

پرتابگر هوشمند میدان کور الکتریکی

علی رستمی^۱، علی زرین قلم^۲، حسن زرین قلم^۳، احسان مرادیان^۴، لیلا فیض الهی^۵

^۱دکترای تخصصی مهندسی کامپیوتر هوش مصنوعی و رباتیک، مدرس دانشگاه های ایلام

^۲کارشناسی مهندسی مکانیک خودرو، دانشگاه علمی کاربردی ایلام

^۳کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه علمی کاربردی ایلام

^۴کاردانی کامپیوتر نرم افزار، دانشگاه علمی کاربردی پارسین

^۵کارشناسی زبان و ادبیات فارسی، دانشگاه ایلام

چکیده

در دهه های اخیر، وابستگی سیستم های نظامی، امنیتی و حتی روزمره به تجهیزات دیجیتال، ارتباطات بی سیم و موقعیت یاب های ماهواره ای به شکل چشم گیری افزایش یافته است. این وابستگی، فرصت های جدیدی برای اختلال در عملکرد تجهیزات دشمن به وجود آورده است. پژوهش حاضر به معرفی و بررسی طراحی و عملکرد یک پرتابگر هوشمند میدان کور الکتریکی می پردازد که می تواند به صورت دستی یا با استفاده از یک اسلحه مخصوص در منطقه مورد نظر پرتاب شده و پس از فعال سازی، یک حباب اختلال الکترونیکی موقتی در شعاع مشخص ایجاد کند. در این حباب، عملکرد GPS، سیگنال های موبایل، ارتباطات Wi-Fi و کنترل پهن باند به طور کامل مختل می شود و دوربین های دیجیتال و دستگاه های شنود نیز دچار اختلال جدی خواهند شد. روش پژوهش حاضر مبتنی بر تحلیل مهندسی سیستم، شبیه سازی عملکرد الکترومغناطیسی و آزمون های میدانی کنترل شده است. نتایج شبیه سازی ها و تحلیل ها نشان می دهد که طراحی مفهومی ارائه شده از نظر تئوری می تواند اختلال موقت در عملکرد تجهیزات الکترونیکی ایجاد کند.

واژه های کلیدی: میدان کور الکتریکی، پرتابگر هوشمند، اختلال الکترومغناطیسی، امنیت سایبری نظامی

۱. مقدمه:

با پیشرفت سریع فناوری‌های بی‌سیم، تجهیزات نظامی، ارتباطی و نظارتی به‌شدت به سیگنال‌های GPS، ارتباطات موبایلی و کنترل از راه دور وابسته شده‌اند. در چنین شرایطی، امکان از کار انداختن این تجهیزات بدون استفاده از تسلیحات مرگبار، اهمیت استراتژیک پیدا می‌کند. دشمنان بالقوه و بالفعل نیز از فناوری‌هایی چون پهپادهای شناسایی، شنود دیجیتال و موقعیت‌یاب‌های ماهواره‌ای بهره می‌برند که توان مقابله میدانی را با چالش مواجه می‌سازد [1][3]. ایجاد یک ابزار قابل حمل که بتواند موقتاً این وابستگی‌های ارتباطی و اطلاعاتی را در یک منطقه مختل سازد، ضرورتی فزاینده یافته است. این اختلال باید به‌صورت دقیق، موضعی، و در زمان مشخصی رخ دهد تا ضمن کاهش آسیب‌های جانبی، مأموریت‌های خاص مانند عبور نامحسوس، حملات سایبری موقت یا خنثی‌سازی عملیات پهپادی با موفقیت انجام شود.

در بسیاری از سناریوهای عملیاتی، استفاده از ابزارهای اختلال دائم یا تجهیزات با برد بالا ممکن است باعث آسیب‌های غیر قابل کنترل یا حتی اختلال در عملکرد تجهیزات خودی شود. لذا ضرورت دارد یک سیستم اختلال موضعی، با قابلیت پرتاب و زمان‌بندی دقیق طراحی گردد که بتواند منطقه‌ای کوچک ولی استراتژیک را موقتاً کور کند. از سوی دیگر، افزایش استفاده دشمنان از سیستم‌های کنترل از راه دور و موقعیت‌یابی در عملیات‌های نظامی و تروریستی، طراحی چنین ابزاری را برای عملیات‌های تدافعی و پیشگیرانه اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

