

به نام خدا

تجزیه و تحلیل خودکار خصائص غیرکارکردی سیستم‌های سایبری-
فیزیکی

Automated Analysis of Non-Functional Properties of Cyber-Physical Systems

مهدی کارگهی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تهران

تک پروژه غیرمقیم

نام سه نفر از صاحب‌نظران در این زمینه:

دکتر علی موقر رحیم آبادی - دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر احمد خونساری - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران

دکتر علیرضا اجاللی - دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف

عنوان طرح: تحلیل خصائص غیرکارکردی سیستم‌های سایبری-فیزیکی

مجری اصلی: مهدی کارگهی

آدرس محل کار: خیابان کارگر شمالی-پردیس فنی دانشگاه تهران- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

چکیده

امروزه کیفیت و جنبه های غیرکارکردی محصولات حوزه اینترنت اشیا و سامانه های سایبری-فیزیکی از مهمترین نیازمندیها در رقابت تجاری و همینطور در قابل اعتماد بودن آنها برای کاربردهای با حساسیت بالا است. از نمونه ویژگیهای غیرکارکردی می توان به کارایی، انرژی مصرفی، امنیت، تاب آوری و امثال آن در کنار استفاده کارآمد و بهینه از منابع سیستم اشاره نمود. در سیستمهای سایبری-فیزیکی متحرک با ارتباطات بی سیم محدودیت منابع بیش از سایر سیستمها مورد تاکید قرار می گیرد، حال آنکه چالش مضاعف پویایی محیط فیزیکی نیز برای آنها وجود دارد. لحاظ نمودن این پویایی و محدودیتها در تحلیل ویژگیهای سیستمهای سایبری-فیزیکی از مسایلی است که کمتر مورد توجه و واکاروی قرار گرفته است. نرم افزار عنصر تعیین کننده این ویژگیهاست که کاستی و نقائص آن باعث بروز بسیاری از مشکلات مرتبط با ویژگیهای غیرکارکردی سیستمهای سایبری-فیزیکی میگردد و استفاده از روشهای تحلیل نرم افزار با تاکید بر تحلیل ایستا موضوعی است که در این طرح پژوهشی مورد توجه قرار خواهد گرفت. تمرکز موضوع پژوهشی بر سطح نرم افزار، خودکارسازی و اثبات قواعدی است که عدم رعایت آنها منجر به نقص در ویژگیهای غیرکارکردی محصول نهفته بعنوان جزئی از یک سیستم سایبری-فیزیکی میگردد.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های بی‌درنگ، الگوریتم‌های مدیریت منابع، سیستمهای سایبری-فیزیکی، ویژگیهای غیرکارکردی، آزمون نرم افزار، تحلیل ایستا، نرم افزارهای نهفته

1. مقدمه

امروزه سیستمهای محاسباتی نهفته بی‌درنگ به طور گسترده در محیطهای اهمیت-ایمنی¹ نظیر ارتباطات هوایی و اتومبیلها استفاده میشوند [1]. بیشتر این سیستمها متعلق به کلاس بزرگتری بنام سیستمهای سایبری-فیزیکی² هستند. مفهوم سیستمهای سایبری-فیزیکی به ارتباط نزدیک بین پدیدههای فیزیکی و سیستمها کامپیوتری که آنها را کنترل میکنند مربوط میشود. بیشتر سیستمهای سایبری-فیزیکی مفهوم سطح اهمیت³ را دارند، یعنی وظیفههایی از سیستمهای سایبری-فیزیکی وجود دارند که شکست آنها اثر منفی روی محیط سیستم دارد. برای مثال این شکست میتواند ایمنی انسان را در مورد از دست دادن کنترل سیستم هواپیما در پرواز تحت تاثیر قرار دهد. در همین حال سیستمهای سایبری-فیزیکی میتوانند بر حسب یک ماموریت یا هدف توصیف شوند که سیستم سایبری-فیزیکی با اجرای مناسب وظیفهها به آن دست مییابد. به عبارت دیگر، بعضی وظیفهها برای موفقیت ماموریت اهمیت دارند، بدون اینکه ایمنی سیستم سایبری-فیزیکی را متاثر کنند. بنابراین، ویژگی سطح اهمیت اغلب برای توصیف عناصر سیستمهای سایبری-فیزیکی استفاده میشود. برای مثال، در ارتباطات هوایی، سطوح کنترل موتور و کنترل پرواز اهمیت-ایمنی هستند، اما ناوبری و ارتباطات به طور کلی اهمیت-ماموریتی⁴ هستند [2].

