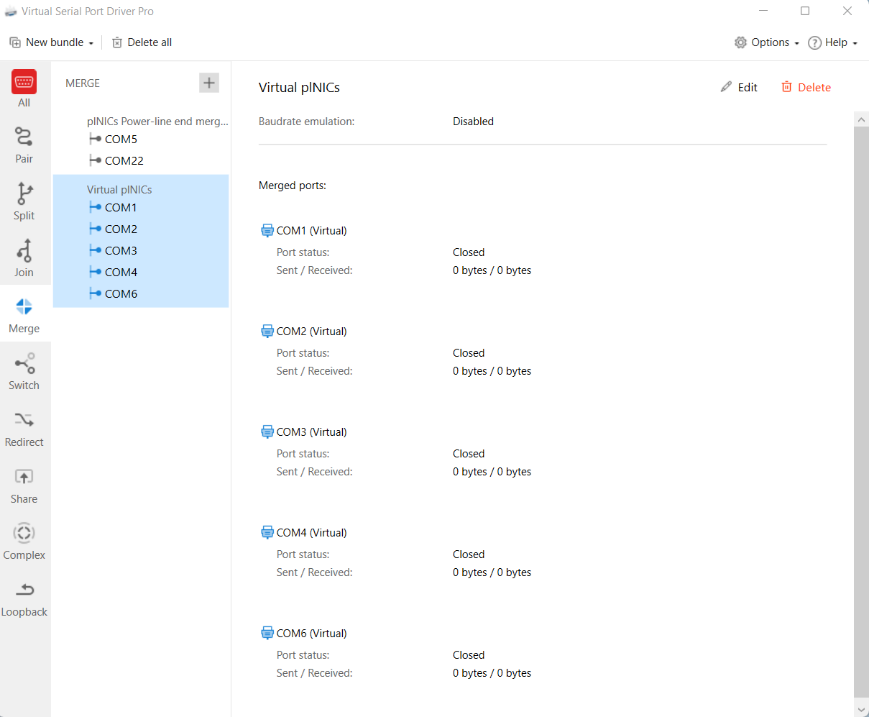
در این بخش به مراحل ایرادیابی و موردهای آزمونی که به کار رفت پرداخته می­شود. این مراحل از آن جهت ضروری می­باشند که اگر مورد­های آزمون مناسبی طراحی نشده باشد، امکان دارد برخی از ایرادهای اساسی هم­چنان در ساختار کلی طراحی شده برای پشته و یا پیاده­سازی آن پنهان شده باشند. در نتیجه­ی پنهان ماندن این ایرادها در ارزیابی نهایی تأثیر منفی خواهد گذاشت. در این بخش تلاش شد به طور گسترده با آزمودن جداگانه و سپس یکپارچه­شده لایه فیزیکی و نرم­افزاری پشته، امکان پنهان ماندن ایرادهای اساسی از بین برده شود.



شکل11 ۴-۴: نرم­افزار میکروکنترلرها به طور مستقل از مودم ایرادیابی شد

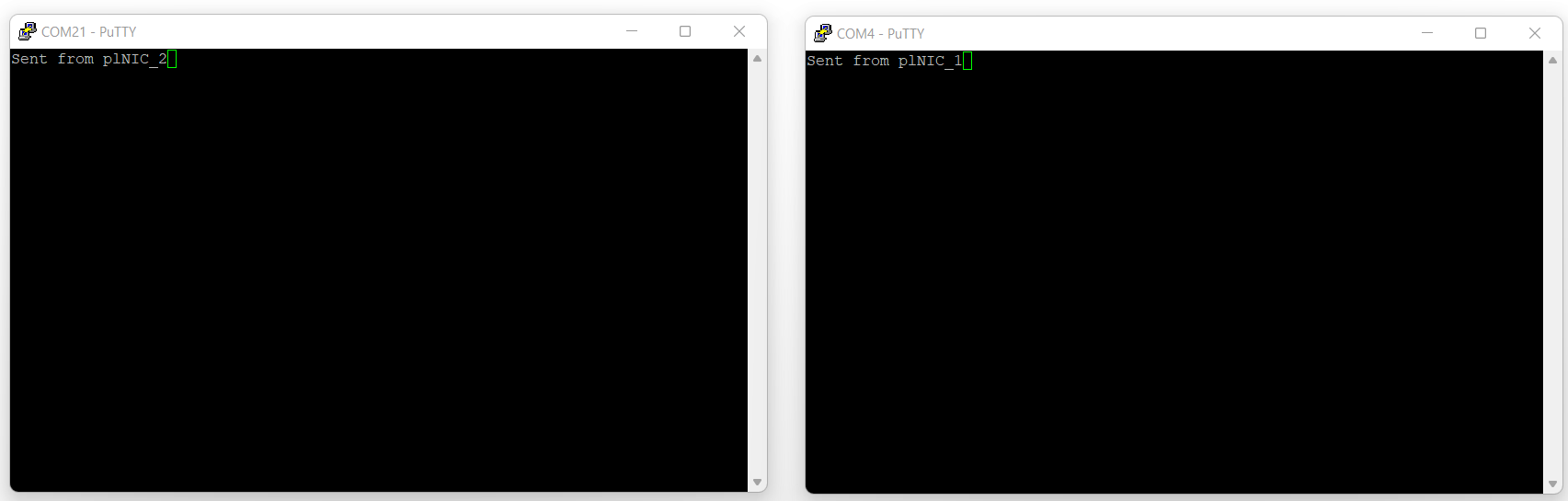
در مرحله نخست ایرادیابی، نرم­افزار میکروکنترلرهای کارت شبکه به طور مستقل از گرداننده و مودم ایرادیابی شد. بررسی به­کارگیری درست وقفه­ها، ایرادیابی بافر کردن داده­های ارسال و دریافت­شده از سمت گرداننده یا مودم و ال­ای­دی­های نمایانگر ارسال و دریافت داده از جمله کار­های انجام شده در این مرحله بود. همچنین در این مرحله مشخص شد که بر خلاف ادعای مستند مودم KQ130-F حالت پیش­فرض کارکرد مودم که رها گذاشتن پایه MODE است به درستی عمل نمی­کرد و داده­های دریافتی در این حالت کارکردی به عموماً صحیح نبودند، ولی MODE دیگر که با صفر کردن این پایه فعال می­شد به درستی عمل می­کرد.

