

تقریب تابع احتمال اصابت یک سیستم کنترل آتش با استفاده از نگرش تکامل همکارانه در شبکه‌های عصبی

علی کارساز

دانشجوی دکتری برق - کنترل دانشگاه فردوسی مشهد
a_karsaz1@yahoo.com

حمید خالوزاده

استادیار گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد
h_khaloozadeh@um.ac.ir

۱-مقدمه

موشک مورد مطالعه در این تحقیق، به دسته خاصی از موشکها به نام شلیک کن - فراموش کن^۱ تعلق دارد. بنابر این پس از شلیک موشک از ایستگاه مربوطه هیچ گونه دسترسی و کنترلی از خارج بر موشک وجود نداشته و تنها قبل از پرواز با توجه به وضعیت هدف مانند برد، سمت، کورس و سرعت آن، وضعیت و شرایط عوامل محیطی مانند باد، فشار، رطوبت و غیره، موقعیت پرواز حامل (که موشک بر روی آن قرار دارد) مانند رول^۲، پیچ^۳، یاو^۴، پس از حل یکسری از معادلات موسوم به معادلات اصابت پارامترهایی در موشک تنظیم می شود، این پارامترها عبارتند از T_m ، ψ_m ، رول و پیچ (شکل ۱). پارامتر T_m به مدت زمانی پس از شلیک موشک اشاره دارد که جستجوگر تلویزیونی^۵ موشک روشن شده و به جستجوی هدف می پردازد. پس از پیدا کردن آن در صورت وجود اختلاف در زاویه سمت نسبت به هدف، به طرف هدف تغییر جهت می دهد، تا هدف را در مقابل خود ببیند. ψ_m سمت تصحیحی موشک می باشد.

چکیده: در این مقاله، پس از معرفی مقدماتی سیستم کنترل آتش و بیان روش آنالیز خطای آن، به روشی جدید در استخراج فرمول احتمال اصابت به کمک تئوری شبکه‌های عصبی پرداخته می شود. روشهای مختلف آنالیز خطای یک سیستم چند ورودی چند خروجی معرفی و با توجه به پیچیدگی معادلات حاکم بر سیستم از روش مونت کارلو که مبتنی بر داده‌های آماری ورودی و خروجی می باشد، برای استخراج داده ها استفاده می شود. این داده ها نشان دهنده چگونگی تاثیر عوامل ایجاد خطا در احتمال اصابت نهائی موشک در سناریوها مختلف شلیک می باشند و به عنوان مجموعه آموزش شبکه عصبی به کار می روند.

با استفاده از روشهای تکاملی همکارانه و الگوریتم ژنتیک شبکه مورد نظر بهینه شده که نتایج بدست آمده در مقایسه با روشهای رگرسیونی برداری بهبود قابل ملاحظه ای را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: آنالیز خطای موشک، سیستم کنترل آتش، احتمال اصابت FCS، شبکه عصبی، هم تکاملی همکارانه، الگوریتم ژنتیک.

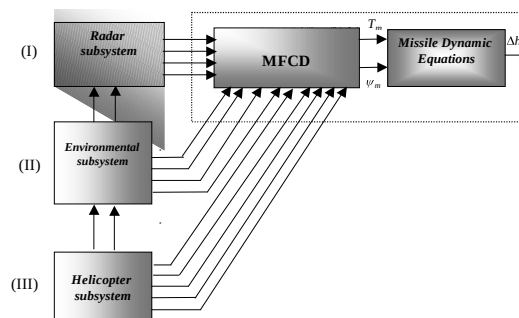
¹ - Fire & Forget

² - Roll

³ - Pitch

⁴ - Yaw

⁵ - TV Seeker



شکل ۱: سیستم کنترل آتش هواپایه

همانگونه که اشاره شد و در شکل (۱) دیده می شود، پارامترهای اندازه گیری در سه زیر سیستم عمده به همراه خطاهای هر کدام از این عوامل در محاسبات مدیرکنترل آتش موشک ($MFCD$)^۶ وارد می شوند.

این مقاله پس از معرفی لیست منابع خطا در یک سیستم کنترل آتش^۷، به روش به کار رفته در آنالیز خطا که بر اساس شبیه سازی اتفاقی^۸ و یا مونت کارلو^۹ است، پرداخته می شود، در نهایت نتایج شبیه سازیها میزان و چگونگی تاثیر خطاهای اندازه گیری پارامترهای ورودی $MFCD$ بر احتمال اصابت نهائی، محاسبه زمان روشن شدن جستجوگر تلویزیونی موشک و زاویه سمت داده شده به موشک تعیین کرده، روش حداقل مربعات برای تخمین و فرمول بندی احتمال اصابت بررسی و عدم کارآمدی این روش در مجموعه دادهای متنوع ورودی خروجی نشان داده می شود. نتایج حاصل از بکارگیری شبکههای عصبی به عنوان روشی قدرتمند در تخمینهای غیر خطی، با ابعاد زیاد و با قابلیت^{۱۰} تعمیم معرفی شده، با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک ساختار بهینه مربوط به آن استخراج می شود.