تکامل چارچوبهای محاسباتی برای سیستمهای سایبری-فیزیکی از دو جهت تحت تاثیر قرار گرفته است. اول اینکه، در این سیستمها تقاضا برای پیچیدگی نرمافزار و سطوح بالاتر توابع هوشمند به طور پیوسته در حال افزایش است. دوم اینکه، فشار فزایندهای برای میزبانی چنین سیستمهای پیچیده‌ای با استفاده از سکویهای سختافزاری که نیازمند وزن، فضا و انرژی محدود، و در نتیجه هزینه کمتر هستند وجود دارد. این رشد پیوسته در پیچیدگی هوشمندی عملکرد و محدودیتهای وزن، انرژی و غیره اشاره به نیاز به یک سیستم اهمیت-مختلط (MC: Mixed-Criticality) دارد که وظیفهها با سطوح مختلف اهمیت (برای مثال، اهمیت-ایمنی، اهمیت-ماموریتی، غیربحرانی) را در فضای فیزیکی و منطقی یکسانی پشتیبانی کند [2، 3]. بنابراین، خصائص اهمیت-مختلط به عنوان یکی از مفاهیم اساسی در سیستمهای سایبری-فیزیکی آینده مطرح شده است [4].

سطح اهمیت یک وظیفه سطح اطمینان مورد نیاز وظیفه موردنظر در مقابل شکست (مثلا از دست دادن مهلت زمانی⁵) را بیان میکند. یک سیستم اهمیت-مختلط دارای دو یا بیشتر سطح اهمیت متمایز است [5]. برای مثال در استاندارد [50] DO178B که مربوط به ایمنی نرمافزاری در سیستمهای حمل و نقل هوایی است، پنج سطح اهمیت بر اساس درجه صدمهای که به خاطر شکست ایجاد میشود معرفی شده است (جدول 1-1). همچنین، [51] ISO 26262 که یک استاندارد ایمنی کارکردی برای صنعت خودرو است پنج سطح اهمیت بر اساس تحلیل ریسک عنوان میکند (شکل 1-1) [3].

¹ Safety-critical

² Cyber Physical System

³ Criticality

⁴ Mission-critical

⁵ Deadline

نرم‌افزارها به واسطه تعامل با مؤلفه‌های سخت‌افزاری در محیط‌های پویای مختلف موجب تغییر در ویژگی‌های غیرکارکردی می‌شوند. از این رو در راستای ارزیابی نرم‌افزارهای سیستم‌های نهفته بعنوان مؤلفه اصلی سیستم‌های سایبری-فیزیکی، لازم است ابتدا مؤلفه‌های سخت‌افزاری را که بواسطه تعامل با محیط تأثیر قابل‌توجهی روی ویژگی‌های غیرکارکردی دارند، دقیق‌تر مورد مطالعه قرار دهیم. مثلاً از منظر انرژی، گیرنده GPS یکی از پرمصرف‌ترین مؤلفه‌های سخت‌افزاری در یک گوشی هوشمند است. برنامه‌های کاربردی برای ارائه سرویس‌های مبتنی بر موقعیت مکانی می‌توانند از گیرنده GPS استفاده کنند.

