

طراحی و پیاده سازی کالسکه هوشمند کودک مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) برای ارتقای ایمنی و آسایش کودک و والد

محمد حسین درزی^{۱*}

پژوهشگر آزاد

mohammadhosseinmhd11@gmail.com

چکیده

نحوه عملکرد کالسکه های سنتی در برابر شرایط محیطی، انگیزه ی اصلی این پژوهش برای ساخت یک وسیله هوشمند و کودک محور است. این مقاله، روند ساخت یک نمونه اولیه از یک کالسکه هوشمند کم هزینه مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) را توضیح می دهد. سیستم ما، با محوریت میکروکنترلر ESP32، به طور مداوم دما، رطوبت، و تابش UV را اندازه می گیرد و از طریق یک اپلیکیشن موبایل، کنترل و نظارت لحظه ای را برای والدین فراهم می کند. علاوه بر این، یک مکانیزم ترمز خودکار مبتنی بر حسگرها، به عنوان یک سیستم ایمنی برای جلوگیری از حوادث ناشی از غفلت، در سیستم تعبیه شده است. ارزیابی های عملکردی، علاوه بر اینکه کار کردن ایده اولیه ما را ثابت کرد، نشان داد که بین هزینه و عملکرد، محدودیت هایی وجود دارد، به ویژه در زمینه زمان پاسخ سیستم ترمز و دقت حسگرهای اقتصادی. در نهایت، این پژوهش نشان می دهد که با استفاده از قطعات در دسترس، می توان یک نمونه اولیه کارآمد برای ارتقای ایمنی کودکان طراحی کرد و این می تواند پایه خوبی برای ساخت محصولات تجاری مقرون به صرفه در این حوزه باشد.

کلمات کلیدی: کالسکه هوشمند، اینترنت اشیاء (IoT)، ایمنی کودک، سیستم های نهفته، ESP32، نظارت از راه دور، فلاتر.

۱. مقدمه

این روزها، بیشتر وسایل اطراف ما در حال هوشمند شدن هستند. در این میان، اینترنت اشیاء (IoT) خود را به عنوان بخش مهمی از این پیشرفت مطرح کرده و با فراهم آوردن امکان تعامل مستقیم میان اشیاء فیزیکی و دنیای دیجیتال، فرصت های زیادی برای راحت تر کردن زندگی در تمامی عرصه ها، به ویژه در حوزه سلامت و مراقبت های شخصی، ایجاد کرده است [۱]. در این فضا، حوزه مراقبت از نوزادان، به دلیل آسیب پذیری این گروه سنی و نگرانی های والدین، زمینه ای مناسب برای پیاده سازی راهکارهای نوآورانه است.

کالسکه کودک، که سال هاست برای حمل و نقل نوزاد استفاده می شود، متأسفانه در این مدت تغییر اساسی نکرده است. ساده بودن این وسیله، تمام مسئولیت را در تطبیق با شرایط متغیر محیطی و پیشگیری از خطرات احتمالی، روی دوش والدین می گذارد. این امر، به نوبه خود، فشار قابل توجهی را به والدین تحمیل می کند. خطراتی نظیر حرکت ناخواسته کالسکه بر

روی سطوح شیبدار، قرار گرفتن طولانی مدت نوزاد در معرض تابش نور فرابنفش (UV)، یا تغییرات ناگهانی دما در فضای داخلی کالسکه، از جمله چالش‌های مکرری هستند که راهکارهای فعلی راه حل خوبی برای آن‌ها ارائه نمی‌دهند [۲، ۳]. این مقاله، با هدف پاسخگویی به این مشکلات، پروژه "کالسکه هوشمند کودک" را معرفی می‌کند. این پروژه با یک نگاه جامع، کالسکه را از یک وسیله حمل و نقل صرفاً ساکن، به یک وسیله هوشمند و واکنش‌گرا برای مراقبت از نوزاد تبدیل می‌کند. هدف اصلی ما، طراحی سیستمی است که به صورت خودکار، محیط اطراف نوزاد را پایش کرده، پارامترهای آسایشی را تنظیم نموده، و با ارائه مکانیزم‌های ایمنی هوشمند، خیال والدین را راحت کند. در ادامه این مقاله، ساختار زیر دنبال خواهد شد:

بخش ۲ به مرور کارهای پیشین و بررسی راهکارهای مشابه می‌پردازد. بخش ۳ جزئیات فنی طراحی و پیاده‌سازی سامانه، شامل معماری، سخت‌افزار، نرم‌افزار و ملاحظات مکانیکی را تشریح می‌کند. در بخش ۴، نتایج آزمون‌های عملکردی نمونه اولیه ارائه و تحلیل می‌شود. در نهایت، بخش ۵ به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای توسعه آتی این طرح اختصاص دارد.

