TOMSAC - روش مدیریت تعادل بین ایمنی خودرویی و امنیت سایبری

چکیده

وابستگی‌های متقابل ایمنی و امنیت برای محققان چندین دهه مورد توجه بوده است. با این حال، در عمل، به دلایل مختلفی از جمله عدم درک کافی و تمایل به تغییر رویه‌های فعلی، توجه لازم به آن‌ها نمی‌شود. این تحقیق با هدف پیشبرد وضعیت هنر در این زمینه با توسعه یک روش عملی، آسان برای انطباق و استفاده برای مدیریت وابستگی‌ها و تعادل‌ها در طول دوره توسعه سیستم‌های سایبر-فیزیکی انجام شده است. این روش به نام TOMSAC که مخفف مدیریت تعادل بین ایمنی و امنیت سایبری است، نامیده شده است.

۱ مقدمه

یک بررسی جامع از روش‌های مهندسی مشترک برای ایمنی و امنیت سایبری در سراسر حوزه سایبر-فیزیکی توسط Kavallieratos و همکاران (۲۰۲۰) ارائه شده است. این مقاله یک بررسی جامع از ۶۸ روش مهندسی مشترک ایمنی و امنیت سایبری ارائه می‌دهد و به مسائل باز و چالش‌های پژوهشی مرتبط می‌پردازد. این ۶۸ روش به دو دسته "یکپارچه" (یعنی دو فرآیند جداگانه مرتبط ایمنی و امنیت) و "ترکیبی" (یعنی یک فرآیند یکپارچه که هم ایمنی و هم امنیت را ترکیب می‌کند) تقسیم می‌شوند. ۳۷ روش از روش‌های بررسی‌شده یکپارچه هستند و ۳۱ روش ترکیبی. بیشتر روش‌های بررسی‌شده مدل‌محور هستند (۵۲ از ۶۸) و برای یک حوزه کاربردی واحد توسعه یافته‌اند (۴۵). تنها ۲۰ روش با استانداردهای مربوطه اطلاعاتی دارند و جالب این است که اکثر روش‌های بررسی‌شده (۴۹) به مسئله حل تضاد نمی‌پردازند. تنها ۲۸ روش شامل تکنیک‌هایی برای ارتباط نتایج با ذینفعان هستند، در حالی که اکثریت (۴۱) توسط هیچ ابزار یا جعبه‌ابزاری پشتیبانی نمی‌شوند. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که حوزه مهندسی مشترک امنیت سایبری و ایمنی هنوز بالغ نشده است.

Eames و Moffett (۱۹۹۹) بیان می‌کنند که روش‌هایی که تلاش می‌کنند تحلیل‌های ایمنی و امنیتی را یکپارچه کنند، معایبی دارند و نتیجه‌گیری می‌کنند که "در اکثر موارد تلاش برای یکپارچه‌سازی تحلیل‌های ریسک ایمنی و امنیت نامناسب است." در مورد 'ادغام'، آن‌ها نتیجه می‌گیرند که "ارزش ادغام ایمنی و امنیت در هماهنگ‌سازی تکنیک‌های هر حوزه است." این روش (ادغام) اجازه می‌دهد تا تکنیک‌های تخصصی هر دو حوزه ایمنی و امنیت بدون تغییر باقی بمانند و نیاز به آموزش مجدد تخصص‌های ویژه نباشد.

پروژه AQUAS (Pomante و همکاران، ۲۰۱۹) با هدف بررسی وابستگی‌های متقابل ایمنی، امنیت و عملکرد در زمینه افزایش پیچیدگی ناشی از اتصال دنیای باز و دنیای تعبیه شده آغاز شد. آن‌ها این کار را در پنج حوزه مختلف (مدیریت ترافیک هوایی، دستگاه‌های پزشکی، واگن‌های ریلی، درایو صنعتی و معماری‌های چند هسته‌ای فضایی) انجام دادند.

یکی از مشارکت‌های کلیدی AQUAS ارتقا روش‌های ترکیبی برای استانداردها فراتر از وضعیت کنونی بود. این کار با تکامل مفهوم و عملی کردن پرونده‌های ایمنی اطلاع‌رسانی شده توسط امنیت انجام شد که تأثیر آن بر عملکرد در نظر گرفته شده بود. همچنین مفاهیم سیستم‌های سیستم‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. مقاله AQUAS نزدیک‌ترین به روش ماست که به حوزه خودرویی محدود شده است.

در زمینه خودرویی، از سال ۲۰۱۳ Bloomfield و همکاران (۲۰۱۳) بر روی "ایمنی اطلاع‌رسانی شده توسط امنیت" بر اساس تأثیر امنیت بر پرونده‌های ایمنی ساختاری کار می‌کردند. آن‌ها به چالش‌های موجود در هم‌کاری ایمنی و امنیت، از جمله نیاز به یک هستی‌شناسی مشترک، تفاوت‌های اصول زیربنایی این حوزه‌ها، مدل‌های تهدید متفاوت و نیاز به یک رویکرد مشترک به استانداردهای ایمنی و امنیت اشاره می‌کنند. این علاقه منجر به نگارش کد رفتار PAS:۱۱۲۸۱ BSI توسط Bloomfield Robin و دیگران از شرکت او شد تا "توصیه‌هایی برای مدیریت ریسک‌های امنیتی که ممکن است به مصالحه ایمنی در اکوسیستم خودروی متصل منجر شوند" ارائه دهد (مؤسسه استاندارد بریتانیا، ۲۰۱۸).

اخیراً، امنیت سایبری برای چندین دسته وسیله نقلیه از جمله خودروهای سواری، اتوبوس‌ها و کامیون‌ها به یک حوزه تحت نظارت تبدیل شده است. مقررات UN ۱۵۵ (UNECE، ۲۰۲۱a) ۱۵۶ و (UNECE، ۲۰۲۱b) به ترتیب الزامات امنیت سایبری و به‌روزرسانی نرم‌افزار را مشخص می‌کنند

که تولیدکنندگان باید برای دریافت تایید نوع برای آن وسایل نقلیه در کشورهایی که مقررات را اجرا می‌کنند، رعایت کنند. به ویژه، اتحادیه اروپا R۱۵۵ UN را به عنوان بخشی از مقررات ایمنی عمومی (GSR۲) اجرا کرده است که نقش مهم امنیت سایبری در ایمنی کلی را بیشتر تأیید می‌کند. رعایت R۱۵۵ همچنین به عنوان بخشی از دیگر مقررات UNECE از جمله R۱۵۷ (UNECE، ۲۰۲۱c) در مورد تایید نوع سیستم‌های حفظ خط خودکار (ALKS) لازم است که نیاز به در نظر گرفتن "حملات سایبری که بر ایمنی خودرو تأثیر می‌گذارند" را دارد.

در آگوست ۲۰۲۱، استاندارد بین‌المللی جدید ISO/SAE 21434 "خودروهای جاده‌ای - مهندسی امنیت سایبری" (ISO/SAE، ۲۰۲۱a) منتشر شد تا از اجرای عملی R۱۵۵ UN پشتیبانی کند. این سند توسط کارشناسان صنعت خودرویی شامل تولیدکنندگان خودرو، زنجیره تامین طبقه‌بندی‌شده، مشاوران امنیت سایبری و سازمان‌های دولتی توسعه یافت. اکنون در صنعت خودرویی به عنوان وضعیت هنر برای مهندسی امنیت سایبری به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، که راهنمایی در مورد اجرای یک سیستم مدیریت امنیت سایبری و انجام فعالیت‌های امنیت سایبری مورد نیاز برای رعایت R۱۵۵ UN ارائه می‌دهد. ISO/SAE 21434 به صراحت از سازمان‌ها می‌خواهد که دیگر رشته‌های مهندسی که با امنیت سایبری در تعامل هستند، مانند ایمنی عملکردی، را شناسایی کنند و کانال‌های ارتباطی بین آن رشته‌ها را ایجاد کنند. علاوه بر این، استاندارد بین‌المللی ISO 26262 برای ایمنی عملکردی (ISO، ۲۰۱۸) شامل یک الزام متقابل برای شناسایی تعاملات و ایجاد کانال‌های ارتباطی بین ایمنی عملکردی و امنیت سایبری است. رابطه قوی به ویژه بین امنیت سایبری و ایمنی عملکردی در نحوه اشتراک‌گذاری عناصر مشترک از چارچوب‌های فرآیندی که این دو استاندارد تعریف می‌کنند، دیده می‌شود، برای مثال مراحل چرخه حیات هماهنگ و رویکرد مدیریت ریسک.