گیرنده GPS برای به‌دست‌آوردن موقعیت مکانی خود، از سیگنال‌هایی که از چند ماهواره دریافت می‌کند، استفاده می‌کند. در اغلب سیستم‌های ماهواره‌ای مسیریابی جهانی یا GNSS⁶، برای محاسبه موقعیت مکانی، گیرنده باید داده‌های مربوط به حداقل چهار ماهواره را دریافت کند. سیگنالی که از هر ماهواره دریافت می‌شود، حاوی دو قلم داده است: زمان ارسال سیگنال و موقعیت مکانی ماهواره در هنگام ارسال سیگنال. نرخ به‌روزرسانی گیرنده‌های GPS به طور معمول یک هرتز است، اما گیرنده‌هایی با نرخ به‌روزرسانی بالاتر نیز تولید می‌شوند که در کاربردهای خاص، مانند کاربردهای نظامی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. رفتار کلی برای یک گیرنده GPS به این صورت است که ابتدا در وضعیت غیرفعال قرار دارد که در این وضعیت توانی مصرف نمی‌کند. زمانی که فعال می‌شود، بسته به اینکه چه مدت از آخرین باری که فعال شده است گذشته، مدتی در فاز Acquisition قرار می‌گیرد که توان مصرفی در آن قابل‌توجه است. در این فاز گیرنده داده‌های کافی برای مسیریابی دقیق را جمع‌آوری می‌کند. زمان و فرایند مورد نیاز برای جمع‌آوری این داده‌ها، TTFF⁷ نام دارد. برای مسیریابی دقیق، لازم است سه مجموعه داده برای گیرنده موجود باشد: سیگنال ماهواره‌های GPS، داده‌های Almanac و داده‌های Ephemeris. Almanac شامل پارامترهایی مرتبط با مدار هر یک از ماهواره‌ها است. هر ماهواره داده‌های Almanac مربوط به تمامی ماهواره‌های موجود در سیستم مکان‌یابی را مخابره می‌کند. داده‌های Almanac خیلی دقیق نیستند و برای چند ماه معتبر محسوب می‌شوند. در مقابل داده‌های Ephemeris، که شامل اطلاعات مربوط به مدار و نیز clock correction هستند، بسیار دقیق و برای مکان‌یابی دقیق ضروری هستند. هر ماهواره تنها داده‌های Ephemeris مربوط به خود را مخابره می‌کند. این داده‌ها تنها ۳۰ دقیقه معتبر هستند و هر ماهواره هر ۳۰ ثانیه یک بار آن‌ها مخابره می‌کند. منظور از شروع سرد⁸ برای یک گیرنده GPS این است که گیرنده برای مکان‌یابی دقیق، لازم است ابتدا تمامی داده‌های مورد نیاز خود را جمع‌آوری کند. این نوع از شروع زمانی اتفاق می‌افتد که گیرنده برای بیش از ۳۰ دقیقه غیرفعال بوده است و می‌تواند تا ۱۲ دقیقه به طول بیانجامد. نوع دیگری از شروع، شروع داغ⁹ است که در آن تمامی داده‌های مورد نیاز در حافظه گیرنده موجود است و گیرنده می‌تواند به سرعت مکان‌یابی را آغاز کند. نوع دیگر، شروع گرم¹⁰ است که در آن تنها داده‌های ephemeris مجدداً جمع‌آوری می‌شوند. پس از طی فاز

⁶ Global Navigation Satellite System

⁷ Time to First Fix

⁸ Cold Start

⁹ Hot Start

¹⁰ Warm Start

Acquisition، گیرنده وارد فاز Tracking می‌شود که در آن با دریافت سیگنال‌های حاوی داده‌های موقعیت و زمان ماهواره‌ها، گیرنده می‌تواند به طور دقیق کار مکان‌یابی را انجام دهد. مشخصات هر گیرنده GPS در برگه مشخصات¹¹ آن موجود است. نمونه‌ای از گیرنده، گیرنده مدل SPIDER (ORG4472)، محصول شرکت OriginGPS است که در ادامه برخی از مشخصات آن آمده است.



SPIDER (ORG4472)

	TTFF	Test Condition
Hot Start	< 1s	Outdoor
Aided Start ¹	< 10s	Outdoor
Warm Start	< 32s	Outdoor
Cold Start	< 35s	Outdoor
Signal Reacquisition	< 1s	Outdoor

جدول 1 زمان Acquisition در گیرنده SPIDER

در جدول ۱ زمان Acquisition این گیرنده برای حالت‌های شروع مختلف آمده است. حالت Aided Start روشی است باعث کاهش چشمگیر TTFF می‌شود به طوری که تمامی شروع‌ها گرم یا داغ باشند. جزئیات این روش در برگه مشخصات این گیرنده نیامده است.

Operation Mode	Power Consumption
Acquisition	67mW
Tracking	9 - 67mW
Hibernate	36μW

جدول 2 توان مصرفی در هر یک از حالت‌های عملیاتی گیرنده SPIDER

حالت‌های توانی مختلف گیرنده SPIDER نیز عبارتند از:

- Full Power state (Acquisition/Tracking): در هنگام مکان‌یابی گیرنده در این حالت قرار دارد، اما فاز Acquisition، همان‌طور که در جدول ۲ نیز آمده است، نسبت به فاز Tracking باعث مصرف توان بیشتری می‌شود.
 - CPU Only state: در این حالت بخش‌هایی از گیرنده خاموش می‌شوند. گیرنده زمانی در این وضعیت قرار می‌گیرد که داده‌های لازم را از ماهواره‌ها دریافت کرده و فقط محاسبات موردنیاز برای به‌دست‌آوردن موقعیت مکانی باقی مانده است.
 - Standby state: در این حالت بیشتر بخش‌های گیرنده خاموش هستند.
 - Hibernate state: در این حالت بخش‌های کمی از گیرنده روشن هستند. اگر گیرنده پس از یک مکان‌یابی دقیق، برای کمتر از دو ساعت در این حالت بماند، اولین شروع آن، داغ خواهد بود.
- هر گیرنده GPS با یک یا چند GNSS سازگار است. علاوه بر GPS، که شناخته‌شده‌ترین سیستم مکان‌یابی جهانی است، سیستم‌های دیگری نیز وجود دارند که برخی از این آن‌ها عبارتند از:
- GPS: این سیستم نخستین سیستم مکان‌یابی جهانی است که در دهه ۱۹۷۰ میلادی و توسط وزارت دفاع آمریکا راه‌اندازی شده است. این سیستم شامل ۲۴ ماهواره است.
 - GLONASS: این سیستم متعلق به نیروی دریایی روسیه است و شامل ۲۴ ماهواره است. برای کاربردهای غیرنظامی، GLONASS نسبت به GPS دقیق‌تر است.
 - Galileo: این سیستم متعلق به آژانس GNSS اروپا (GSA¹²) است و شامل ۲۷ ماهواره می‌شود.
 - BDS: این سیستم متعلق به چین است و شامل ۲۲ ماهواره می‌شود. دقت مکان‌یابی در این سیستم برای کاربردهای غیرنظامی ۱۰ متر و برای کاربردهای نظامی یا دولتی، ۰.۱ متر است.

¹² European Global Navigation Satellite Systems Agency

برای ارائه خدمات مبتنی بر موقعیت مکانی، چالش‌هایی وجود دارد که باعث می‌شود داده‌های مربوط به موقعیت نادقیق یا دارای خطا باشند. سه چالش اساسی در این زمینه عبارت است از:

- **تنوع فراهم‌آوردندگان داده موقعیت مکانی:** گیرنده GPS، شناسه برج مخابراتی یا Wi-Fi، هر کدام می‌توانند اطلاعاتی از موقعیت مکانی را به دست دهند. اما برای اطمینان و استفاده از کدام یک از این فراهم‌آوردندگان در هر مورد کاربرد یا در هر شرایطی، مصالحه‌ای میان دقت، سرعت و کارایی از منظر مصرف انرژی برقرار است.

- **حرکت کاربر:** به دلیل امکان جابجایی کاربر، لازم است داده‌های موقعیت مکانی در بازه‌های زمانی مشخصی به‌روز شوند.

- **دقت‌های متغیر:** دقت تخمین موقعیت مکانی هر فراهم‌آورنده با دیگری و یا حتی با تخمین همان فراهم‌آورنده در شرایط دیگر، متفاوت است. به طوری که ممکن است داده موقعیتی که ۱۰ ثانیه قبل توسط یک فراهم‌آورنده به دست آمده، از داده جدیدتر فراهم‌آورنده دیگر یا حتی همان فراهم‌آورنده، دقیق‌تر باشد.

در اندروید برای ارائه خدمات مبتنی بر موقعیت مکانی می‌توان از دو دسته API استفاده کرد. دسته اول API‌های چارچوب اندروید در پکیج android.location هستند و دسته دوم API‌های location در Google Location Services API (Google Location Services API) است. Google Location Services API چارچوب قوی‌تر و سطح بالاتری را برای ارائه خدمات مبتنی بر موقعیت مکانی فراهم می‌کند. این مجموعه API به صورت خودکار سه چالش گفته‌شده را حل می‌کند. همچنین به‌روزرسانی موقعیت را بر اساس پارامترهایی که برای مصرف توان تعیین شده، زمان‌بندی می‌کند. در بسیاری از موارد، با استفاده از این مجموعه API، مصرف باتری پایین‌تر و دقت بالاتری به دست می‌آید.

برای به‌دست‌آوردن موقعیت در یک برنامه کاربردی در اندروید، می‌توان از GPS و/یا Network Location Provider اندروید استفاده کرد. استفاده از GPS دقیق‌ترین روش برای به‌دست‌آوردن موقعیت مکانی است، اما این گیرنده تنها در فضای باز کار می‌کند، باعث مصرف سریع باتری می‌شود و موقعیت را با سرعتی که موردنظر کاربر است، فراهم نمی‌کند. از سوی دیگر Network Location Provider اندروید موقعیت مکانی را با استفاده از برج‌های مخابراتی¹³ و سیگنال‌های Wi-Fi گزارش می‌کند. این روش در محیط بسته و باز کار می‌کند، موقعیت مکانی را سریع‌تر گزارش می‌کند و میزان انرژی مصرفی آن نیز پایین‌تر است، اما دقت پایین‌تری در به‌دست‌آوردن موقعیت مکانی دارد.