۲. مرور انتقادی کارهای پیشین و تبیین خلاء پژوهشی

۲.۱. مقدمه تحلیل

ادبیات پژوهش و صنعت در حوزه "مراقبت هوشمند از کودک" نشان‌دهنده یک توسعه ناهمگون و تقسیم‌شده است. رویکردهای موجود را می‌توان به سه دسته اصلی تفکیک کرد که هر یک با وجود نقاط قوت مشخص، دارای محدودیت‌های بنیادینی هستند که در نهایت منجر به تعریف خلاء پژوهشی این تحقیق شده است.

۲.۲. سیستم‌های پایش ثابت: هوشمندی محبوس در محیط کنترل‌شده
سیستم‌های تجاری پیشرفته مانند مانیتورهای Nanit و Miku [۴]، توانایی‌های خوب و قابل توجهی در پایش پارامترهای بیومتریک نوزاد در یک محیط ایستا (مانند گهواره) از خود نشان داده‌اند.

- نقطه قوت: بهره‌گیری از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل دقیق الگوهای خواب و تنفس.

- نقطه ضعف انتقادی: این هوشمندی کاملاً به یک محیط ایستا و کنترل‌شده وابسته است. این سیستم‌ها فاقد هرگونه عملگر برای تعامل با محیط یا قابلیت انتقال به یک بستر متحرک هستند. در نتیجه، عملکرد آن‌ها با خروج کودک از خانه، به طور کامل متوقف می‌شود.

۲.۳. کالسکه‌های تجاری: تمرکز بر راحتی والد به جای آسایش کودک
نسل جدید کالسکه‌های هوشمند تجاری، مانند Cybex e-PRIAM [۵]، بر ارتقاء جنبه‌های الکترومکانیکی برای تسهیل حرکت و راحتی والدین متمرکز شده‌اند.

- نقطه قوت: مهندسی دقیق مکانیزم‌های حرکتی و دستیار رانش.

- نقطه ضعف انتقادی: این رویکرد اساساً والد محور است تا کودک محور. این محصولات با وجود قیمت بالا، تقریباً به طور کامل از وضعیت محیطی پیرامون کودک (مانند دما، رطوبت، تابش UV) و ایمنی فعال در شرایط اضطراری (مانند رها شدن ناگهانی کالسکه) غفلت کرده‌اند.

- ۲.۴. پژوهش‌های آکادمیک: راه‌حل‌های جزیره‌ای و فاقد یکپارچگی در حوزه آکادمیک، پژوهش‌ها به سمت راه‌حل‌های بسیار تخصصی اما جزیره‌ای گرایش داشته‌اند. تحقیقاتی بر سنسورهای پوشیدنی برای پایش سلامت [۶] و یا سیستم‌های IoT برای کنترل دقیق محیط‌های بسته [۷] متمرکز شده‌اند.
- نقطه قوت: دقت بالا و اعتبار علمی در یک حوزه مشخص و محدود.

- نقطه ضعف انتقادی: این پژوهش‌ها به ندرت به سمت یک یکپارچه‌سازی سیستمی (System Integration) در یک پلتفرم متحرک و کاربردی حرکت کرده‌اند. قطعات مختلف پازل به صورت جداگانه حل شده‌اند، اما یک معماری جامع که این قابلیت‌های مجزا را در یک محصول واحد و قابل تعامل با دنیای واقعی گرد هم آورد، ارائه نشده است.

- ۲.۵. جمع‌بندی و ارائه خلاء پژوهشی
- تحلیل انتقادی فوق نشان می‌دهد که حوزه مراقبت هوشمند از کودک از یک “خلاء یکپارچگی” رنج می‌برد. راه‌حل‌های موجود یا در محیط ثابت محدود میشوند، یا به نیازهای کودک بی‌توجه‌اند و یا در سطح آزمایشگاهی باقی مانده‌اند.