به طور موازی، گرداننده­های کارت شبکه نیز به جای آنکه مستقیم به دستگاه­ها متصل شده باشند و دستگاه ها نیز به خط برق، از طریق درگاه­های سریال مجازی[[47]](#footnote-48) که به هم پیوند[[48]](#footnote-49) خورده بودند با یکدیگر در ارتباط بودند به این ترتیب ارتباط آن­ها کاملا نرم­افزاری بود و در این مرحله امکان ایرادیابی گرداننده به صورت مستقل از سخت­افزار فراهم شد. برای ایجاد و پیوند زدن درگاه­های مجازی از نرم افزار Virtual Serial Port Driver استفاده شد.



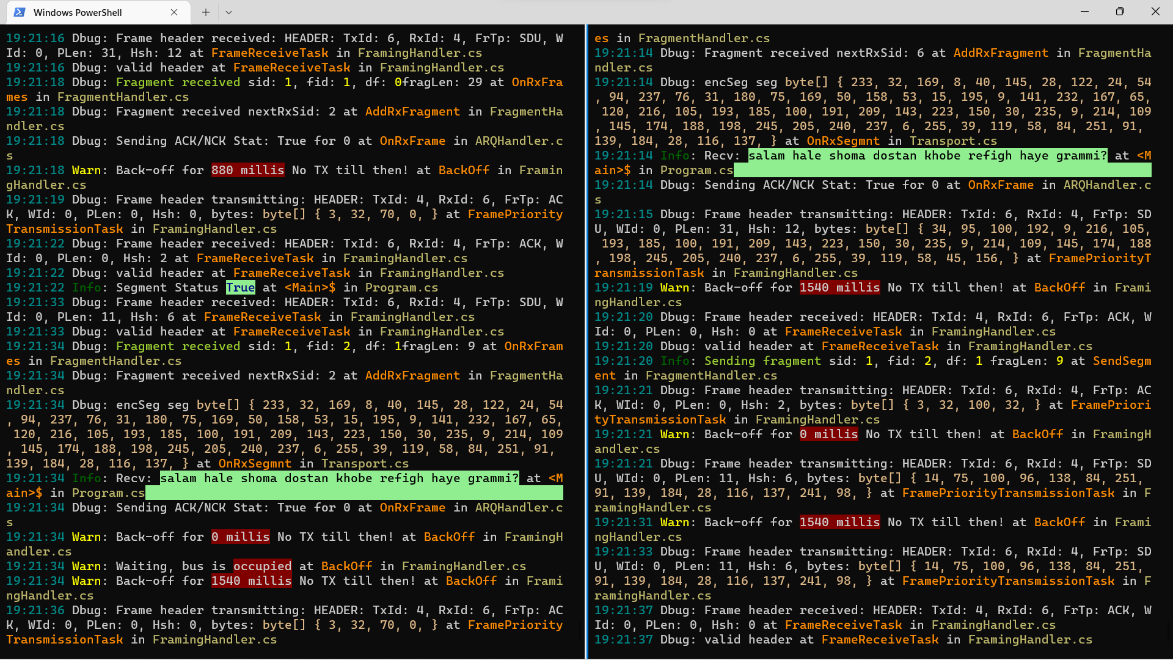
شکل12 ۵-۴: شیوه ایجاد همبندی خطی مجازی در روند ایرادیابی گرداننده­

در مرحله بعدی کارت­های شبکه نیز به طور مستقل از گرداننده ایرادیابی شد. در این مرحله نیز نرم افزار Virtual Serial Port Driver برای پیوند زدن درگاه­های فیزیکی به­کاربرده شد. همان­گونه که در شکل ۴-۲ مشخص است کارت­های شبکه از طریق سیم برق به یک دیگر متصل شده­اند و از سوی دیگر نیز به طور دستی و بدون گرداننده داده­ها را دریافت و ارسال می­کنند.