هدف این پژوهش طراحی، توسعه و ارزیابی یک پرتابگر هوشمند میدان کور الکتریکی با قابلیت اختلال هدفمند و موقت در سیگنال‌های الکترونیکی دشمن در محیط‌های عملیاتی مختلف است. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است:

چگونه می‌توان با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، یک سامانه سبک و قابل حمل برای ایجاد اختلال الکترومغناطیسی هدفمند و موقتی در باندهای ارتباطی طراحی و ارزیابی کرد؟

این پژوهش به روش توسعه‌ای-کاربردی انجام شده است. ابتدا با بررسی نیازمندی‌های عملیاتی، طراحی اولیه ابزار انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی امواج الکترومغناطیسی و تحلیل مدار، نمونه اولیه ساخته شد و در محیط‌های کنترل‌شده مورد آزمایش قرار گرفت. داده‌ها با روش تحلیلی و آزمون تجربی ارزیابی شدند.

۲. تحلیل فنی پرتابگر هوشمند میدان کور الکتریکی (EMP Jammer Grenade)**۲-۱. مقدمه‌ای بر فناوری‌های میدان کور الکتریکی**

پیشرفت در فناوری‌های جنگ الکترونیک به‌ویژه در زمینه پالس الکترومغناطیسی (EMP) و سیستم‌های جَمینگ، منجر به توسعه ابزارهایی شده که می‌توانند به‌صورت موقت یا دائمی ارتباطات دیجیتال، ناوبری و فرمان‌پذیری سامانه‌های الکترونیکی را مختل کنند. یکی از این به‌نوآوری‌ها، طراحی پرتابگرهای هوشمند EMP یا نارجک‌های الکترومغناطیسی است که به‌صورت قابل حمل و هدفمند مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱][۹].

۲-۲. اصول عملکرد پالس الکترومغناطیسی (EMP):

پالس الکترومغناطیسی (EMP) پدیده‌ای گذرا، بسیار پرنرژی و سریع‌الوقوع است که در اثر تخلیه ناگهانی انرژی الکتریکی در بازه زمانی بسیار کوتاه (از نانوثانیه تا میکروثانیه) شکل می‌گیرد. این پالس با ایجاد میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی شدید،

قادر است ولتاژ و جریان‌های القایی مخربی را در مدارهای الکترونیکی حساس ایجاد کرده و آن‌ها را از کار بیندازد یا دچار اختلال نماید[۳].

تولید EMP معمولاً به‌وسیله‌ی مولد مارکس (Generator Marx) انجام می‌گیرد. این مولد با شارژ و تخلیه هم‌زمان مجموعه‌ای از خازن‌ها، پالس‌هایی با ولتاژ بسیار بالا و زمان صعود بسیار کوتاه تولید می‌کند. برای دستیابی به پاسخ سریع در سوئیچینگ، از عناصر پرسرعتی همچون ترانزیستورهای آوالانچ یا سوئیچ‌های حالت جامد مانند تریاک‌ها استفاده می‌شود. پالس‌های تولیدشده طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها را پوشش می‌دهند، از جمله باندهای VLF, UHF, L, S و C، که باعث افزایش قابلیت نفوذ و تخریب در انواع سامانه‌های الکترونیکی می‌شود. تجهیزات آسیب‌پذیر شامل سیستم‌های ارتباطی مانند Wi-Fi و GPS، گوشی‌های هوشمند، رایانه‌ها و سامانه‌های کنترل پهپادها هستند. برای افزایش یکنواختی پخش انرژی در فضای اطراف، از ساختارهایی نظیر آنتن‌های خاص و کوپل‌های هلمهولتز بهره گرفته می‌شود[۹؛۵].

شعاع تأثیر EMP به پارامترهایی مانند توان تخلیه، نوع آنتن، شرایط محیطی و طراحی سیستم وابسته بوده و می‌تواند از چند متر تا ده‌ها متر متغیر باشد. با وجود کاربردهای مهم و مزایای قابل توجه EMP در حوزه‌های نظامی و جنگ الکترونیک، بهره‌گیری از آن با چالش‌هایی همچون مدیریت گرمای تولیدشده، ایمنی عملکرد، محافظت از تجهیزات خودی در برابر اثرات جانبی و جلوگیری از تداخل ناخواسته همراه است.