بنابراین، پژوهش حاضر دقیقاً برای پر کردن این خلاء تعریف می‌شود. نوآوری اصلی این کار، ارائه یک معماری جامع و کودک-محور است که در تلاش است این خلا یکپارچگی ایجاد شده را با سه قابلیت حیاتی و مکمل از بین ببرد:

- (۱) کنترل فعال آسایش محیطی
- (۲) ایمنی فیزیکی پیشگیرانه
- (۳) نظارت یکپارچه از راه دور

۳. طراحی و پیاده‌سازی سامانه

این بخش به تشریح دقیق معماری فنی سامانه، دلایل مهندسی برای انتخاب هر یک از قطعات، و توضیح عملکرد نرم‌افزار و سخت افزار پروژه می‌پردازد.

۳.۱. معماری کلی سیستم

سامانه پیشنهادی ما بر پایه یک معماری سه لایه کلاسیک اینترنت اشیا طراحی شده است. این رویکرد ماژولار، نه تنها فرآیند توسعه را آسان می‌کند، بلکه عیب‌یابی و ارتقاءهای آتی سیستم را نیز به شکلی امکان پذیر می‌سازد.

لایه سنچس و عمل: این لایه اصلی ترین لایه برای تعامل با دنیای فیزیکی است. در برگزیده کلیه سنسورها شامل DHT11 برای دما و رطوبت، UVM-30A برای UV، LDR برای نور محیط، ESP-CAM برای نظارت تصویری،

Microphone برای صوت، و Microswitch برای تشخیص حضور والد است که وظیفه جمع‌آوری داده‌ها را بر عهده دارند. همچنین، عملگرها (مانند سروو موتورها برای ترمز و سایه‌بان، المنت گرمایشی و فن) که دستورات فیزیکی را اجرا می‌کنند، در این لایه قرار می‌گیرند.

لایه پردازش و کنترل : این لایه، در واقع مغز سیستم است که وظایفش بر عهده میکروکنترلر ESP32 است. این لایه، داده‌های خام را از لایه سنجش دریافت کرده، بر اساس منطق از پیش تعریف شده و الگوریتم‌های هوشمند پردازش می‌کند، و سپس فرمان‌ها و دستورات لازم را برای لایه آخر یعنی لایه عمل صادر می‌نماید. مدیریت ارتباطات شبکه نیز از وظایف کلیدی همین لایه است.

لایه کاربر و نظارت: این لایه شامل اپلیکیشن موبایل است که به عنوان رابط کاربری گرافیکی (GUI) عمل می‌کند. این اپلیکیشن، به والدین این قابلیت و امکان را می‌دهد تا وضعیت لحظه‌ای سیستم را نظارت کرده و در صورت نیاز، کنترل دستی و لحظه‌ای را به دست بگیرند.

۳.۲. انتخاب و تشریح اجزای سخت‌افزاری

انتخاب دقیق و منطقی قطعات، با در نظر گرفتن معیارهای مهم از جمله هزینه، دسترسی آسان، مصرف بهینه انرژی و سهولت استفاده از آنها صورت گرفته است تا بهترین تعادل میان عملکرد و اقتصادی بودن به دست آید.

واحد کنترل مرکزی (MCU) : ماژول ESP32 DevKit به دلیل برخورداری از پردازنده دو هسته‌ای، قابلیت‌های داخلی Wi-Fi و بلوتوث، مصرف انرژی فوق‌العاده پایین در حالت Deep Sleep و تعداد کافی پین‌های ورودی/خروجی، به عنوان گزینه ایده‌آل، مناسب و بهینه برای این پروژه برگزیده شد [۸]. قابلیت‌های شبکه یکپارچه آن، نیاز به ماژول‌های جانبی پرهزینه را به کلی مرتفع ساخته و طراحی کلی را به طرز چشمگیری ساده‌تر و کارآمدتر می‌کند.

سنسورهای محیطی:

DHT11 : برای اندازه‌گیری دما و رطوبت محیط، این سنسور به دلیل هزینه پایین و دقت کافی برای کاربرد غیرپزشکی و عمومی این پروژه، گزینه‌ای هوشمندانه بود.

UVM-30A : این ماژول قادر به اندازه‌گیری شاخص UV است و برای تشخیص میزان خطرناک بودن تابش خورشید و حفاظت فعال از نوزاد، گزینه‌ای مناسب و ضروری محسوب می‌شود.