در حوزه خودرویی، اولین منطقه‌ای که تعادل ایمنی / امنیت سایبری مشهود شد، حوزه CAN bus بود. این باس برای ارتباط بین واحدهای کنترل الکترونیکی (ECU) طراحی شده بود. این باس بدون در نظر گرفتن امنیت و با قابلیت اطمینان بسیار بالا تعریف شد. Kleberger و همکاران (۲۰۱۱) یک مرور کلی از تهدیدات امنیتی درون خودرو و حفاظت‌های بالقوه با توجه به شبکه CAN ارائه می‌دهند.

اصالت یک نیاز امنیتی مهم برای سیستم‌های خودرویی است و بسیاری از راه‌حل‌های نرم‌افزاری یا سخت‌افزاری احراز هویت در Kleberger و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شده‌اند. از این راه‌حل‌ها، کد احراز هویت پیام (MAC) تکنیک اصلی است. پهنای باند محدود و اندازه بار مفید پروتکل CAN به این معناست که این تکنیک‌ها باید سبک‌وزن باشند تا نیازهای دیگر طراحی را برآورده کنند. از آنجایی که CAN در درجه اول یک پروتکل طراحی شده برای ایمنی است، این را می‌توان به عنوان یک گام اولیه در تعادل بین نیازهای ایمنی و امنیت در نظر گرفت.

Lin و Yu (۲۰۱۶) مرور خوبی از تعادل‌های ایمنی و امنیت با بررسی TTEthernet (اترنت زمان‌مند) ارائه می‌دهند. این به عنوان یکی از رقبای جایگزین برای CAN bus دیده می‌شود، اگرچه نویسندگان از TTEthernet به عنوان یک رسانه ارتباطی بین خودروها، نه داخل آن‌ها، استفاده می‌کنند. آن‌ها به سه کاربرد نگاه می‌کنند: مدیریت کلید مخفی، تکرار و حذف فریم، و تقسیم‌بندی شبکه محلی مجازی (VLAN).

Apvrille و Li (۲۰۱۹) بر این اساس کار می‌کنند که یک فرد (یا یک تیم) مسئول طراحی اولیه سیستم است و بنابراین هماهنگ کردن نیازهای ایمنی، امنیت و عملکرد نسبتاً ساده است. TTool (Apvrille، ۲۰۰۸) (ابزار انتخابی آن‌ها) کل فرآیند مدل‌سازی و تایید را در یک جعبه ابزار واحد نگه می‌دارد که به طور همزمان برای نیازهای ایمنی، امنیت و عملکرد انجام می‌شود. Apvrille و Li (۲۰۱۹) اشاره می‌کنند که صحت تبدیل مدل برای ProVerif تا حدی ثابت شده است. آن‌ها همچنین اکتشاف فضای طراحی را در کار خود ارائه می‌دهند. اما با نگاه جداگانه به امنیت، ایمنی و عملکرد، به نظر می‌رسد که آن‌ها فرصت بهره‌برداری از وابستگی‌های متقابل بین این موارد را از دست می‌دهند. آن‌ها پیشنهاد می‌دهند که یکی از امنیت، ایمنی یا عملکرد به عنوان نیاز اصلی ابزار در نظر گرفته شود و راه‌هایی برای رسیدگی به عناصر غیرمطلوب از دو مورد دیگر ارائه کنند. این نشان می‌دهد که مقاله (اگرچه در مطالعه موردی از خودروها استفاده می‌کند) در حال حاضر در واقع بر بخش‌های کوچکتر CPS متمرکز است. کار ما در حال حاضر به شدت بر خودروها متمرکز است و ما به پرسش مقایسه روابط متقابل ایمنی و امنیت از دیدگاه آن‌ها می‌پردازیم.

با نگاهی گسترده‌تر به فناوری‌های ارتباطی، در Huber و همکاران (۲۰۱۸) نویسندگان بررسی می‌کنند که چگونه سازمان‌های صنعت خودروسازی با چالش ادغام جنبه‌های ایمنی و امنیت در طول توسعه سیستم مقابله می‌کنند. نتیجه‌گیری کلی آن‌ها این است که در حال حاضر "کمبودهای قابل توجهی در ادغام هر دو حوزه وجود دارد." نویسندگان یک بررسی اکتشافی (محدود به اروپا) از ادغام جنبه‌های ایمنی و امنیت در طول توسعه سیستم در صنعت خودروسازی ارائه می‌دهند. چهار یافته کلیدی (KF) از این مطالعه به دست آمده است:

- اکثریت سازمان‌های (خودروسازی) به طور فعال وابستگی‌های متقابل بین نیازهای ایمنی و امنیت را در نظر نمی‌گیرند.
- مشکلات رایج مربوط به پیچیدگی، مدیریت تغییر ردیابی و در دسترس بودن منابع، ادغام امنیت را پیچیده می‌کنند.
- اهداف هر دو حوزه امنیت و ایمنی در چندین سازمان گسترده می‌شوند.
- درک نسبتاً یکنواخت و آگاهی عمومی در سازمان‌ها در مورد تفاوت‌های اساسی بین حوزه‌های ایمنی و امنیت وجود دارد.

نتیجه‌گیری از این یافته‌های کلیدی نیاز به یک مدل جامع است که اسناد و مدارک را یکپارچه کند تا پیچیدگی را کاهش داده و مدیریت تغییرات موثر را تسهیل کند.

چهار نوع تعامل بین ایمنی و امنیت توسط Piètre-Cambacédès (۲۰۱۰) (به زبان فرانسوی) معرفی شده و سپس توسط Kriaa و همکاران (۲۰۱۵) منتشر شده است. این تعاملات شامل موارد زیر هستند:

- وابستگی شرطی: برآورده شدن نیازهای ایمنی یک شرط برای امنیت است یا برعکس.
- تقویت متقابل: نیازها یا اقدامات ایمنی امنیت را افزایش می‌دهند یا برعکس.
- تقابل: نیازها یا اقدامات ایمنی و امنیتی با یکدیگر در تضاد هستند.
- استقلال: هیچ تعاملی وجود ندارد.

Kolb و همکاران (۲۰۲۱) استدلال می‌کنند که تعاریف دقیق‌تری از ایمنی و امنیت سایبری لازم است، که شامل موارد زیر باشد:

- جهت‌گیری: آیا ایمنی و امنیت یک‌طرفه هستند یا دوطرفه و از کدام جهت جریان دارند؟
- شدت: برای یک هم‌تحلیل کمی، شدت این تعاملات باید در نظر گرفته شود.
- ماهیت تعامل: برای هر یک از تعاملات ممکن، از تأثیر تا وابستگی یا تقابل، در نظر گرفتن تأثیر مثبت یا منفی چنین تعاملی اساسی است. علاوه بر این، وابستگی‌های شرطی سوالی را در مورد اینکه چه کسی مسئول اقدامات است هنگامی که ایمنی و امنیت به شدت وابسته هستند، مطرح می‌کند.