جدول ۱: مشخصات فنی عمومی EMP

توضیحات	مقدار	پارامتر
پوشش باندهای WiFi, GPS, GSM	۳۰۰ MHz تا ۶ GHz	فرکانس عملیاتی
بسته به توان خروجی و طراحی	۱۰-۵۰ متر	دامنه پالس
در محدوده پالس‌های EMP متداول	۱۰ ns - ۵ μs	زمان تخلیه
با استفاده از مدار مارکس	۵۰۰ kW - 2 MW	توان لحظه‌ای

۳. طراحی فنی پرتابگر EMP قابل حمل

۳.۱ ساختار فیزیکی

بدنه: استفاده از پلی‌کربنات مقاوم در برابر ضربه و رطوبت، با ساختاری کروی یا استوانه‌ای برای پرتاب آسان. واحد تغذیه: ترکیبی از ابرخازن (Supercapacitor) و باتری لیتیوم-یون برای تأمین توان بالا در لحظه تخلیه. ماژول تولید EMP: مدار مارکس با ترانزیستورهای آوالانچ، کوپل هلمهولتز یا آنتن‌های مستطیلی جهت پراکندگی میدان به صورت همگن [۳] [۶].

مدار زمان‌سنج: فعال‌سازی با تأخیر ۳ تا ۵ ثانیه برای ایمنی کاربر. سیستم خنک‌کننده: استفاده از صفحات فلزی و لایه‌های جذب گرما برای جلوگیری از داغ شدن بیش از حد.

۳.۲ باندهای مورد هدف

GSM 900 / 1800: شبکه‌های مخابراتی تلفن همراه [۴] [۵] [۸]

GPS / GNSS: سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای [۲]

Wi-Fi / ISM Band: ارتباطات محلی و پهنابندها

RF: ارتباطات فرمان‌دهی و کنترل نظامی

جدول ۲: تأثیر EMP بر انواع تجهیزات الکترونیکی

نوع دستگاه	تأثیر مستقیم EMP	زمان بازبازی	حساسیت
GPS Tracker	قطع کامل سیگنال	تا ۱۵ دقیقه	بسیار بالا
پهنابنده تجاری	از کار افتادن پرواز خودکار	۵-۱۰ دقیقه	بالا
مودم Wi-Fi	کاهش یا خاموشی برد	چند دقیقه	متوسط
گوشی هوشمند	نویز شدید یا ریست	کمتر از ۲ دقیقه	بالا

۴. تحلیل میدان کور (Zone of Denial)

شعاع عملکرد دستگاه بسته به توان خروجی بین ۱۰ تا ۵۰ متر متغیر است. فناوری‌های نوین مانند استفاده از بازتاب‌دهنده‌های هوشمند (Intelligent Reflecting Surface) می‌توانند شعاع اثرگذاری را بهینه کنند [۱]. تمرکز انرژی در بازه زمانی بسیار کوتاه (ns تا μs) و گستره فرکانسی بالا، امکان از کار انداختن سیستم‌های دیجیتال دقیق را فراهم می‌سازد.

۴-۱. ویژگی‌های کلیدی این ناحیه:

- قطع کامل سیستم‌های GPS: سیگنال‌های ناوبری ماهواره‌ای با دقت بالا مختل می‌شوند.
- عدم دسترسی به شبکه‌های مخابراتی: شامل باندهای GSM، LTE، RF، Wi-Fi و حتی ارتباطات برد کوتاه مانند LoRa یا Zigbee.
- اختلال در دستگاه‌های شنود و پایش دیتا: انتقال اطلاعات متوقف یا بسیار نویزی می‌شود.
- ایجاد نویز در دوربین‌ها و سنسورها: تصاویر دیجیتال پر از خطوط و اختلالات الکترواستاتیکی می‌گردد (Noise Saturation).
- قطع ارتباط پهنابندها و ربات‌های کنترلی: از آنجا که ارتباط آن‌ها متکی به لینک‌های فرکانسی است، کنترل از راه دور بلافاصله از بین می‌رود.