سنسورهای ایمنی و نظارتی:

ESP-CAM : این ماژول که خود به تنهایی شامل یک پردازنده ESP32 دیگر است، به عنوان یک واحد مستقل و تخصصی برای پردازش ویدیوی زنده مورد استفاده قرار گرفت. این رویکرد، بار پردازشی سنگین را از روی MCU اصلی برداشته و عملکرد کلی سیستم را بهبود می‌بخشد.

میکروسوئیچ: یک سنسور ساده، اما مناسب که بر روی دسته کالسکه نصب شده است. این میکروسوئیچ، حضور یا عدم حضور دست والد را به صورت باینری (صفر یا یک) تشخیص می‌دهد و نقش محوری در سیستم ترمز اضطراری دارد.

عملگرها :

سروو موتورهای MG996r : این سرووها به دلیل گشتاور مناسب و کافی، ابعاد کوچک و قیمت منطقی، برای کنترل سریع مکانیزم‌های ترمز و سایه‌بان انتخاب شدند.

المنت گرمایشی و فن : این دو جزء حیاتی به سادگی از طریق رله‌های متصل به ESP32 کنترل می‌شوند و وظیفه خطیر تنظیم دقیق دمای میکروکلیمات داخل کالسکه را به بهترین نحو بر عهده دارند.

۳.۳. نرم‌افزار و منطق کنترل

نرم‌افزار سیستم به دو بخش اصلی و مکمل یکدیگر تقسیم می‌شود : سفت‌افزار (Firmware) که بر روی ESP32 اجرا می‌شود و اپلیکیشن موبایل.

سفت‌افزار (Firmware) : این بخش با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C++ در محیط توسعه Arduino IDE و با بهره‌گیری از کتابخانه‌های ESP-DEVKit توسعه داده شده است. الگوریتم اصلی عملکرد، در یک حلقه مداوم loop() پیاده‌سازی شده که به صورت بی‌وقفه وظایف زیر را با دقت بالا انجام می‌دهد:

قرائت داده‌ها: فراخوانی هوشمند و خودکار توابع مربوط به هر سنسور و ذخیره لحظه‌ای مقادیر در متغیرهای مربوطه.
اجرای منطق کنترلی پیشرفته:

کنترل دما: یک تابع هوشمند checktemp() دمای فعلی را با محدوده آسایش تعریف شده (معادل 18°C تا 28°C) مقایسه می‌کند. در صورت خروج از این محدوده ایده‌آل، رله مربوط به فن یا المنت گرمایشی با یک چرخه کاری متناوب و بهینه (مثلاً ۵ ثانیه روشن، ۵ ثانیه خاموش) فعال می‌شود. این روش مبتکرانه، از تغییرات ناگهانی و شوک‌دهنده دما جلوگیری کرده و پایداری محیط را تضمین می‌کند.

کنترل: تابع checkUV() شاخص تابش فرابنفش را به دقت بررسی کرده و در صورتی که مقدار آن از آستانه ۴ (که به عنوان مرز خطرناک برای پوست لطیف نوزاد شناخته می‌شود) فراتر رود، سروو موتور سایه‌بان را به سرعت و دقت به موقعیت "باز" حرکت می‌دهد و محافظت فوری ایجاد می‌کند.

کنترل ترمز اضطراری: تابع checkBrake() وضعیت میکروسوئیچ روی دسته را قرائت می‌کند. این تابع با بالاترین اولویت ممکن اجرا می‌شود تا در صورت رها شدن ناگهانی دسته، سروو موتور ترمز به سریعاً فعال شود و از حرکت ناخواسته کالسکه جلوگیری کند.