Kolb و همکاران (۲۰۲۱) تحلیل مقایسه‌ای از ۱۴ روش برای هم‌تحلیل مدل‌محور ایمنی و امنیت انجام دادند. یافته‌ها/چالش‌های کلیدی شامل موارد زیر است:

- بیشتر روش‌ها درخت‌های حمله و درخت‌های خطا را ترکیب می‌کنند.
- هیچ ساختار جدیدی برای ثبت تعاملات ایمنی-امنیت معرفی نشده است. در عوض، ساختارهای موجود برای مدل‌سازی ایمنی و امنیت با هم ترکیب شده‌اند.
- تعاملات ایمنی و امنیت هنوز به طور کامل درک نشده‌اند.
- هیچ معیار جدیدی برای کمّی کردن تعاملات ایمنی-امنیت پیشنهاد نشده است.
- هیچ مطالعه موردی بزرگ در مورد هم‌تحلیل ایمنی/امنیت انجام نشده است.

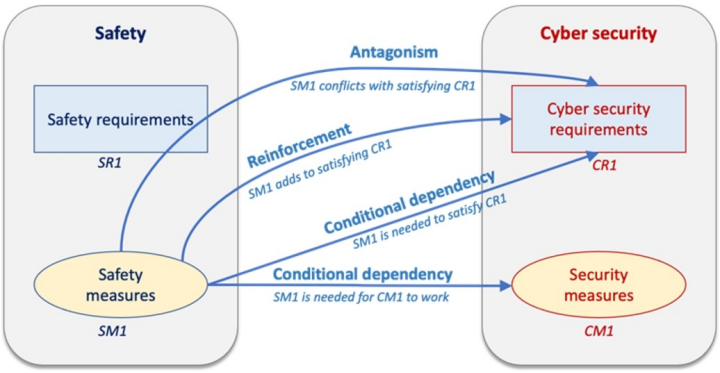
هدف کلی تحقیقات ما ادامه رسیدگی به این چالش‌ها است.

۲ امنیت و وابستگی متقابل امنیت سایبری

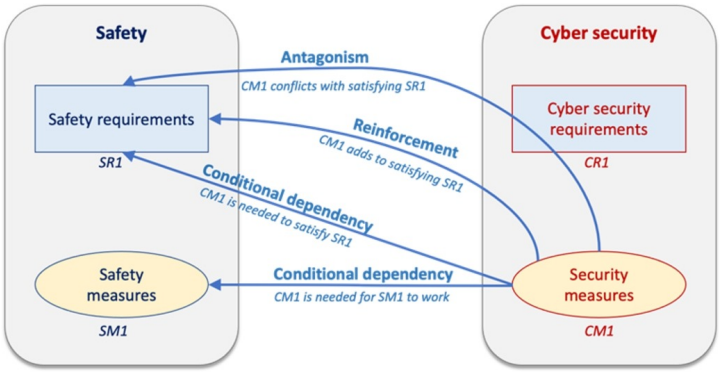
شکل ۱ و شکل ۲ وابستگی‌های متقابل بین اقدامات و نیازهای ایمنی و امنیت سایبری را نشان می‌دهند. شکل ۱ تأثیر اقدامات ایمنی بر امنیت سایبری را نشان می‌دهد، در حالی که شکل ۲ تأثیر اقدامات امنیت سایبری بر ایمنی را نمایش می‌دهد. سه نوع رابطه که در Piètre-Cambacédès (۲۰۱۰) و Kriaa و همکاران (۲۰۱۵) تعریف شده‌اند، در شکل ۱ و شکل ۲ به تصویر کشیده شده‌اند: تقابل، تقویت، و وابستگی شرطی.

علاوه بر وابستگی‌های متقابل بین نیازها و اقدامات ایمنی و امنیت سایبری، ممکن است وابستگی‌هایی بین سطوح خرابی و حمله نیز وجود داشته باشد. به عنوان مثال، یک خرابی ایمنی می‌تواند به فعال‌سازی یک حمله امنیتی کمک کند، یا برعکس. علاوه بر این، یک خرابی ایمنی می‌تواند یک حمله امنیتی را مسدود کند، یا برعکس. بنابراین، دو نوع رابطه جدید می‌توان تعریف کرد: "فعال‌سازی" و "مسدودسازی". ما طبقه‌بندی اولیه وابستگی‌های متقابل ایمنی و امنیت، که توسط Kolb و همکاران (۲۰۲۱) پیشنهاد شده بود، را گسترش داده و روابط "فعال‌سازی" و "مسدودسازی" را اضافه کرده‌ایم، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است.

علاوه بر انواع روابط، شکل ۳ شامل عوامل مختلفی است که برای تمامی انواع روابط مرتبط هستند، مانند:



شکل ۱: تاثیر اقدامات ایمنی بر امنیت سایبری



شکل ۲: تاثیر اقدامات امنیت سایبری بر ایمنی

Relationship type / Factors	I. Interactions between safety requirements or measures and security requirements or measures			II. Interactions between safety failures and security attacks	
	(a) Conditional dependency: fulfilment of safety requirements is a condition for security, or vice versa	(b) Reinforcement: safety requirements or measures increase security, or vice-versa	(c) Antagonism: safety and security requirements or measures conflict with each other	(d) Enabling: safety failure enables security attack, or vice versa	(e) Blocking: safety failure blocks security attack, or vice versa
Direction	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety
Intensity	If requirement is not fulfilled, how strong is the effect?	How big is the increase?	How strong is the conflict?	What is the probability?	What is the probability?
Methods/ Models	Interdependency identification; Trade-off analysis	Interdependency identification; Trade-off analysis	Interdependency identification; Trade-off analysis	Interdependency identification; Trade-off analysis	Interdependency identification; Trade-off analysis

شکل ۳: امنیت و وابستگی متقابل امنیتی

- جهت – دو جهت وجود دارد، یا از ایمنی به امنیت (تأثیر ایمنی بر امنیت) یا برعکس
- شدت – اندازه‌گیری شدت وابستگی متقابل.
- روش‌ها/مدل‌ها – روش‌ها و مدل‌های مختلف برای تسهیل تحلیل وابستگی‌های متقابل

هدف کار ما ارائه روشی است که به بررسی رابطه بین ایمنی و امنیت سایبری در هر مرحله از چرخه حیات سیستم سایبر فیزیکی (CPS) بپردازد و تعامل بین آن‌ها را برجسته کند.

۳ مروری بر روش‌شناسی

شکل ۵ چارچوب روش‌شناسی TOMSAC را نشان می‌دهد که شامل موارد زیر است:

- مراحل چرخه حیات CPS
- تیم‌های درگیر در فرآیند توسعه، مانند تیم‌های طراحی/توسعه، ایمنی و امنیت سایبری، تأمین‌کنندگان و کاربران؛
- نقاط هماهنگی در مراحل مختلف چرخه حیات برای تیم‌ها به منظور هماهنگ کردن محصولات کاری خود و انجام مبادلات، در صورت لزوم.

تیم‌های متعددی در توسعه CPS درگیر هستند، مانند توسعه‌دهندگان، تیم ایمنی، تیم امنیت سایبری و غیره، که هر کدام استانداردهای خود را دنبال می‌کنند، فرآیندهای مختلفی دارند، محصولات کاری مختلفی توسعه می‌دهند و حتی به زبان‌های مختلفی صحبت می‌کنند یا از اصطلاحات مشابه برای معانی مختلف استفاده می‌کنند، که این امر باعث می‌شود درک کامل یکدیگر و یکپارچه‌سازی نتایج کارشان دشوار باشد. هدف روش‌شناسی TOMSAC فراهم کردن یک چارچوب یکپارچه برای این تیم‌ها است تا ارتباط و هماهنگی کارهایشان را تسهیل کند.