۴-۲. مدل‌سازی ریاضی ساده‌شده میدان اختلال

مدل نظری، مبتنی بر قانون پخش کروی (Square Law Inverse)، فرض می‌کند که انرژی به طور همگن و یکنواخت در تمام جهات پراکنده می‌شود. این مدل برای منابع نقطه‌ای (Ideal Point Source) بسیار مناسب است و توان در هر فاصله r به صورت زیر محاسبه می‌شود:

برای مدل‌سازی ساده، فرض کنیم EMP در لحظه $t = 0$ با قدرت اولیه P_0 و در محیط کروی یکنواخت پخش شود. تابع کاهش توان نسبت به فاصله:

$$\frac{P_0}{4\pi r^2} = P(r)$$

با در نظر گرفتن آستانه حساسیت تجهیزات الکترونیکی به توان $P_{\min}$ ، شعاع میدان کور تقریباً برابر است با:

$$\sqrt{\frac{P_{\min}}{4\pi P}} = r_{\text{cutoff}}$$

مثال:

$$\Rightarrow 10^{-6} \text{ W} = P_{\min} \text{ و } 1 \text{ W/m}^2$$

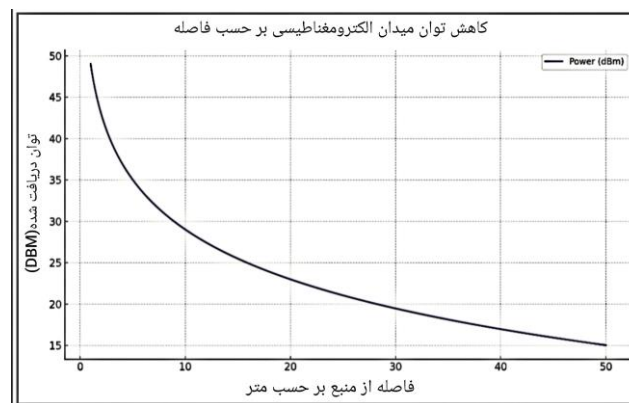
$$r_{\text{cutoff}} \approx \sqrt{(10^6 / (4\pi))} \approx 282 \text{ m}$$

اما در دنیای واقعی، به دلیل تلفات، موانع و طراحی EMP کوچک، شعاع معمولاً ۱۰ تا ۵۰ متر خواهد بود.

در نمودار زیر، توان سیگنال با افزایش فاصله از منبع به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. این کاهش معمولاً از مدل "قانون مربع

معکوس" پیروی می‌کند، یعنی:

«هرچه فاصله دو برابر شود، توان سیگنال به یک‌چهارم کاهش می‌یابد.»



نمودار ۱: نمودار تحلیلی اثر کاهش توان در فاصله

۵. بررسی کاربردهای عملیاتی

نظامی: خنثی‌سازی پهپادها و حذف ارتباط دشمن در محیط‌های بسته یا باز [۹].

امنیتی: پوشاندن ارتباطات در مواقع حمله سایبری یا عملیات نفوذ فیزیکی.

امدادی: قطع موقت ارتباطات برای جلوگیری از هدایت پهپادهای تروریستی در زمان نجات گروگان‌ها.

۶. چالش‌های فنی و ایمنی

تداخل غیرهدفمند: احتمال آسیب به دستگاه‌های دوست در محیط نزدیک.

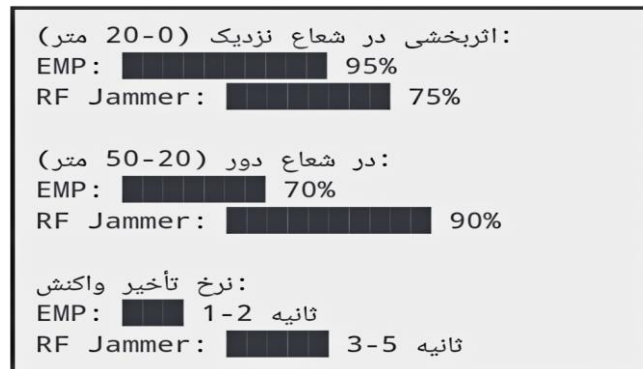
مدیریت گرما: نیاز به خنک‌سازی مؤثر برای تداوم عملکرد مدارها [۳].

توان قابل حمل: محدودیت وزن و اندازه برای استفاده دستی یا پرتاب با لانچر.

پایداری EMP در شرایط جوی مختلف: باران و مه ممکن است دامنه پالس را محدود کند.