مدیریت ارتباطات بی‌سیم ESP32 : به عنوان یک ریزسرور عمل کرده و یک وب‌سرور محلی قوی راه‌اندازی می‌کند. یک نقطه دسترس (Endpoint) از نوع RESTful API با آدرس /data ایجاد شده که در پاسخ به درخواست‌های GET از سمت اپلیکیشن، تمامی داده‌های لحظه‌ای سنسورها را در قالب یک شیء JSON با ساختار منظم و خوانا ارسال می‌کند. اپلیکیشن موبایل: (Mobile Application)

برای ارائه یک تجربه کاربری مدرن، روان و کاملاً یکپارچه، اپلیکیشن با فریمورک پیشرفته Flutter و زبان برنامه‌نویسی Dart توسعه داده شد [۹]. این انتخاب استراتژیک، امکان تولید خروجی نیتیو و با کارایی بالا را برای هر دو سیستم عامل محبوب اندروید و iOS از یک پایگاه کد واحد فراهم می‌آورد که سرعت توسعه را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. معماری اپلیکیشن شامل بخش‌های زیر است:

رابط کاربری (UI): طراحی UI با تمرکز حداکثری بر سادگی، زیبایی‌شناسی و دسترسی سریع به اطلاعات کلیدی انجام شده است. یک داشبورد اصلی و بصری، داده‌های لحظه‌ای دما، رطوبت و UV را به صورت کاملاً خوانا نمایش می‌دهد. یک

ویجت مجزا نیز برای نمایش زنده استریم ویدیویی از ESP-CAM در نظر گرفته شده تا والدین بتوانند نوزاد خود را به صورت چشمی نیز نظارت کنند.

منطق ارتباطی: اپلیکیشن به صورت هوشمند و در بازه‌های زمانی منظم (هر ۲ ثانیه یکبار) یک درخواست HTTP GET به آدرس IP سرور ESP32 در شبکه Wi-Fi ارسال می‌کند. پس از دریافت پاسخ JSON، آن را به سرعت تجزیه (Parse) کرده و تمامی مقادیر را به صورت آنی در UI به‌روزرسانی می‌کند.

۴.۳. یکپارچه‌سازی مکانیکی

برای محافظت کامل از قطعات حساس الکترونیکی و همچنین به دست آوردن ظاهری زیبا و معقول، تمامی قطعات در یک محفظه اختصاصی که با نرم‌افزارهای CAD مانند Solid Works طراحی و با استفاده از چاپگر سه‌بعدی با دقت بالا ساخته شده، قرار گرفتند. مکانیزم ترمز نیز به گونه‌ای طراحی شد که سروو موتور بتواند یک پین مقاوم را به صورت مستقیم در شیارهای چرخ درگیر کرده و آن را به طور کامل قفل نماید. این طراحی ساده مکانیکی، قابلیت خوبی را برای متوقف کردن کالسکه ارائه می‌دهد.

۵.۳. سیستم مدیریت تغذیه

تأمین انرژی کل سامانه از طریق یک پاوربانک تجاری استاندارد با خروجی 5V USB انجام می‌شود. این انتخاب طراحی، یک تصمیم ساده، اما کاربردی، با هدف افزایش حداکثری ایمنی و کاهش پیچیدگی در فاز نمونه‌سازی اولیه بوده است. دلایل کلیدی این رویکرد عبارتند از:

- ایمنی: پاوربانک‌های تجاری معتبر، به صورت پیش‌فرض مجهز به مدارهای استاندارد محافظتی داخلی هستند. این مدارها شامل محافظت در برابر شارژ و دشارژ بیش از حد، اتصال کوتاه، و افزایش دما می‌باشند.
- قابلیت اطمینان و سادگی: به جای طراحی یک مدار BMS سفارشی که خود می‌تواند منبع خطا باشد، از یک محصول تولید انبوه و تست‌شده استفاده شده است. این امر نه تنها قابلیت اطمینان به سیستم را افزایش می‌دهد، بلکه با حذف پیچیدگی از مدار اصلی، فرآیند توسعه و عیب‌یابی را نیز ساده تر و سریع تر می‌کند.
- آسانی استفاده و تعویض: کاربر به راحتی می‌تواند پاوربانک را مانند یک تلفن همراه شارژ کرده یا در صورت نیاز آن را با یک نمونه دیگر جایگزین نماید.

در حالی که این رویکرد ممکن است از نظر یکپارچگی فیزیکی و بهینه‌سازی فضا به اندازه یک باتری لیتیومی داخلی ایده‌آل نباشد، اما مزایای آن در حوزه ایمنی و سرعت توسعه برای یک نمونه اولیه، این محدودیت را کاملاً توجیه می‌کند.