۴ روش‌شناسی TOMSAC برای حوزه خودرو

بخش خودرو، به‌ویژه وسایل نقلیه جاده‌ای خودکار، حوزه اصلی تخصص ما است. بنابراین، ابتدا روش‌شناسی TOMSAC را برای این بخش سفارشی می‌کنیم. مراحل چرخه حیات بر این اساس به فعالیت‌های ISO ۲۶۲۶۲ (ISO، ۲۰۱۸) و ISO/SAE ۲۱۴۳۴ (ISO/SAE، ۲۰۲۱a) تنظیم می‌شوند. ISO ۲۶۲۶۲ استاندارد ایمنی عملکردی وسایل نقلیه جاده‌ای و ISO/SAE ۲۱۴۳۴ استاندارد امنیت سایبری است. هر دو استاندارد ISO ۲۶۲۶۲ و ISO/SAE ۲۱۴۳۴ نیاز به شناسایی رشته‌های مرتبط و ایجاد و نگهداری کانال‌های ارتباطی بین آن‌ها را دارند. ISO ۲۶۲۶۲ به‌طور صریح به امنیت سایبری اشاره می‌کند و به‌طور مشابه، ISO/SAE ۲۱۴۳۴ ایمنی عملکردی را به‌عنوان رشته‌های مرتبط شناسایی می‌کند.

زیر بخش‌های زیر به توصیف کاربرد روش‌شناسی TOMSAC در مراحل توسعه مفهوم و محصول خودرو می‌پردازند.

۱.۴ مدیریت مبادلات در مرحله مفهوم

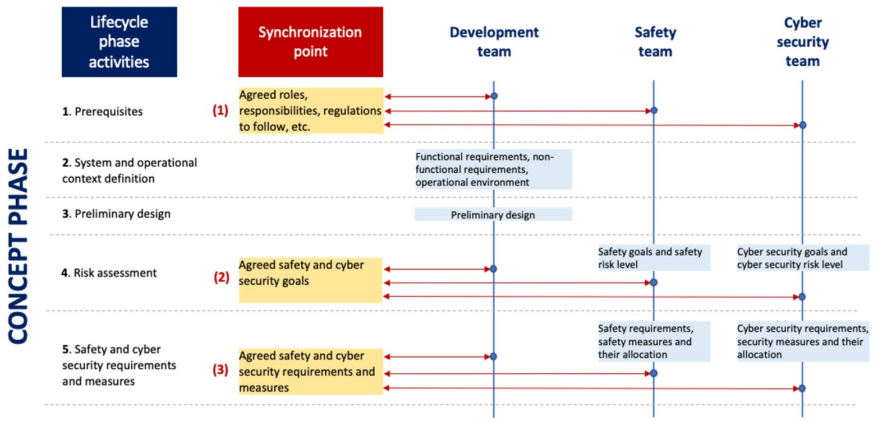
شکل ۴ یک نمای کلی از روش‌شناسی TOMSAC را که در مرحله توسعه مفهوم خودرو به کار گرفته شده است، شامل می‌شود.

در این مرحله، تولیدکنندگان تجهیزات اصلی خودرو (OEM ها) یا تیم‌های درگیر، مسئولیت‌ها را به اشتراک می‌گذارند و یک مدل مفهومی سیستم توسعه می‌دهند. به عنوان بخشی از مدل مفهومی سیستم، آن‌ها ارزیابی اولیه ریسک را انجام می‌دهند و با توافق بر روی نیازها و اقدامات ایمنی و امنیت سایبری مرتبط به پایان می‌رسانند.

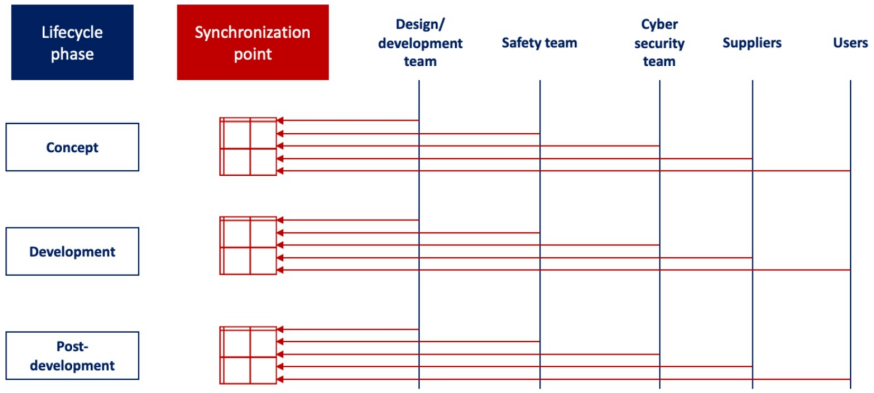
همان‌طور که در شکل ۴ می‌بینیم، سه تیم در این مرحله درگیر هستند: توسعه، ایمنی و امنیت سایبری. ما در این مرحله سه نقطه هم‌زمانی پیشنهاد می‌کنیم تا تیم‌ها محصولات کاری خود را هماهنگ کنند و هرگونه مبادله لازم را انجام دهند.

۱.۱.۴ نقطه هم‌زمانی (۱): توافق بر نقش‌ها، مسئولیت‌ها و مقررات

در این نقطه، باید یک جلسه بین همه تیم‌ها برگزار شود تا در مورد نحوه هماهنگی کارهایشان توافق کنند. توافق می‌تواند شامل تعریف نقش‌ها، مسئولیت‌ها، مقرراتی که آن‌ها دنبال می‌کنند، برنامه‌ها و غیره باشد.



شکل ۴: فعالیت های فاز مفهومی و نقاط هماهنگ سازی بین تیم های توسعه، ایمنی و امنیت سایبری.



شکل ۵: مراحل چرخه حیات ،CPS تیم‌های درگیر و نقاط همگام‌سازی/معادل.

۲.۱.۴ نقطه هم‌زمانی (۲): توافق بر اهداف ایمنی و امنیت سایبری

مفید است که در پایان ارزیابی ریسک یک نقطه هم‌زمانی داشته باشیم، زمانی که اهداف ایمنی و امنیت سایبری (نیازهای سطح بالا) تعریف می‌شوند و سطح ریسک مربوط به آن‌ها تعیین می‌شود. اهداف این نقطه هم‌زمانی دوگانه است:

۱. بررسی اینکه آیا همه دارایی‌های مهم سیستم (از دیدگاه توسعه‌دهندگان) محافظت می‌شوند - یعنی اطمینان حاصل کنیم که تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری چیزی را از قلم نینداخته‌اند؛ و

۲. انجام یک تحلیل اولیه وابستگی متقابل بین ایمنی و امنیت با تحلیل روابط بین اهداف ایمنی و امنیت سایبری.

برای دستیابی به هدف اول، می‌توانیم از ماتریس‌های رابطه برای نقشه‌برداری اهداف ایمنی و امنیت سایبری به دارایی‌های سیستم استفاده کنیم، همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶، "O" نشان‌دهنده این است که هدف (ردیف) به حفاظت از دارایی (ستون) کمک می‌کند.

Goals	Risk level	Risk treatment	System assets		
			A1	...	An
Safety goals					
SG1				GA1	O
...			O		
SGn					
Cyber security goals					
CG1			O	GA2	
...					O
CGn					

شکل ۶: فعالیت های فاز مفهومی و نقاط هماهنگ سازی بین تیم های توسعه، ایمنی و امنیت سایبری.

Goals (high-level requirements)	Cyber security goals			Safety risk level	Risk treatment
	CG1	...	CGn		
Safety goals	O				
SG1		GG1	X		
...	X				
SGn		O			
Cyber security risk level					
Risk treatment					

شکل ۷: ماتریس رابطه GG۱ برای تحلیل تضاد اهداف امنیت سایبری با اهداف ایمنی.