شکل13 ۴-۶: دو کارت شبکه به خط برق متصل شده­اند و به صورت دستی ایرادیابی می­گردند

در مرحله بعدی، نرم­افزار گرداننده و کارت­های شبکه با یکدیگر یکپارچه شدند و پشته شبکه به طور کامل ایرادیابی شد. برای انجام مورد­های آزمون[[49]](#footnote-50) یک برنامه کنسولی[[50]](#footnote-51) نوشته شد که در آن از گرداننده کارت شبکه برای ارسال پیام­هایی که از طریق کنسول از کاربر دریافت می­شد، استفاده شد و پس از آن­که گرداننده یک پیام را دریافت کرد نیز، داده بر روی کنسول نمایش داده ­می­شد. همچنین برای ارزیابی و ایرادیابی فرآیندهایی که در حین ارسال و دریافت طی میشد، جزئیات فرآیندها بر روی کنسول نمایش داده می­شد.

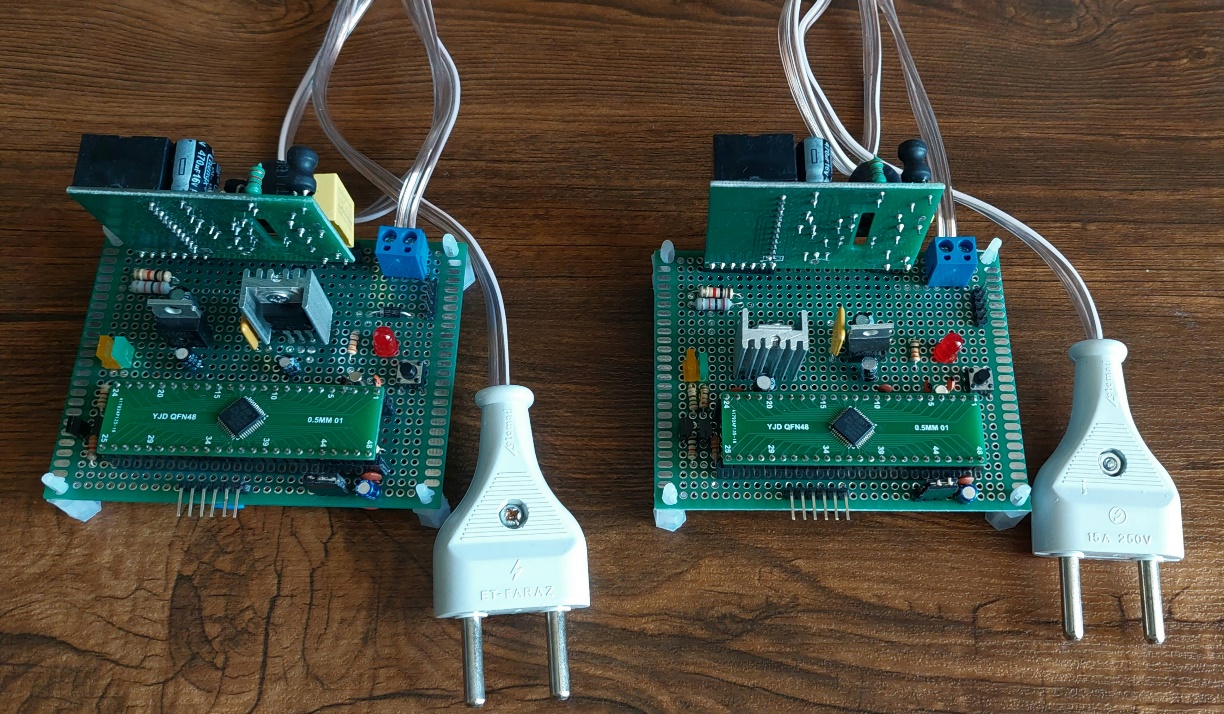


شکل14 ۴-۷: نمونه­ای از استفاده از کل پشته شبکه برای ارسال داده­های لایه کاربرد در برنامه کنسولی

در شکل ۴-۴ می­توان ارسال موفقیت­آمیز یک پیام لایه کاربرد که طولی بیش از ۲۹ بایت (بیشترین طول داده در قاب لایه پیوند) را مشاهده کرد. این پیام نخست در لایه کاربرد رمزگذاری شده و سپس تکه­تکه­سازی شده و هر تکه به لایه پیوند داده می­شود. رسیدن داده­ها به طور صحیح به گیرنده­ی دلخواه و قاب­بندی برای هر یک از تکه­ها به طور جداگانه و پیشگیری و مدیریت برخورد قاب­ها بر روی خط برق در لایه پیوند مدیریت می­شود.

### ۲-2-۴- ارزیابی

با طی شدن مراحل ایرادیابی که در ۴-۲-۱ به آن پرداخته شد، وظایف کارت شبکه و گرداننده و سپس کارکرد یکپارچه پشته شبکه بررسی و تکمیل شد. در این بخش پشته شبکه­ی تکمیل شده با توجه به اهدافی که در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده بود، مورد ارزیابی قرار می­گیرد.