۴. نتایج و بحث: ارزیابی انتقادی یک نمونه اولیه کم‌هزینه

۴.۱. تحلیل نتایج و توازن‌های مهندسی

نتایج ارائه شده در جدول ۱ باید در چارچوب هدف اصلی این پژوهش، یعنی امکان‌سنجی (Feasibility Study) ساخت یک نمونه اولیه کم‌هزینه، تحلیل شوند. تحلیل زیر به جای توجیه، بر روی بررسی انتقادی محدودیت‌ها و توازن‌های مهندسی تمرکز دارد.

جدول ۱: نتایج کمی عملکرد زیرسیستم‌های کالسهک هوشمند

شرایط و توضیحات آزمون	مقدار اندازه گیری شده	معیار سنجش	پارامتر ارزیابی
آزمون روی سطح شیب‌دار 10° . تحلیل ویدیویی صحنه آهسته از لحظه رها شدن میکروسوئیچ تا توقف کامل.	$950\text{ms} \pm 50\text{ms}$	میانگین زمان پاسخ ترمز	ایمنی: ترمز هوشمند
زمان فعال‌سازی فن پس از عبور دما از آستانه 28°C .	ثانیه <5	زمان پاسخ سیستم تهویه	آسایش: کنترل دما (سرمايش)
زمان فعال‌سازی المنت گرمایشی پس از کاهش دما به زیر 18°C .	ثانیه <5	زمان پاسخ سیستم گرمایش	آسایش: کنترل دما (گرمایش)
مطابق با دیتاشیت رسمی سنسور DHT11.	$\pm 1.8^\circ\text{C}$	دقت سنسور دما (DHT11)	-
آزمون با لامپ UV آزمایشگاهی. زمان از لحظه عبور شاخص UV از آستانه 4.0 تا استقرار کامل سایه‌بان.	850ms	زمان باز شدن کامل سایه‌بان	آسایش: کنترل UV
ارسال فرمان از اپلیکیشن و دریافت بازخورد روی شبکه Wi-Fi محلی.	450ms	تأخیر فرمان اپلیکیشن (Latency)	اتصال و نظارت
فرکانس ارسال داده‌های سنسورها به اپلیکیشن.	0.5Hz (هر ۲ ثانیه)	نرخ به‌روزرسانی داده‌ها	-
رزولوشن 320×240 با نرخ فریم پایدار برای نظارت لحظه‌ای.	QVGA @ ~15fps	کیفیت استریم ویدیو	-

سناریوی شبیه سازی شده: ۲۵٪ مواقع فن/المنت فعال، ۱۰ بار عملکرد سایه بان و ترمز.	≈ 7.5 ساعت	عمر باتری در حالت استفاده متعادل با پاوربانک ۵۰۰۰ میلی آمپر ساعتی	انرژی: مصرف باتری
---	------------	---	-------------------

• سیستم ایمنی (ترمز): محدودیت عملکردی در برابر هزینه

زمان پاسخ حدوداً یک ثانیه ای (950ms) سیستم ترمز، یک محدودیت عملکردی قابل توجه است. این زمان، نتیجه مستقیم انتخاب یک سروو موتور ارزان قیمت و در دسترس (MG996R) بوده و نشان دهنده یک توازن بین هزینه تولید و سطح عملکرد ایمنی در یک نمونه اولیه است. در حالی که این سیستم هدف حداقلی یعنی جلوگیری از شتاب گیری کالسکه رها شده در سطوح شیب دار را برآورده می کند، اما به وضوح برای سناریوهای نیازمند واکنش آتی (مانند جلوگیری از سقوط ناگهانی) ناکارآمد است. تحقیقات آتی باید بر روی استفاده از عملگرهای سریع تر (مانند ترمزهای سلونوئیدی) متمرکز شود، که البته هزینه تمام شده نمونه را به شکل قابل توجهی افزایش خواهد داد.

• سیستم پایش آسایش: کفایت در برابر دقت

استفاده از سنسور DHT11 نمونه دیگری از این توازن است. این سنسور با دقت $\pm 1.8^{\circ}\text{C}$ ، برای کاربردهای نیازمند دقت بسیار بالا و دقیق مناسب نیست. با این حال، در چارچوب این پروژه، هدف، نمایش یک روند کلی دما (Temperature Trend) و جلوگیری از قرار گرفتن کودک در دماهای بالا و پایین بوده است. برای این کاربرد غیر حساس، DHT11 یک انتخاب منطقی و اقتصادی محسوب می شود، هرچند که برای یک محصول تجاری، ارتقا به سنسورهای دقیق تر مانند SHT31 یا BME280 یک ضرورت خواهد بود.