Goals (high-level requirements)	Safety goals			Cyber security risk level	Risk treatment
	SG1	...	SGn		
Cyber security goals					
CG1		GG2	X		
...	X		O		
CGn		O			
Safety risk level					
Risk treatment					

شکل ۸: ماتریس رابطه GG۲ برای تحلیل تضاد اهداف ایمنی با اهداف امنیت سایبری.

هر سه تیم باید بر اهداف ایمنی و امنیت سایبری، سطوح ریسک و گزینه‌های مدیریت ریسک (کاهش یا اجتناب، اشتراک‌گذاری، حفظ) برای هر دارایی، مطابق با استانداردهای ISO 26262 و ISO/SAE 21434 توافق کنند.

برای دستیابی به هدف دوم، می‌توانیم از ماتریس‌های رابطه GG۱ و GG۲، که به ترتیب در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده‌اند، استفاده کنیم. GG۱ به تحلیل تأثیر اهداف امنیت سایبری بر اهداف ایمنی کمک می‌کند، در حالی که GG۲ بر تأثیر اهداف ایمنی بر اهداف امنیت سایبری متمرکز است.

در شکل ۷، "O" نشان می‌دهد که هدف امنیت سایبری (ستون) به تحقق هدف ایمنی (ردیف) کمک می‌کند، در حالی که "X" به این معنی است که هدف امنیت سایبری (ستون) با هدف ایمنی (ردیف) در تضاد است.

در همین حال، در شکل ۸، "O" نشان می‌دهد که هدف ایمنی (ستون) به تحقق هدف امنیت سایبری (ردیف) کمک می‌کند، در حالی که "X" به این معنی است که هدف ایمنی (ستون) با هدف امنیت سایبری (ردیف) در تضاد است.

ماتریس‌های GG۱ و GG۲ همچنین برای توافق بر گزینه‌های مدیریت ریسک برای اهداف ایمنی و امنیت سایبری وابسته به یکدیگر مفید هستند.

۳.۱.۴ نقطه هم‌زمانی (۳): توافق بر نیازها و اقدامات ایمنی و امنیت سایبری

پس از نهایی شدن اهداف ایمنی و امنیت سایبری، نیازهایی با گزینه‌های مدیریت ریسک «کاهش» به نیازهای دقیق‌تری تبدیل می‌شوند – استراتژی‌های مستقل از طراحی برای دستیابی به اهداف. نیازهای ایمنی و امنیت سایبری همچنین به اقدامات ایمنی و امنیتی اختصاص داده می‌شوند که سپس به سیستم‌های وسیله نقلیه یا محیط آن تخصیص می‌یابند.

در این مرحله، زمانی که اقدامات ایمنی و امنیتی توسط تیم‌های مربوطه تعیین شده‌اند، می‌توانیم شروع به تحلیل وابستگی‌های متقابل احتمالی بین آن‌ها کنیم.

برای شناسایی و حل تعارضات احتمالی بین اقدامات، می‌توانیم از چارچوب ارزیابی ریسک سایبری (CRAF) (Asplund و همکاران، ۲۰۱۹) استفاده کنیم. روش CRAF شامل موارد زیر است:

- یک نقشه از پیش تعریف‌شده بین ویژگی‌های امنیت داده و ایمنی (شکل ۹ را ببینید)؛
- مجموعه‌ای از جداول، که توسط هر دو تیم ایمنی و امنیتی تکمیل شده‌اند (شکل ۱۰، شکل ۱۱، شکل ۱۲ را ببینید).

شکل ۱۰ می‌تواند توسط تیم ایمنی برای تحلیل اینکه آیا نیازها و اقدامات امنیت سایبری با ایمنی در تضاد نیستند، استفاده شود، در حالی که شکل ۱۱ برای بررسی اینکه آیا نیازها و اقدامات ایمنی با امنیت سایبری در تضاد نیستند، استفاده می‌شود.

اگر تعارضات احتمالی در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ شناسایی شوند، هر دو تیم باید سعی کنند تعارضات را با بررسی راه‌حل‌های جایگزین حل کنند. برای ارزیابی راه‌حل‌های جایگزین، می‌توان از شکل ۱۲ استفاده کرد.

Data security property	Data safety property
Confidentiality	Accessibility, disposability/ delectability, intended destination/ usage, suppression, traceability
Integrity	Accuracy, completeness, consistency, fidelity/ representation, format, history, integrity, resolution, sequencing
Availability	Accessibility, availability, lifetime, priority, sequencing, timeliness
Non-repudiation	History, integrity, traceability, verifiability
Authorisation/authentication	Accessibility, disposability/ delectability, integrity, intended destination/ usage, lifetime, suppression

شکل ۹: نقشه‌برداری بین ایمنی داده‌ها و ویژگی‌های امنیتی.

Cyber security requirement	Security measure	Data security property	Data safety Property	Conflict?	Conflict resolution	Selected alternative
CR1	CM1			X	Alternatives 1...n	
CR2	CM2					
Competed by cyber security team			*Completed by safety team*		*Completed by both teams*	

شکل ۱۰: جدول CRAF برای تجزیه و تحلیل تضاد بین اقدامات امنیتی و ایمنی.

Safety requirement	Safety measure	Data safety property	Data security property	Conflict?	Conflict resolution	Selected alternative
SR1	SM1			X	Alternatives 1...n	
SR2	SM2					
Competed by safety team			*Completed by cyber security team*		*Completed by both teams*	

شکل ۱۱: جدول CRAF برای تجزیه و تحلیل تضاد بین اقدامات ایمنی و امنیت.

Alternative	Security probability	Security impact	Safety probability	Safety impact
1				
n				
	Competed by cyber security team		*Completed by safety team*	

شکل ۱۲: ارزیابی جایگزین های CRAF

Relationship type / Factors	I. Between safety requirements or measures and security requirements or measures		
	(a) Conditional dependency	(b) Reinforcement	(c) Antagonism
Direction			Safety -> Security Security -> Safety
Intensity			
Methods/ Models			• Interdependencies • Trade-off analysis

شکل ۱۳: روابطی که با روش CRAF پرداخته شده است.

Requirements	Initial risk level	Safety measures			Security measures			Residual risk level
		SM1	...	SMn	CM1	...	CMn	
Safety requirements								
SR1			MR1	O	O	MR3	C	
...		O						
SRn			X			X		
Cyber security requirements								
CR1		O	MR4		O	MR2		
...				X			O	
CRn		C				X		

شکل ۱۴: ماتریس‌های رابطه MR۱–MR۴ برای وابستگی‌های متقابل بین اقدامات و نیازها.

O – اقدام (ستون) به تحقق نیاز (ردیف) کمک می‌کند؛

C – داشتن اقدام (ستون) شرطی برای تحقق نیاز است؛

X – اقدام (ستون) ممکن است نیاز (ردیف) را نقض کند.

شکل ۱۲ انواع روابط ایمنی و امنیت سایبری را نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از روش CRAF تحلیل کرد. همان‌طور که در شکل ۱۶ می‌بینیم، کار ما رابطه تعارض را در نظر می‌گیرد و مدل‌هایی برای تحلیل وابستگی متقابل و مدیریت مبادلات (ارزیابی راه‌حل‌های جایگزین) شامل می‌شود. گزینه‌ها در کلید به عنوان ورودی‌های ممکن در ماتریس‌های MR۱-۴ در شکل ۱۴ شامل رضایت، کمک به رضایت و تعارض هستند. این‌ها در شکل ۱۶ ثبت شده‌اند.

علاوه بر روش CRAF، می‌توانیم از ماتریس‌های رابطه برای کمک به تحلیل انواع دیگر روابط، یعنی وابستگی شرطی و تقویت، استفاده کنیم.شکل ۱۴، یک ماتریس رابطه را نشان می‌دهد که چهار ماتریس کوچکتر، MR۱-MR۴، را برای تحلیل روابط بین نیازها و اقدامات ایمنی/امنیت سایبری یکپارچه می‌کند.