شکل15 ۴-۸: برد فیزیکی نهایی کارت شبکه خط برق

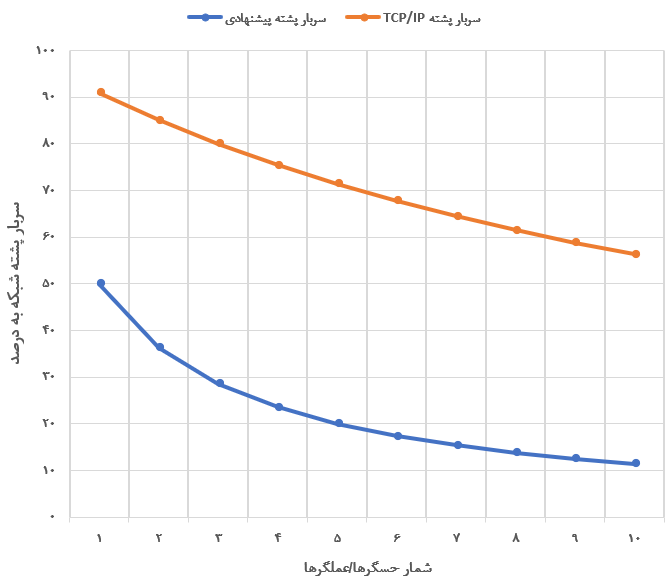
یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کارایی لایه پیوند شیوه­ی به­کار رفته در مدیریت رسانه می­باشد که در اینجا CSMA نامصرانه [[51]](#footnote-52)به کار برده شده، این روش نرخ کارایی بالاتری نسبت به روش ALOHA‌ دارد و از دیگر سوی اندکی نیز پیچیده­تر است. برخورد بر روی رسانه به دو روش می­تواند دریافت داده را با مشکل روبه­رو بکند: ۱) آنکه طول قاب تغییری نکند اما داده خراب باشد که در این صورت لایه پیوند با بررسی زمینه­های کنترل خطا به خرابی پی ­برده و قاب عدم تأیید داده را برای فرستنده ارسال می­کند. ۲) آنکه طول قاب دریافتی تغییر کند که در این صورت گیرنده در تفسیر قاب با مشکل جدی روبه­رو خواهد شد. برای مثال در زمینه طول داده سرآیند اعلام می­شود که طول زمینه­ی داده ۱۲ بایت می­باشد ولی به دلیل برخورد کمتر از ۱۲ بایت برای زمینه­ی داده دریافت می­شود و هنگامی که قاب یا قاب­های بعدی دریافت می­شود به اشتباه به عنوان بخشی از زمینه­ی داده قاب پیشین در نظر گرفته می­شوند. در این حالت پشته شبکه پیاده­سازی شده بررسی می­کند که اگر دریافت بایت­هایی با طول مشخص بیشتر از زمان معقول به طول بینجامد، آن رشته بایتی به کل مردود شود. به این ترتیب در تفسیر رشته بایت­های دریافتی بعدی دچار مشکل نخواهیم شد.

با توجه به موارد ذکر شده، مدیریت برخورد در پشته شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. در روند ارزیابی تلاش شد که مورد­ آزمونی طراحی گردد که در اثر برخورد، هر دو حالت خرابی داده ظاهر گردد و شیوه مدیریت پشته در هر دو حالت ارزیابی شود. نتیجه ارزیابی عملکرد پشته در هنگام برخورد مطابق با جدول ۴-۳ می­باشد. این نتایج از ۲۰ بار تکرار مورد آزمون -که ارسال همزمان داده طولانی توسط دو کارت شبکه به منظور ایجاد برخورد در رسانه بود- حاصل شد.

جدول5 ۴-۳: نرخ موفقیت در مدیریت انواع خرابی­هایی که بر اثر برخورد ایجاد می­شوند

|  |  |
| --- | --- |
| **نوع خرابی** | **نرخ موفقیت در مدیریت** |
| خطا در طول داده | ۸۵ درصد |
| خطا در محتوای سرآیند | ۹۰ درصد |
| خطا در محتوای داده | ۸۵ درصد |

**منظور از موفقیت در جدول ۴-۳ مدیریت موفقیت­آمیز برخورد می­باشد به این معنی که خطا یافت شود و از بروز تبعات آن پیشگیری گردد. این موفقیت برای خطا در طول داده به این معنی است که در تفسیر قاب­های بعدی دچار اشتباه نشویم، برای خطا در محتوا و سرآیند نیز به این معنی است که خطا شناسایی گردد و قاب عدم تأیید ارسال گردد. نتایج جدول ۴-۳ به دلیل استفاده از کد بررسی افزونگی دوره­ای ۱۶ بیتی با چند جمله­ای ۱ + ۲X + ۱۵X + ۱۶X برای زمینه داده ( که در پروتکل مدباس[[52]](#footnote-53) نیز به­کار برده می­شود) و درهم­ریخته ۴ بیتی برای سرآیند قابل توجه است.**



شکل16 ۹-۴: سربار پشته شبکه پیشنهادی و TCP/IP در شبکه مدیریت انرژی بر حسب شمار حسگرها یا عملگرها

برای ارزیابی دقیق­تر نیاز است که گذردهی کلی دستگاه­های شبکه و سربار پشته شبکه را نیز بررسی کرد. به طور کلی بر اساس مثالی که در فصل یک برای شبکه مدیریت انرژی زده شد، سربار پیام­های لایه کاربرد بر حسب تعداد حسگرها یا عملگرهای دستگاه مطابق با شکل ۴-۹ خواهد بود. همان­طور که در این نمودار مشخص است با افزایش تعداد حسگرها یا عملگر­ها سربار شبکه نیز کاهش می­یابد زیرا طول پیام لایه کاربرد افزایش می­یابد.