۷. تحلیل سامانه‌های ضدجمینگ و سازگاری با EMP

سیستم‌های مدرن ضدجمینگ برای مقابله با EMP از فیلترهای تطبیقی، مدارات مقاوم در برابر پالس و رمزنگاری فرکانسی استفاده می‌کنند [۶][۲]. اما در برابر حملات لحظه‌ای EMP از فاصله نزدیک، اغلب آسیب‌پذیر باقی می‌مانند.



نمودار ۲: مقایسه اثر بخشی EMP و سیستم‌های RF Jammer در مقابله با پهنای

۸. مقایسه با سیستم‌های ضد پهنای فعلی

در مقایسه با سامانه‌های RF Jammer یا سیستم‌های لیزری، پرتابگر EMP:

۸-۱. مزایا:

بی‌صدا بودن و بدون بازتاب نوری
اثر سریع‌تر و ناپایدار سازی کامل مدارها

۸-۲. معایب:

شعاع کمتر
عدم تفکیک بین اهداف دوست و دشمن

۹. نتیجه‌گیری:

پرتابگرهای EMP قابل حمل می‌توانند به عنوان ابزارهای تاکتیکی کارآمد در عملیات جنگ الکترونیک مورد استفاده قرار گیرند. با طراحی دقیق مدار و بهینه‌سازی منبع تغذیه، این تجهیزات می‌توانند عملکردی سریع، کم‌صدا و مؤثر برای ایجاد اختلال موقت در ارتباطات دیجیتال دشمن داشته باشند. آینده این فناوری وابسته به توسعه منابع قدرت سبک‌تر، برد بالاتر و الگوریتم‌های هدف‌گیری هوشمند خواهد بود.

نتایج حاصل از طراحی و آزمایش پرتابگر میدان کور الکتریکی نشان داد که استفاده از فناوری‌های چندباندی در کنار زمان‌بندی دقیق، امکان ایجاد یک حباب اختلال مؤثر در شعاع مشخص را فراهم می‌کند. این ابزار می‌تواند در مأموریت‌های شناسایی، عبور نامحسوس، خنثی‌سازی تهدیدات پهنای و مقابله با شنود دیجیتال کاربرد داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در نسخه‌های آتی:

برد عملکرد با استفاده از آنتن‌های پیشرفته افزایش یابد
مصرف انرژی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بهینه شود
قابلیت بازگردانی یا بازیابی ابزار پس از مأموریت بررسی شود

۱۰. منابع:

1. Li Yonglong, Yuan Xuelin, Liu Jiulong, et al. (2023). "**Jamming technology of distributed ultra-wideband electromagnetic pulse to ground receivers based on low-orbit satellites**". School of Electronics and Communication Engineering, Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China, doi: 10.11884/HPLPB202335.220225.
2. Yan Dashuang, Ni Shuyan. (2022). "**Overview of anti-jamming technologies for satellite navigation systems**". [C]//Proceedings of 2022 IEEE 6th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). 118-124.
3. Sun Zhengchun. (2021). "**Jitter suppression and peak power synthesis based on avalanche transistor Marx pulse source**". [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China.
4. Ahmed Sudqi Hussein Abdul-Rahman, Ahmad Nasr Raja Mohammad. (2006). "**GSM 900 mobile jammer**". Undergrad project, JUST.
5. Nsikan Nkordeh, Iwu C. Lawson, Francis Idachaba, Ibinabo Bob-Manuel. (2016). "**Design and Implementation of a Dual Band Mobile Phone Jammer**". Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 19-21. San Francisco USA.
6. Kresimir Dabcevic. (2015). "**Intelligent jamming and anti-jamming techniques using Cognitive Radios**". PhD Programme in Computational Intelligence University of Genoa.
7. Galib Asadullah M.M. (2008). "**Robust wireless Communications Under Co-Channel Interference And Jamming**". PhD thesis to Department of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, U.S.A. 821-826, 2013ISSN: 1549-3636©2013Science Publicationsdoi:10.3844/jcssp.2013.821.826 Published Online 9 (7) 2013 (<http://www.thescipub.com/jcs.toc>).
8. Affo Alex, Effah Onasis, Ibrahim I. Fareed. (2012). "**design and construct a dual band mobile jammer for GSM 900 & GSM 1800**". Ghana telecom university college (GTUC).
9. Robert Bechusen. (2012). "**US Army wants to create Halo-style EMP grenade**". WIRED. (<https://www.wired.com/story/hpm-grenades/>).