مراحل تکمیل ماتریس‌های MR۱-MR۴ به شرح زیر است:

۱. تیم ایمنی ماتریس MR۱ را پر می‌کند.

۲. تیم امنیت سایبری ماتریس MR۲ را تکمیل می‌کند.

۳. تیم امنیت سایبری فهرست اقدامات امنیتی خود را با تیم ایمنی به اشتراک می‌گذارد و تیم ایمنی ماتریس MR۳ را تکمیل می‌کند؛

۴. تیم ایمنی فهرست اقدامات ایمنی را با تیم امنیت سایبری به اشتراک می‌گذارد و تیم امنیت سایبری ماتریس MR۴ را تکمیل می‌کند؛

۵. تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری جلسه‌ای برگزار می‌کنند و نتایج ماتریس‌های MR۳ و MR۴ را برای رسیدن به توافق نهایی در مورد انتخاب اقدامات ایمنی و امنیتی مورد بحث قرار می‌دهند. در صورت بروز تعارض، شکل ۱۲ می‌تواند برای ارزیابی اقدامات جایگزین استفاده شود.

اگر داده‌های کمی از اثربخشی اقدامات ایمنی/امنیت سایبری در تحقق نیازها موجود باشد، می‌توان از این داده‌ها در شکل ۱۳ (در سراسر ماتریس‌های MR۱-MR۴) استفاده کرد تا نماد "O" که تنها نشان می‌دهد که اقدام به تحقق نیاز کمک می‌کند، اما مشخص نمی‌کند که این اقدام چقدر مؤثر است، جایگزین شود. بنابراین، این ماتریس‌ها می‌توانند برای ثبت اطلاعات "شدت" نیز استفاده شوند.

شکل ۱۶ انواع روابط ایمنی و امنیت سایبری مورد نظر در ماتریس‌های پیشنهادی تاکنون را خلاصه می‌کند.

پس از نهایی شدن انتخاب اقدامات ایمنی و امنیت سایبری توسط تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری، آن‌ها باید با تیم توسعه در مورد تخصیص این اقدامات به سیستم‌های سطح وسیله نقلیه که آیتم (عملکرد سطح وسیله نقلیه) را اجرا می‌کنند یا به محیط توافق کنند. برای تسهیل این فرآیند، می‌توان از ماتریس‌های رابطه ME1-ME2، که اقدامات را به سیستم‌های وسیله نقلیه یا محیط نگاشت می‌کنند، استفاده کرد، همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

این ماتریس‌ها به ویژه برای یکپارچه‌سازی نتایج تحلیل تهدیدات چندین آیتم مفید هستند، زیرا هر آیتم به طور مستقل تحلیل می‌شود، بنابراین نیازهای ایمنی و امنیت سایبری به طور مستقل مشخص و اقدامات انتخاب می‌شوند.

۴.۱.۴ خلاصه‌ای از ماتریس‌های استفاده شده در مرحله مفهومی

شکل ۱۵ و شکل ۱۸ خلاصه‌ای از ماتریس‌های استفاده شده در مرحله مفهومی را ارائه می‌دهند. در مجموع ۱۰ ماتریس وجود دارد: چهار ماتریس در سطح هدف و شش ماتریس در سطح نیازمندی‌ها ساخته شده‌اند.

۲.۴ مدیریت مبادلات در مرحله توسعه محصول

در مرحله توسعه محصول، ما چهار نقطه همگام‌سازی داریم، همان‌طور که در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

۱.۲.۴ نقطه همگام‌سازی (۴): توافق بر روی نیازمندی‌های سطح سیستم، مکانیزم‌های ایمنی و کنترل‌های امنیتی، و تخصیص آن‌ها

پس از توسعه یک طراحی سیستم دقیق توسط تیم توسعه، تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری می‌توانند نیازمندی‌های ایمنی و امنیت سایبری سطح مفهومی را به نیازمندی‌های دقیق‌تر سطح سیستم تبدیل کنند. علاوه بر این، اقدامات ایمنی و امنیتی سطح مفهومی به مکانیزم‌های فنی ایمنی و کنترل‌های امنیتی تبدیل می‌شوند که به عناصر مربوطه سیستم اختصاص داده می‌شوند. در این مرحله می‌توان از چندین ماتریس رابطه برای کمک به تیم‌ها در شناسایی وابستگی‌های متقابل و انجام مبادلات در صورت نیاز استفاده کرد.

ابتدا، ماتریس‌های MR5-MR8 می‌توانند ساخته شوند، همان‌طور که در شکل ۲۰ نشان داده شده است. این ماتریس‌ها نسخه‌های دقیق‌تر MR1-MR4 هستند که در مرحله مفهومی توسعه یافته‌اند.

مراحل زیر برای تکمیل ماتریس‌های MR5-MR8 است:

۱. تیم ایمنی ماتریس MR5 را تکمیل می‌کند.

۲. تیم امنیت سایبری ماتریس MR6 را تکمیل می‌کند.

۳. تیم امنیت سایبری فهرست کنترل‌های امنیتی خود را با تیم ایمنی به اشتراک می‌گذارد و تیم ایمنی ماتریس MR7 را تکمیل می‌کند؛

۴. تیم ایمنی فهرست مکانیزم‌های ایمنی خود را با تیم امنیت سایبری به اشتراک می‌گذارد تا ماتریس MR8 را تکمیل کنند؛

۵. تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری دیدار می‌کنند و نتایج ماتریس‌های MR5-MR8 را برای رسیدن به توافق نهایی در مورد انتخاب اقدامات ایمنی و امنیتی بحث می‌کنند. در صورت وجود تضادها، تیم‌ها باید مبادلاتی انجام دهند تا تضادها را حذف کنند و در عین حال سطح ریسک باقی‌مانده قابل قبول را حفظ کنند.

پس از نهایی شدن انتخاب مکانیزم‌های ایمنی و کنترل‌های امنیتی توسط تیم‌های ایمنی و امنیت سایبری، باید با تیم توسعه درباره تخصیص اقدامات به عناصر سیستم به توافق برسند. برای تسهیل این فرآیند، ماتریس‌های رابطه‌ای ME3-ME4، که مکانیزم‌های ایمنی و کنترل‌های امنیتی را به عناصر سیستم نقشه‌برداری می‌کنند، در شکل ۲۱ نشان داده شده‌اند.

۲.۲.۴ نقطه هماهنگی (۵): توافق بر روی الزامات ایمنی و امنیت سایبری در سطح سخت‌افزار و نرم‌افزار

در این مرحله، الزامات امنیت سایبری در سطح سیستم به الزامات امنیت سایبری در سطح سخت‌افزار و نرم‌افزار تصحیح و مشخص می‌شوند.