می­توان به طور میانگین تعداد حسگرها/عملگر­ها را در یک شبکه مدیریت انرژی برابر با ۴ عدد دانست. **از این رو سربار شبکه در چنین کاربردی برابر با ۲۰ درصد خواهد بود. که نسبت به پشته TCP/IP بهبود قابل توجهی می­باشد.**

## ۳-۴- جمع‌بندی

در این فصل به طور کلی به پیاده­سازی، ایرادیابی و ارزیابی عملی پشته شبکه پرداخته شد. در زیرفصل پیاده­سازی از بخش سخت­افزاری پشته که دربردارنده جزئیات شماتیک مدار کارت شبکه بود تا بخش­ نرم­افزاری آن که دربرگیرنده جزئیات و قابلیت­های لایه­های پیوند و انتقال مانند ساختار قاب و قطعه بود، بررسی شد. در زیربخش ایرادیابی مراحل طی شده برای یافتن خطا و اصلاح آن­ها، از استفاده از روش­های شبیه­سازی استفاده شده برای ایرادیابی مستقل سخت­افزار و نرم­افزار تا یکپارچه­سازی پشته مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نیز در زیربخش ارزیابی، کمیت­های گوناگون قابل اندازه­گیری پشته مانند سربار پشته در ارسال پیام­های لایه کاربرد و نرخ موفقیت در مدیریت رسانه محاسبه شد.

# فصل پنجم جمع‌بندي و پیشنهاد کارهای آتی

# جمع‌بندي و پیشنهاد کارهای آتی

در فصل­های یک تا چهار در رابطه با شیوه ضرورت طراحی، پیاده­سازی و ارزیابی پشته شبکه­ی مناسب برای کاربردهایی مانند ساختمان­های هوشمند و سیستم­های مدیریت انرژی صحبت شد. اکنون می­توان به این جمع­بندی پرداخت که روش پیشنهاد شده تا چه اندازه در حل مشکلات طرح شده در فصل یک موفق بوده، سودها و عیب­های آن چیست، در چه مواردی عملکرد بهتری دارد و چه کارهایی در آینده می­توان برای بهبود این پشته شبکه در نظر گرفت.

## 5-1- جمع‌بندی

در ارزیابی که در فصل چهار درباره مقایسه کارایی پشته شبکه پیشنهادی با پشته شبکه TCP/IP انجام شد، به طور قابل توجهی پشته پیشنهادی سربار کمتری دارد. علت آن را می­توان بیش­ از اندازه پیچیده بودن پشته TCP/IP برای بیشتر کاربردهای اینترنت اشیا در نظر گرفت. زیرا در این کاربردها شبکه­ها معمولا تک سطحی می­باشند، این بدان معنی است که گیرنده و فرستنده به طور مستقیم با یکدیگر در ارتباط هستند و هم­بندی شبکه به صورت خطی، ستاره­ای[[53]](#footnote-54) یا حلقه[[54]](#footnote-55) می­باشد. در نتیجه نیاز به هدایت و مسیریابی بسته­ها نیست. همچنین در چنین شرایطی برخی کاربردهای دیگر مانند کنترل ازدحام نیز کاربردی ندارد. در نتیجه لایه شبکه و برخی از ویژگی های لایه انتقال در چنین کاربردهایی سربار بیهوده بر پشته خواهد گذاشت. این مسئله به طور دقیق­تر در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.

با توجه به گذردهی به نسبت پایین مودم KQ130-F که واسط ارتباطی آن UART با نرخ باد[[55]](#footnote-56) ۹۶۰۰ می­باشد، به نظر می­رسد با افزایش تعداد دستگاه­های متصل به شبکه، خط شلوغ شده و نرخ برخورد افزایش یابد [14]. این باعث می­شود که گذردهی خط تا حدودی هدر برود زیرا بسته­هایی که همزمان بر روی خط قرار می­گیرند خراب خواهند شد و عملا بی­فایده هستند. اما با این وجود زمانی برای ارسال آن­ها بر روی خط صرف شده است. همچنین به دلیل افزایش رقابت میان دستگاه­های روی خط، تأخیر ارسال نیز افزایش خواهد یافت. این مشکل در روش­های مدیریت دسترسی به رسانه که تصادفی هستند مانند CSMA و ALOHA وجود دارد. زیرا هیچ قرارداد و فهم مشترکی میان دستگاه­ها برای اولویت­بندی دسترسی به رسانه وجود ندارد و دستگاه­ها به ذات به صورت تصادفی به خط دسترسی خواهند داشت.