برای دریافت به‌روزرسانی‌های موقعیت مکانی از متد requestLocationUpdates() در کلاس LocationManager استفاده می‌کنیم. این متد یک پیاده‌سازی از اینترفیس LocationListener را به عنوان آرگومان ورودی دریافت می‌کند و در هنگام تغییر موقعیت مکانی کاربر یا تغییر وضعیت فراهم‌آورنده یا فعال/غیرفعال شدن آن، متدهای مشخصی از آن را فراخوانی می‌کند. در آرگومان دیگر این متد فرکانس دریافت به‌روزرسانی‌های موقعیت را مشخص می‌کند. یکی از این پارامترها کمترین بازه زمانی میان دریافت دو داده و پارامتر دیگر کمترین فاصله مکانی میان دریافت دو داده را مشخص می‌کند. اگر مقدار

هر دو پارامتر برابر صفر قرار گیرد، داده موقعیت مکانی با بالاترین فرکانس به برنامه کاربردی گزارش می‌شود. یک برنامه برای دسترسی سریع‌تر به یک داده موقعیت معتبر می‌تواند از متد `getLastKnownLocation()` نیز استفاده کند. این متد، بدون اینکه باعث فعال‌شدن (start) گیرنده شود، آخرین داده موقعیت را بازمی‌گرداند. این داده ممکن است به دلیل قدیمی‌بودن یا جابجایی دستگاه، معتبر نباشد. لازم به ذکر است در نسخه اندروید ۸ (سطح API 26) و بالاتر، اگر برنامه کاربردی درخواست‌دهنده برای موقعیت مکانی، در پس‌زمینه باشد، گوشی به صورت خودکار موقعیت را تنها چند بار در ساعت محاسبه خواهد کرد.

برای کاهش میزان مصرف باتری و نیز میزان تبادل داده، سه پیشنهاد کلی مطرح شده است:

- کوچک‌کردن پنجره زمانی‌ای که در آن برنامه کاربردی به‌روزرسانی‌های موقعیت را دریافت می‌کند.

- پایین‌آوردن فرکانس دریافت به‌روزرسانی‌های موقعیت؛ با این کار دقت کاهش می‌یابد.

- محدودکردن فراهم‌آورنده موقعیت؛ بسته به مورد کاربرد برنامه و دقت موردنیاز آن، می‌توان تنها از یکی از فراهم‌آوردندگان استفاده کرد و از این طریق مصرف انرژی را کاهش داد. اما این امکان وجود دارد که دقت، پایین بیاید.

2. دلایل انجام طرح

برای سیستم‌های اهمیت-مختلط سه موضوع اساساً متمایز وجود دارد:

- تایید ایستا¹⁴: این موضوع به نیازمندی تاییدیه سیستم‌های اهمیت-مختلط توسط CAهای مختلف مربوط می‌شود. CA یک سیستم را به عنوان یک سیستم درست تایید میکند اگر فرضهای CA با توجه به رفتار سیستم در زمان اجرا حفظ شوند. به طور کلاسیک، وقتی وظیفه‌ها از سطوح اهمیت مختلف روی یک سکو محاسباتی یکسانی می‌زبانی می‌شوند، سیستم با فرض بالاترین سطح اهمیت برای همه وظیفه‌ها تایید می‌شود. اما این فرض بسیار بدبینانه است و منجر به بهره‌وری پایین منابع می‌شود.

- استحکام در طول زمان اجرا¹⁵: به محافظت زمانی در سیستم‌های MC مربوط می‌شود و شکلی از تحمل‌پذیری اشکال است که به روشی آگاه از سطح اهمیت وظیفه‌ها اجازه تنزل تدریجی سرویس را فراهم می‌کند. یعنی در صورتی که همه وظیفه‌ها نتوانند مهلت زمانی خود را رعایت کنند هدف این است که تضمین شود وظیفه‌ها با سطح اهمیت پایین‌تر قبل از وظیفه‌ها با سطح اهمیت بالاتر متاثر می‌شوند [18].