Matrices	Rows	Columns	Possible symbols and their meanings
GA1	Safety goals	System assets	O – goal (row) contributes to protecting the asset (column)
GA2	Cyber security goals	System assets	O – goal (row) contributes to protecting the asset (column)
GG1	Safety goals	Cyber security goals	O – cyber security goal (column) contributes to satisfying safety goal (row); X – cyber security goal (column) conflicts with safety goal (row)
GG2	Cyber security goals	Safety goals	O – safety goal (column) contributes to satisfying security goal (row); X – safety goal (column) conflicts with cyber security goal (row)
MR1	Safety requirements	Safety measures	O – measure (column) contributes to satisfying the requirement (row); X – measure (column) may violate the requirement (row)
MR2	Cyber security requirements	Security measures	O – measure (column) contributes to satisfying the requirement (row); X – measure (column) may violate the requirement (row)
MR3	Safety requirements	Security measures	O – measure (column) contributes to satisfying the requirement (row); C – having the measure (column) is a condition for satisfying the requirement; X – measure (column) may violate the requirement (row)
MR4	Cyber security requirements	Safety measures	O – measure (column) contributes to satisfying the requirement (row); C – having the measure (column) is a condition for satisfying the requirement; X – measure (column) may violate the requirement (row)
ME1	Safety measures	Systems/ environment	X – measure (row) is allocated to the system/environment (column)
ME2	Security measures	Systems/ environment	X – measure (row) is allocated to the system/environment (column)

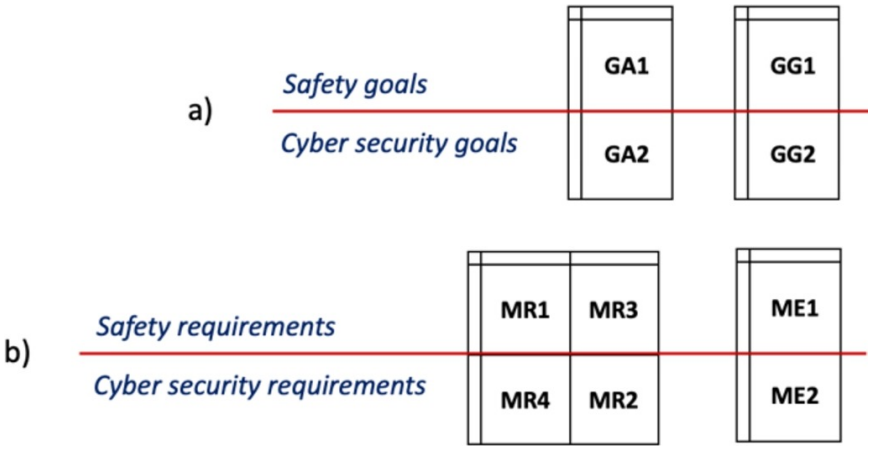
شکل ۱۵: شرح ۱۰ ماتریس مورد استفاده در فاز مفهومی.

Relationship type / Factors	I. Between safety requirements or measures and security requirements or measures		
	(a) Conditional dependency	(b) Reinforcement	(c) Antagonism
Direction	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety	Safety -> Security Security -> Safety
Intensity		Measure effectiveness	
Methods/ Models	• Interdependencies • Trade-off analysis	• Interdependencies • Trade-off analysis	• Interdependencies • Trade-off analysis

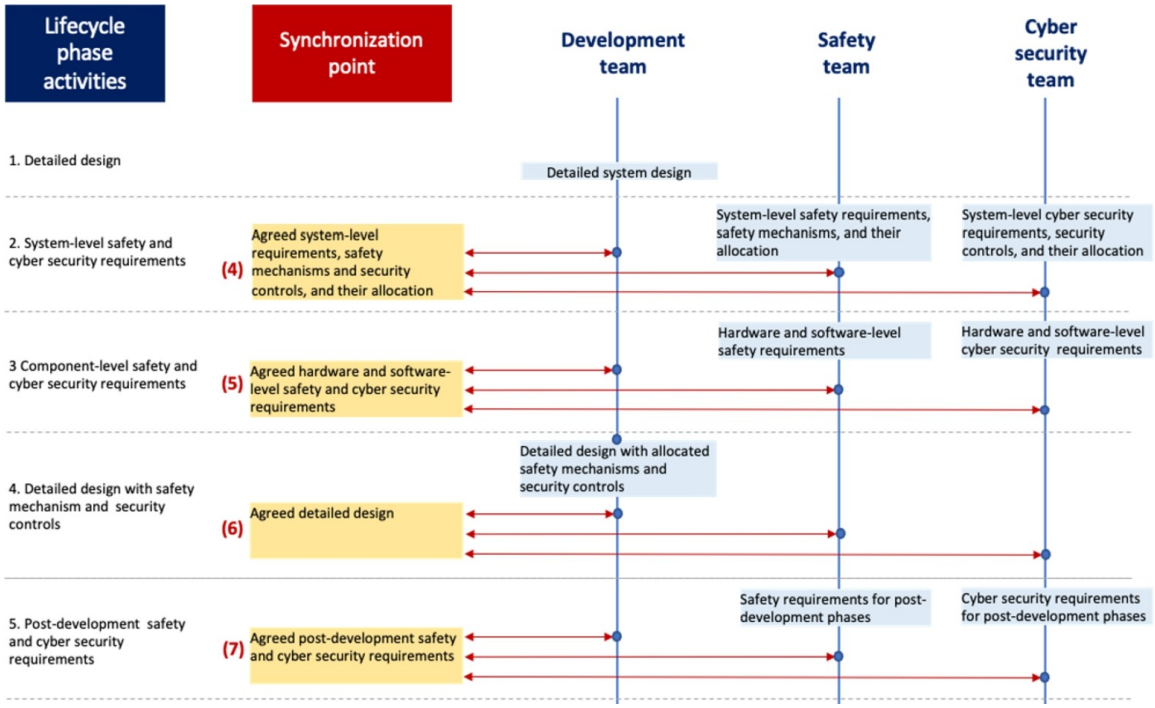
شکل ۱۶: روابط پرداخته شده توسط ماتریس های GG۱-GG۲ و MR۱-MR۴

Mechanisms/controls	Allocation to system/environment		
	E1	...	En
Safety measures			
SM1		**ME1**	X
...	X		
SMn			
Security measures			
CM1	X	**ME2**	
...			X
CMn			

شکل ۱۷: ماتریس های رابطه ME۱ و ME۲ برای تخصیص اقدامات ایمنی و امنیتی به سیستم های خودرو/محیط
X - اندازه گیری (ردیف) به آیتم/محیط (ستون) اختصاص داده می شود



شکل ۱۸: خلاصه ماتریس فاز مفهومی در: الف) سطح هدف. ب) سطح نیاز.



شکل ۱۹: فعالیت های مرحله توسعه محصول و نقاط هماهنگ سازی بین تیم های توسعه، ایمنی و امنیت سایبری.

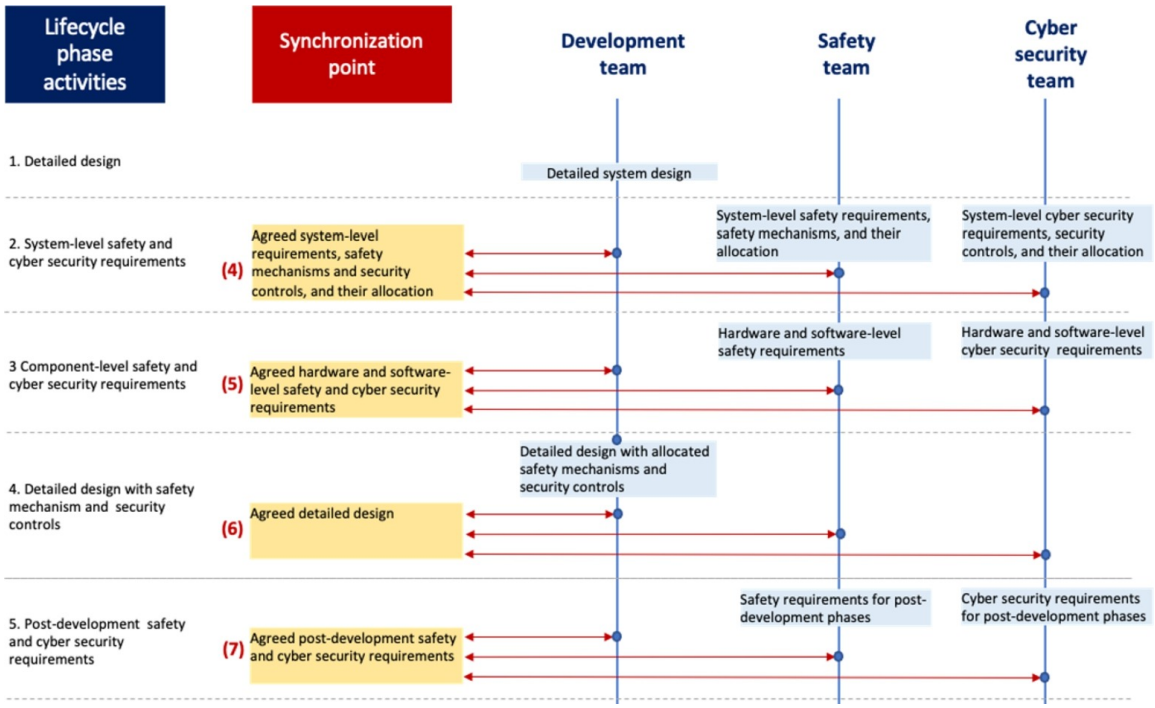
Requirements	Initial risk level	Safety mechanisms			Security controls			Residual risk level
		S-SM1	...	S-SMn	S-CM1	...	S-CMn	
System-level safety requirements		C						
S-SR1			MR5	O	O	MR7	C	
...		O						
S-SRn			X			X		
System-level cyber security requirements							C	
S-CR1		O	MR8		O	MR6		
...				X			O	
S-CRn		C				X		