هرچند این به خودی خود مشکلی بر اساس پیش­فرض­های مشخص شده در معرفی مسئله ندارد. چرا که هدف ارائه راه­کاری برای شبکه­هایی با دستگاه­های ساده و ارزان و نرخ تولید و تبادل داده پایین بوده است. ضمن اینکه با به حداقل رساندن سربار پشته شبکه در این پژوهش تلاش شد که کارایی کلی آن افزایش یابد. در نتیجه در مواردی که تعداد دستگاه­ها به نسبت اندازه پیام­های لایه کاربرد کم باشد، این مشکل وجود نخواهد داشت و دستگاه­ها روان از خط برق استفاده کرده و به دادوستد داده می­پرداند.

همچنین به دلیل آن­که الگوریتم AES داده­ها را به طور بلوک بلوک پردازش می­کند، به طور میانگین طول داده رمزشده بیشتر از طول داده خام می­باشد، برای مثال چنانچه رشته داده لایه کاربرد که دردست ارسال است پنج بایت باشد، با رمز کردن آن با الگوریتم AES با کلید ۱۲۸ بیتی، طول داده رمزشده برابر با ۱۶ بایت خواهد شد که بیش از سه برابر طول داده اولیه می­باشد ولی چنانچه طول رشته داده اولیه ۵۹ بایت باشد، حجم داده رمزشده برابر با ۶۴ بایت خواهد شد که نسبت به داده خام تنها ۸.۵ درصد افزایش می­یابد. از این رو سربار رمزگذاری بسیار وابسته به طول پیام­های لایه کاربرد می­باشد و هرچه طول داده لایه کاربرد کمتر باشد، سربار بیشتر است و وارون آن.

به طور کلی در کاربرد­هایی که در فصل معرفی مسئله هدف قرار گرفتند، طول رشته داده­های لایه کاربرد کمتر از ده بایت می­باشد از این رو سربار رمزگذاری در این کاربردها دستکم برابر با ۶۰ درصد می­باشد. در نتیجه یک رابطه الاکلنگی میان کارایی و امنیت در این موارد وجود خواهد داشت و بر اساس کاربرد باید تصمیم گرفت که کدام روش را به کار برد. برای مثال چنانچه شمار دستگاه­های متصل به شبکه زیاد باشد و امنیت نیز چندان در اولویت نیست، بهترین روش آن است که از رمزگذاری استفاده نشود زیرا با افزایش سربار رمزگذاری طول قطعه­های ارسالی افزایش می­یابد و از آن­جا که تعداد دستگاه­ها نیز زیاد است، رقابت برای دسترسی به خط برق افزایش می­یابد.

## 5-2- پیشنهاد کارهای آتی

یکی از مهم­ترین کارها برای بهبود پشته شبکه می­تواند استفاده از یک مودم با نرخ ارسال بالاتر باشد، زیرا نه تنها ظرفیت پشته شبکه را افزایش می­دهد و قابلیت اتصال دستگاه­های بیشتر با پیام­های بزرگتر را فراهم می­کند. بلکه می­توان با افزایش اندازه سرآیند، کاربردهای پشته شبکه را ارتقا داد. برای نمونه می­توان چندین زیرشبکه مجازی تشکیل داد به منظور بازارسال پیام­هایی که باید مسیرهای دورتری را بپیمایند و با تضعیف سیگنال در طول مسیر، احتمال رخ­ دادن خطا افزایش می­یابد.

استفاده از روش­های دسترسی به مدیریت رسانه­ی کنترل شده می­تواند بهره­وری را در هنگام افزایش دستگاه­ها افزایش دهد هر چند که پیاده­سازی آن­ها اندکی از روش­های تصادفی پیچیده­تر می­باشد. به طور کلی هنگامی که بار بر روی رسانه کم باشد بهره­وری روش­های تصادفی اندکی بیشتر از بهره­وری روش­های کنترل شده می­باشد، زیرا در روش­های کنترل شده برای نوبت­بندی و اولویت­بندی دسترسی دستگاه­ها، زمینه­های تازه­ای در قاب­ لایه پیوند افزوده می­شود. ولی هنگامی که بار افزایش یابد بهره­وری روش­­های کنترل شده به طرز قابل توجهی از بهره­وری روش­های تصادفی بیشتر خواهد شد، زیرا در چنین شرایطی در روش­های تصادفی رقابت برای در اختیار گرفتن رسانه افزایش می­یابد و همچنین نرخ برخورد نیز افزایش می­یابد ولی در روش­های کنترل شده نرخ برخورد تقریبا ثابت است. از جمله این روش­ها می­توان گذراندن نشان[[56]](#footnote-57) و سرکشی[[57]](#footnote-58) را نام برد. در دسته گذراندن نشان از سازوکار­هایی برای نوبت­دهی به دستگاه­ها استفاده می­شود. و در روش سرکشی یک دستگاه ارباب به طور پیوسته دستگاه­ها را برای بررسی آن­که آیا داده­ای برای ارسال دارند بررسی می­کند.