• سیستم نظارت و اتصال: اثبات مفهوم در برابر تجربه کاربری

نرخ به روز رسانی ۲ ثانیه ای داده ها و کیفیت ویدیوی QVGA، محدودیت های ذاتی پلتفرم ESP32-CAM و اولویت دهی به پایداری اتصال بر روی کیفیت بالا را نشان می دهد. این سیستم به عنوان یک اثباتگر مفهوم (Proof of Concept) برای نظارت از راه دور موفق عمل می کند، اما تجربه کاربری آن با سیستم های مانیتورینگ تجاری قابل مقایسه نیست. این سیستم برای نظارت محیطی کلی طراحی شده، نه برای یک سیستم مانیتورینگ پزشکی یا امنیتی با واکنش سریع و آتی.

۴.۲. نتیجه گیری بخش تحلیل

این پژوهش با موفقیت نشان داد که ساخت یک کالسکه هوشمند با قابلیت های چندگانه با استفاده از قطعات ارزان قیمت و در دسترس امکان پذیر است. با این حال، نتایج کمی به وضوح نشان می دهند که توازن مستقیمی بین هزینه و عملکرد وجود دارد. نمونه اولیه ساخته شده، اگرچه به عنوان یک پلتفرم تحقیقاتی و اثبات مفهوم موفق است، اما محدودیت های عملکردی قابل توجهی در بخش های ایمنی و نظارت دارد که باید در تکرارهای آتی طراحی، با پذیرش افزایش هزینه ها، به طور کامل برطرف گردند.

۵. نتیجه گیری و کارهای آینده

۵.۱. نتیجه گیری

این مقاله، فرآیند طراحی، پیاده سازی و ارزیابی یک نمونه اولیه کم هزینه برای کالسه هوشمند کودک مبتنی بر اینترنت اشیاء را تشریح نمود. پژوهش حاضر با موفقیت نشان داد که یکپارچه سازی قابلیت های کلیدی شامل پایش و کنترل خودکار شرایط محیطی، مکانیزم ایمنی فعال، و نظارت از راه دور با استفاده از قطعات الکترونیکی در دسترس و اقتصادی، امکان پذیر است.

نتایج آزمون های عملکردی، کارایی سیستم را در سناریوهای تعریف شده تأیید کرد، اما در عین حال، توازن های مهندسی در یک طراحی نسبتاً کم هزینه را نیز آشکار ساخت. همانطور که در بخش تحلیل نتایج بحث شد، محدودیت هایی مانند زمان پاسخ سیستم ترمز و دقت سنسورهای محیطی، نتیجه مستقیم اولویت دهی به هزینه بر عملکرد در این فاز از پژوهش است. بنابراین، این پروژه به عنوان یک اثباتگر مفهوم تلقی می شود که توانسته است خلاء یکپارچه سازی موجود در پژوهش های پیشین را پر کرده و یک پلتفرم پایه برای توسعه های آتی فراهم کند.

۵.۲. محدودیت های پژوهش و ملاحظات امنیتی

لازم به ذکر است که نسخه فعلی این سامانه به عنوان یک **نمونه اولیه اثباتگر مفهوم** طراحی و پیاده سازی شده است. در این فاز، تمرکز اصلی بر روی صحت سنجی عملکرد ماژول های سخت افزاری، منطق کنترلی و یکپارچگی سیستم بوده است. از این رو، امنیت در لایه شبکه و با تکیه بر پروتکل های استاندارد (WPA2/WPA3) برای کنترل دسترسی به شبکه Wi-Fi تأمین گردیده است.

نویسنده کاملاً واقف است که برای یک محصول قابل اتکا و تجاری، خصوصاً در حوزه های با حساسیت بالای داده های مربوط به کودک، رمزنگاری انتها-به-انتها (End-to-End Encryption) در لایه اپلیکیشن یک ضرورت و غیرقابل چشم پوشی است. عدم پیاده سازی پروتکل هایی نظیر TLS/SSL در این نسخه، یک محدودیت فنی شناخته شده است که می تواند سامانه را در برابر حملات فرد میانی (Man-in-the-Middle) در یک شبکه محلی ناامن، آسیب پذیر سازد. بنابراین، تحقیق و پیاده سازی یک کانال ارتباطی امن به عنوان حیاتی ترین گام در توسعه آتی این پروژه تعریف می گردد و قویاً پیشنهاد می شود که این امر در اولویت اول فاز بعدی توسعه قرار گیرد.