- استفاده کارآمد از منابع: جهت دستیابی به سطح اطمینان موردنیاز در مقابل شکست در رابطه با وظیفه‌ها با سطح اهمیت بالا، فرضهای بسیار بدبینانه‌ای در مورد رفتار زمان اجرای آنها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در زمان اجرای واقعی بسیاری از منابع تدارک دیده شده بدون استفاده باقی می‌مانند که می‌تواند به وسیله کاربردها با اهمیت پایین برای افزایش سطح سرویس آنها یا برای

¹⁴ Static verification

¹⁵ Run-time robustness

اهداف کاهش توان مصرفی سیستم، افزایش کیفیت کنترل وظیفه‌های کنترلی در سیستم با افزایش فرکانس اجرا یا کاهش زمان پاسخ آنها استفاده شوند. این موضوعات باعث مسائل تئوریک در مدلسازی، زمانبندی و تحلیل، و مسائل سیستمی مربوط به طراحی و پیاده‌سازی سختافزار و کنترلهای زمان اجرای نرم‌افزاری ضروری میشود [1]. در این طرح پژوهشی کلیه اثرات متقابل فوق‌الذکر مورد توجه قرار گرفته و روش‌های تحلیلی و مدیریتی مورد نظر بر اساس آن ارائه می‌گردد. لازم بذکر است که به‌رغم اهمیت موضوع، به دلیل پیچیدگی بحث تا به حال چنین اثراتی (حتی در سیستم‌های غیر بی‌درنگ) در سطح سیستم چندان مورد بحث قرار نگرفته‌اند. لیکن، با برنامه‌ریزی انجام گرفته، امکان انجام کار جدی در این زمینه در آزمایشگاه سیستم‌های بی‌درنگ اتکاپذیر فراهم شده است.

3. اهداف و محصولات طرح

ایجاد مدل تحلیلی، طراحی و ساخت نرم‌افزار شبیه‌سازی، و ارائه مقاله به کنفرانس‌ها و مجلات بین‌المللی.

4. برنامه و نحوه اجرای طرح

مراحل اجرایی طرح فوق به شرح زیر هستند:

- الف- مطالعه و شناسایی روشهای مدلسازی و توصیف سیستم‌های سایبر-فیزیکی با تاکید بر جنبه‌های غیرکارکردی،
 - ب- مطالعه و شناسایی عوامل نایقینی متأثر از محیط در سیستم‌های سایبری-فیزیکی از جنبه معیارهای مختلف غیرکارکردی،
 - ج- تعریف اشکال انرژی، کارایی، تاب‌آوری، و مدلسازی و ایجاد روشهای تحلیل برای پدیده‌هایی با قابلیت تعبیر به اشکال،
 - د- ارائه اوراکل آزمون در سیستم‌های سایبری-فیزیکی و ارزیابی میزان کارآمدی استفاده از منابع انرژی،
 - ن- ارائه شرایط بهینه معیارهای غیرکارکردی در سیستم‌های سایبری-فیزیکی و شبکه‌های ارتباطی با توجه به پویایی محیط،
 - و- شبیه‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در راستای بررسی بهبودهای حاصله،
 - ه- تهیه مقالات برای ارسال به مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی معتبر.
- این مراحل با تفکیک زمان انجام در جدول زیر ارائه گردیده‌اند.

برنامه زمانی

ماه 12	ماه 11	ماه 10	ماه 9	ماه 8	ماه 7	ماه 6	ماه 5	ماه 4	ماه 3	ماه 2	ماه 1
											الف
								ب	ب	ب	
							ج	ج			
					د	د	د				
			ن	ن							
	و	و	و								
ه		ه	ه		ه		ه	ه			

- J. Fiaidih, S. Mohammed, Security and Vulnerability of Extreme Automation Systems: The IoMT and IoA Case Studies, IT Professional, Vol. 21, pp. 48-55, 2019.
- A. Esper, G. Nelissen, V. Nelis, E. Tovar, An Industrial View to the Common Academic Understanding of Mixed-Criticality Systems, Real-Time Systems, Vol. 54, No. 2, pp. 745-795, 2018.
- V. Garousi, M. Felderer, C.M. Karapikak, U. Yilmaz, Testing Embedded Software: A Survey of the Literature, Information and Software Technology, Vol. 104, pp. 14-45, 2018.
- A. Humayed, J. Lin, F. Li, B. Luo, Cyber-Physical Systems Security-A Survey, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 4, No. 6, 2017.
- M. Shirazi, M. Kargahi, L. Thiele, Performance Maximization of Energy-Variable Self-Powered (m, k)-firm Real-Time Systems, Real-Time Systems Journal, Vol. 56, No. 1, pp. 66-111, 2020.