شکل ۲۰: ماتریس‌های رابطه‌ای MR۸–MR۵ برای تحلیل وابستگی‌های متقابل بین مکانیزم‌ها و نیازمندی‌ها.

O – مکانیزم/کنترل (ستون) به تحقق نیازمندی (ردیف) کمک می‌کند؛

C – داشتن مکانیزم/کنترل (ستون) شرط لازم برای تحقق نیازمندی است؛

X – مکانیزم/کنترل (ستون) ممکن است نیازمندی (ردیف) را نقض کند.



شکل ۲۱: ماتریس‌های رابطه ME۳ و ME۴ برای تخصیص مکانیسم‌های ایمنی و کنترل‌های امنیتی به عناصر سیستم.

X – مکانیزم/کنترل (ردیف) به عنصر سیستم (ستون) اختصاص داده شده است.

Goals	Hardware components			Software components		
	HW-E1	...	HW-En	SW-E1	...	SW-En
Hardware-level safety requirements						
HW-SR1		**RE1**	X			
...	X					
HW-SRn						
Software-level safety requirements						
SW-SR1					**RE2**	X
...				X		
SW-SRn						
Hardware-level cyber security requirements						
HW-CR1	X	**RE3**				
...			X			
HW-CRn						
Software-level cyber security requirements						
SW-CR1				X	**RE4**	
...						X
SW-CRn						
Performance requirements						

شکل ۲۲: ماتریس‌های ارتباطی RE۱-RE۴ برای تخصیص الزامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری
در سطح سخت‌افزار به قطعات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری.
X - نیاز (ردیف) به جز سخت افزاری یا نرم افزاری (ستون) اختصاص داده می شود.

این نقطه هماهنگی به شناسایی وابستگی‌های ممکن بین الزامات ایمنی و امنیت سایبری برای اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مشابه می‌پردازد. چهار ماتریس RE۱ تا RE۴ می‌توانند برای این منظور استفاده شوند، همانطور که در شکل ۲۲ نشان داده شده است. علاوه بر این، این ماتریس‌ها برای تعریف الزامات عملکردی اجزای نرم‌افزاری/سخت‌افزاری نیز مفید هستند.

۳.۲.۴ نقطه هماهنگی (۶): توافق بر روی طراحی دقیق

در این مرحله، مکانیزم‌های ایمنی و کنترل‌های امنیت سایبری توسط تیم توسعه به طراحی دقیق سیستم اضافه می‌شوند، که سپس نیاز است توسط هر سه تیم بررسی شوند.

۴.۲.۴ نقطه هماهنگی (۷): توافق بر روی الزامات ایمنی و امنیت سایبری پس از توسعه

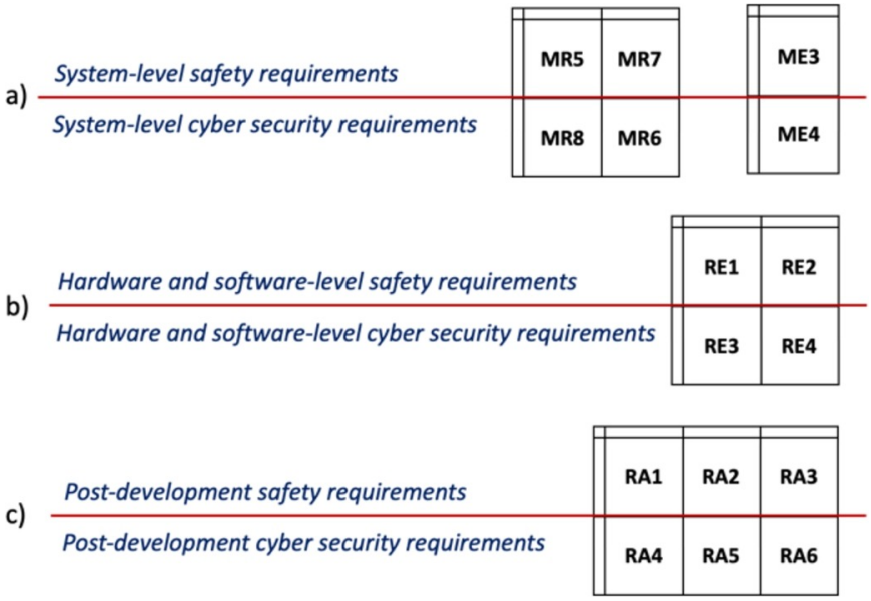
در پایان مرحله توسعه محصول، الزامات ایمنی و امنیت سایبری برای مرحله پس از توسعه باید تعریف شوند. این مراحل شامل تولید، عملیات و نگهداری، و از رده خارج کردن هستند. یک ماتریس رابطه‌ای می‌تواند برای هر مرحله استفاده شود، همانطور که در شکل ۲۳ نشان داده شده است. در مجموع، شش ماتریس تعریف شده‌اند، RA۱ تا RA۶.

الزامات اضافی برای فعالیت‌های فاز پس از توسعه، به منظور تسهیل پیاده‌سازی الزامات ایمنی و امنیت سایبری پس از توسعه، می‌توانند در انتهای شکل ۲۳ تعریف و اضافه شوند.

Goals	Production phase activities			Operation and maintenance phase activities			Decommissioning phase activities		
	PR-A1	...	PR-An	OM-A1	...	OM-An	DC-A1	...	DC-An
Post-development safety requirements									
P-SR1		RA1	X		RA2	X		RA3	X
...	X			X			X		
P-SRn									
Post-development cyber security requirements									
P-CR1		RA4	X	X	RA5			RA6	X
...	X					X	X		
P-CRn									
Additional requirements									

شکل ۲۳: ماتریس های رابطه RA۱-RA۶ برای تخصیص الزامات ایمنی و امنیت سایبری به فعالیت های مرحله پس از توسعه.

X - نیاز (ردیف) به یک فعالیت (ستون) اختصاص داده می شود.



شکل ۲۴: خلاصه ای از ماتریس های فاز توسعه محصول در:

الف) سطح نیاز در سطح سیستم. ب) سطح نیاز سخت افزار و نرم افزار؛ ج) سطح نیاز پس از توسعه.

۵.۲.۴ خلاصه‌ای از ماتریس‌های مورد استفاده در مرحله توسعه محصول

شکل ۲۳ و شکل ۲۴ شامل یک خلاصه از ماتریس‌های مورد استفاده در مرحله توسعه محصول هستند.

در مجموع، شانزده ماتریس برای این فاز تعریف شده است: شش ماتریس برای تحلیل تعاملات در سطح الزامات سیستم؛ چهار ماتریس برای تحلیل در سطح الزامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری؛ و شش ماتریس برای تحلیل در سطح الزامات پس از توسعه.