بسته به کارکردهایی که غالباً پوشش داده شد، ممکن است روش گذراندن نشان یا سرکشی به کار برده شود. برای مثال در سامانه مدیریت روشنایی یک ساختمان چنانچه رخداد در سامانه تعریف نشده باشد و زمانبندی همه عملیات­ها از خواندن اندازه­گیری­های حسگر­ها تا فرستادن دستور­ به صورت همگام انجام شود، روش سرکشی روش مناسب­تری است. ولی چنانچه رخدادهایی مانند شناسایی آتش­سوزی در سامانه تعریف شده باشند و نیاز به پیگیری بی­درنگ دارند، بهتر است از روش نوبت­دهی استفاده شود و از روش متمرکز سرکشی پرهیز کرد.

از دیگر موارد قابل بهبود، پیاده­سازی سازوکاری برای به­کار بردن انتخابی قابلیت­های پشته شبکه بر حسب کاربرد می­باشد. در برخی از کاربردها طول پیام­های لایه کاربرد به نسبت طول سرآیندهای لایه­های پشته شبکه کم­ می­باشد و این باعث می­شود که سربار پشته زیاد باشد. در این کاربردها برخی از قابلیت­های پشته مانند تکه­تکه­سازی هرگز به کاربرده نمی­شود. در این صورت وجود این قابلیت­ها تاثیر منفی بر کارایی خواهد گذاشت. قابلیت استفاده انتخابی، این امکان را فراهم می­کند که پشته شبکه و طول سرآیندها را بر حسب کاربرد تنظیم کرد.

اگر لایه کاربرد پیچیده باشد به طوری که چندین کارکرد مستقل در آن پیاده­سازی شده باشد، نیاز است که سازوکاری برای جدا کردن پیام­های هر یک از این کارکردها تدبیر کرد. در نتیجه پیاده­سازی سازوکار درگاه در لایه انتقال می­تواند در چنین مواردی کاربرد داشته و توانمندی­های پشته را افزایش دهد.

# منابع و مراجع

[1] J. M. R. Luigi Stammati. "The Economic Impact of IoT." <https://www.frontier-economics.com/media/1167/201803_the-economic-impact-of-iot_frontier.pdf> (accessed 18 Sep, 2022).

[2] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, 4th ed. 2003. Prentice Hall.

[3] R. Manikandan, "MINI TCP/IP FOR 8-BIT CONTROLLERS," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology,* vol. 31, no. 2, pp. 109-112, 2011.

[4] A. Dunkels, "Full {TCP/IP} for 8-Bit Architectures," in *First International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys2003)*, 2003.

[5] N. Vlajic. "Analog Transmission Analog Transmission of Digital Data: of Digital Data: ASK, FSK, PSK, QAM." <https://www.eecs.yorku.ca/course_archive/2010-11/F/3213/CSE3213_07_ShiftKeying_F2010.pdf> (accessed 19 Sep, 2022).

[6] Fixr.com. "How Much Does It Cost to Install a Hardwired Computer Network?" <https://www.fixr.com/costs/hardwired-computer-network> (accessed 19 Sep, 2022).

[7] P. Pranzo. (2021) 8 Senctors benefit from IoT developement in 2021. Available: <https://imaginovation.net/blog/8-sectors-benefit-from-iot-development-in-2021/>

[8] C. Petrov, "49 Stunning Internet of Things Statistics 2022 [The Rise of IoT]," techjury.net, 2022. Accessed: 19 Sep 2022. [Online]. Available: <https://techjury.net/blog/internet-of-things-statistics/>

[9] A. Pekar, J. Mocnej, W. K. Seah, and I. Zolotova, "Application domain-based overview of IoT network traffic characteristics," *ACM Computing Surveys (CSUR),* vol. 53, no. 4, pp. 1-33, 2020.

[10] W. Shang, Y. Yu, R. Droms, and L. Zhang, "Challenges in IoT networking via TCP/IP architecture," *NDN Project,* 2016.

[11] Y. Hao, J.-y. Liu, and A. Wu, "Research and Improvement of Ethernet Adapter Based on Power Line Communication," *2016 International Conference on Industrial Informatics - Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII),* pp. 251-254, 2016.

[12] H. C. Ferreira, H. Grove, O. Hooijen, and A. H. Vinck, "Power line communications: an overview," *Proceedings of IEEE. AFRICON'96,* vol. 2, pp. 558-563, 1996.

[13] Q. Yin and Z. Jianbo, "Design of Power Line Carrier Communication System based on FSK-KQ330 Module," *Electrotehnica, Electronica, Automatica,* vol. 62, no. 3, 2014.

[14] S. B.-E. T. Co, "KQ100 Datasheet," ed, 2011.

[15] M. R. Amin, M. S. Hossain, and M. Atiquzzaman, "In-band full duplex wireless LANs: Medium access control protocols, design issues and their challenges," *Information,* vol. 11, no. 4, p. 216, 2020.

[16] T. Intruments, "LM7805 Datasheet," ed, 2003.