۵.۳. پیشنهادها برای کارهای آینده

با وجود موفقیت نمونه اولیه، مسیرهای متعددی برای توسعه و ارتقای این طرح وجود دارد:

۱. **بهینه سازی مدیریت توان و سخت افزار:** طراحی برد مدار چاپی (PCB) اختصاصی و استفاده از سیستم مدیریت باتری (BMS) پیشرفته به همراه باتری های لیتیومی، می تواند جایگزین پاوربانک شده و پایداری سیستم را افزایش دهد.

۲. **یکپارچه سازی هوش مصنوعی:** با استفاده از یک پردازنده قوی تر، می توان مدل های یادگیری ماشین سبک را برای تشخیص الگوهای گریه نوزاد (مانند تشخیص گرسنگی) پیاده سازی کرد و سیستم را به یک مراقب هوشمند واقعی تبدیل کرد.

۳. افزودن قابلیت‌های حرکتی خودکار: تجهیز چرخ‌ها به موتورهای الکتریکی می‌تواند قابلیت‌هایی نظیر حرکت گهواره‌ای خودکار برای آرام کردن نوزاد یا دستیار حرکت در سربالایی را فراهم آورد.
۴. طراحی صنعتی و تجاری‌سازی: بازنگری کامل طراحی صنعتی سیستم با هدف ادغام بی‌نقص و ارگونومیک تمامی اجزا در بدنه کالسکه برای تبدیل نمونه اولیه به یک محصول نهایی قابل عرضه به بازار.

تقدیر و تشکر

نویسنده از راهنمایی‌ها و حمایت‌های علمی و فنی اساتید گرانقدر و مربیان دلسوز خود، جناب آقایان مهندس محمد رضا ریاحی سامانی، علیرضا علیزاده، عرفان مهربانی، میلاد مرادی بیدهندی، مهدی محمد هاشمی، و سرکار خانم‌ها دکتر تیا عبید، مهندس یاسمین فرهنگی و ویدا کبیری سامانی، همچنین جناب آقای دکتر محمد مهدی احمدی معین، که در مراحل مختلف این پروژه یاریگر بودند، صمیمانه قدردانی می‌نماید.

از هم تیمی هایم آقای آروین واثق، آقای هیراد جعفری، آقای اردوان آقاجانی، آقای علیرضا رستمی و خانم فریناز نوری که در مراحل ساخت و شرکت تیم در مسابقات DIS EXPO و AIIE همراه بودند، تشکر می‌شود.

منابع

- [1] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future generation computer systems, 29(7), 1645-1660.
- [2] World Health Organization. (2018). Injuries and violence: the facts.
- [3] American Academy of Pediatrics. (2021). Sun Safety and Protection.
- [4] S. Yoo, et al. (2019). A Smart Baby Monitoring System with Crying Detection and Sleep Pattern Analysis. IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).
- [5] Cybex. (2022). e-PRIAM Smart Stroller. Retrieved from <https://cybex-online.com/en-us/strollers/epriam>
- [6] C. Chen, et al. (2017). A wearable sensor system for infant health monitoring. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 22(5), 1438-1446.

- [7] A. A. A. E. -L. Abdellah, et al. (2020). IoT-based smart infant incubator for real-time monitoring. Ain Shams Engineering Journal, 11(4), 1147-1158.
- [8] Espressif Systems. (2021). ESP32-WROOM-32E & ESP32-WROOM-32UE Datasheet.
- [9] Flutter.dev. (2022). Flutter Official Documentation. Retrieved from <https://flutter.dev/docs>
- [10] M. A. F. P. M. Adriansyah, A. (2018). Smart baby stroller monitoring system using android. 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT).
- [11] Postolache, O., Pereira, J. D., & Girão, P. S. (2009). Smart sensors for baby monitoring. IEEE instrumentation & measurement magazine, 12(5), 29-35.
- [12] T. D. Le, et al. (2021). An IoT-based System for Real-time Monitoring of Environmental Factors in Smart Cities. IEEE Sensors Journal, 21(24), 27726-27734.