[17] STMicroelectronics, "LFxxC Datasheet," ed, 2012.

[18] STMicroelectronics, "STM32CubeIDE Reference Manual

", ed, 2021.

[19] STMicroelectronics, "STM32F030xC Reference Manual

", ed, 2017.

# Abstract

Nowadays networks of devices and things play crucial role in increasing efficiency and income of various industries in a way that postponing deployment of things network will put competitive future of companies at huge risk. One of the major problems with using TCP/IP stack is its high cost of infrastructure and supporting devices. If TCP/IP infrastructure had not been expected during design and construction of buildings then cost of afterward installations will skyrocket and grow more that twice. Another critical issue with TCP/IP is that electromagnetic waves can have negative impact on some devices (like patient monitoring devices). Because maintaining correct functionality of devices is fundamental, industries confront major difficulties in deploying TCP/IP in their applications. Powerline communication can help with these issues and provide more suitable solution in these industries. The transmission rate in powerline communication is relatively low so using light weight network stack is crucial in this case. In this project basic network requirements of industries recognized and with respect to these needs network card interface which uses FSK modulation and its light weight power-line network stack which has very low footage than TCP/IP designed and deployed.

**Key Words:** Power-line Communication (PLM), Power-line Network Card Interface (plNIC), Power-line Network Stack, TCP/IP, FSK Modulation



Amirkabir University of Technology  
(Tehran Polytechnic)

Department of Computer Engineering   
BSc Thesis

Design and Development of Powerline Network Interface Using FSK Modulation

By

Alireza Salehy Dehnavi

Supervisor

Dr. Hamidreza Zarandi

August 2022

1. Gross Domestic Product [↑](#footnote-ref-2)
2. Gross Value Product [↑](#footnote-ref-3)
3. Communication Media [↑](#footnote-ref-4)
4. Network Stack [↑](#footnote-ref-5)
5. Application [↑](#footnote-ref-6)
6. Transport [↑](#footnote-ref-7)
7. Network [↑](#footnote-ref-8)
8. Link [↑](#footnote-ref-9)
9. Physical [↑](#footnote-ref-10)
10. Selective ARQ [↑](#footnote-ref-11)
11. Congestion Control [↑](#footnote-ref-12)
12. Bit Timing [↑](#footnote-ref-13)
13. Modulation [↑](#footnote-ref-14)
14. Protocol Data Unit (PDU) [↑](#footnote-ref-15)
15. البته هرچند می­توان از اتصال بی­سیم نیز برای برپاسازی شبکه بهره برد که هزینه کمتری دارد، اما اتکاپذیری، امنیت و سرعت اتصال سیمی به طور کلی بیشتر می‌باشد و این نکته می­تواند در برخی کاربردها تعیین کننده باشد. [↑](#footnote-ref-16)
16. IoT [↑](#footnote-ref-17)
17. Powerline Communication [↑](#footnote-ref-18)
18. Quality of Service [↑](#footnote-ref-19)
19. Home Energy Management (HEM) [↑](#footnote-ref-20)
20. Advanced Metering Infrastructure (AMI) [↑](#footnote-ref-21)
21. Demand Response Management (DRM) [↑](#footnote-ref-22)
22. Broadcast [↑](#footnote-ref-23)
23. Metadata [↑](#footnote-ref-24)
24. Slave [↑](#footnote-ref-25)
25. Topology [↑](#footnote-ref-26)
26. Bus [↑](#footnote-ref-27)
27. Routing [↑](#footnote-ref-28)
28. Forward [↑](#footnote-ref-29)
29. Powerline Network Card Interface (plNIC) [↑](#footnote-ref-30)
30. Powerline Modem [↑](#footnote-ref-31)
31. Master Device [↑](#footnote-ref-32)
32. Driver [↑](#footnote-ref-33)
33. Media Access Control [↑](#footnote-ref-34)
34. DIP [↑](#footnote-ref-35)
35. Heat Sink [↑](#footnote-ref-36)
36. Emitter [↑](#footnote-ref-37)
37. Base [↑](#footnote-ref-38)
38. Idle [↑](#footnote-ref-39)
39. C/C++ Programming Language [↑](#footnote-ref-40)
40. Framework [↑](#footnote-ref-41)
41. Library [↑](#footnote-ref-42)
42. Segment [↑](#footnote-ref-43)
43. CRC [↑](#footnote-ref-44)
44. Field [↑](#footnote-ref-45)
45. More Fragments [↑](#footnote-ref-46)
46. Concurrent [↑](#footnote-ref-47)
47. Virtual Serial Port [↑](#footnote-ref-48)
48. Bind [↑](#footnote-ref-49)
49. Test Case [↑](#footnote-ref-50)
50. Console Application [↑](#footnote-ref-51)
51. Nonpersistent CSMA [↑](#footnote-ref-52)
52. Modbus [↑](#footnote-ref-53)
53. Start [↑](#footnote-ref-54)
54. Token Ring [↑](#footnote-ref-55)
55. Baud Rate [↑](#footnote-ref-56)
56. Token Passing [↑](#footnote-ref-57)
57. Polling [↑](#footnote-ref-58)