۲- شناسایی منابع خطای مجموعه FCS

خطاها از حیث ماهیت به دسته بندیهای سیستماتیک و تصادفی، و از حیث عوامل ایجاد کننده به خطاهای تجهیزات،

اغتشاشات کنترل نشده و خطاهای دینامیکی تقسیم بندی می شوند [1,2,9]. FCS در این تحلیل به سه زیر سیستم اصلی تقسیم می گردد. این سه زیر سیستم اصلی ۱- رادار و تشخیص پارامترهای هدف ۲- زیر سیستم عوامل محیطی ۳- زیر سیستم هلیکوپتر و سنسورهای اندازه گیری پارامترهای آن، در یک سیستم کنترل آتش هواپایه می تواند وجود داشته باشد. کلیه خطاهایی که در یک FCS نوعی وجود دارد، را می توان به شکل زیر بیان نمود:

الف- زیر سیستم رادار

کارهای متعددی برای شناسایی دقیق پارامترهای خطا در رادار انجام شده است. و نیز شبیه سازیهای متفاوتی از هدف را معرفی کرده و در نهایت به یک رتبه بندی از عوامل ایجاد خطا در رادار دست یافته اند [3][11].

- ۱- خطای سنجش سمت هدف
- ۲- خطای سنجش برد هدف
- ۳- خطای نصب پایه آنتن رادار
- ۴- خطای تنظیم صفر آنتن رادار
- ۵- خطای تراز سطح نصب رادار
- ۶- خطای سنجش سرعت هدف
- ۷- خطای سنجش کورس هدف

لازم به ذکر است که در کاتالوگهای تجاری رادار برخی از خطاها مانند خطاهای سنجش برد و سمت ذکر شده و سایر خطا مانند موارد (۶،۷) وابسته به الگوریتمهای محاسباتی رادار قابل استخراج هستند. دسته دیگری از خطاها مانند موارد (۳،۴،۵) در خطاهای برد و سمت رادار دیده نشده است.

ب- زیر سیستم عوامل محیطی

- ۸- خطای سنجش دما توسط دماسنج
 - ۹- خطای سنجش فشار توسط فشارسنج
 - ۱۰- خطای سنجش مقدار باد یا همان سرعت وزش باد
 - ۱۱- خطای سنجش جهت باد
- پ- زیر سیستم هلیکوپتر و یا حامل

- ۱۲- خطاهای اندازه گیری یا پرواز توسط $AHRS$
- ۱۳- خطاهای اندازه گیری رول پرواز توسط $AHRS$
- ۱۴- خطاهای اندازه گیری پیچ پرواز توسط $AHRS$

⁶ -Missile Fire Control Director

⁷ - Fire Control System (FCS)

⁸ - Stochastic Simulation

⁹ - Monte Carlo Simulation

¹⁰ - Generalization

۱۵- خطای اندازه گیری سرعت توسط *Doppler*

۱۶- خطای اندازه گیری ارتفاع حامل توسط *Altimeter*

۱۷- کلیه خطاهای نصب لانچر بر روی حامل

۱۸- خطای هم راستا نبودن ریل پرتاب

از این میزان خطای ذکر شده در بالا تنها یازده مورد به عنوان ورودی به *MFCD* بوده و لذا سایر موارد اثر خود را در این یازده مورد نشان می دهند.

۳- آنالیز خطا و احتمال اصابت

طراحان سیستم دفاع موشکی ناوگانهای دریائی، برای تقویت مکانیزم دفاع موشکی خود، در صدد تعیین خطاهای موشک و احتمال آشکار سازی جستجوگر موشک^{۱۱}، به عنوان دو عامل موثر بر احتمال اصابت نهائی موشک هستند. برای دست یابی به این منظور خطاهای موشک، جستجوگر موشک و رادار *FCS* را با واریانسها و میانگینهای مستقل و به شکل گوسی فرض نموده و با بهره گیری از مدلهای آماری میزان خطاهای مجاز رادار *FCS* را با توجه به سناریوهای مختلف موشکهای ضد کشتی تعیین می نمایند[4]. بهینه سازی سیستم کنترل آتش بویژه در ایستگاههای هوائی که در آن سرعت پرتاب موشک و مانور هدف بسیار زیاد می باشد اهمیت فوق العاده دارد. به عنوان مثال در دفاع ضد هوائی تنظیم تاخیر زمانی انفجار موشک با توجه به فواصل مختلف قرار گیری موشک و هدف و زاویه حمله آن در لحظه برخورد بسیار اهمیت دارد. با استفاده از سناریوهای مختلف حمله، فواصل مختلف قرارگیری هدف و موشک و سایر پارامترهای مختلف و با توجه به احتمالات تخریب در هر وضعیت که شبیه سازی فرایند بدست می آید، می توان تاخیر زمانی انفجار موشک را با توجه به فواصل هدف و موشک و با استفاده از روشهای بهینه سازی تکاملی، بهینه سازی نموده تا ماکزیمم احتمال تخریب حاصل گردد [5].

در تعیین احتمال اصابت نهائی موشک به دو روش تحلیلی^{۱۲} و دیگری روش شبیه سازی اتفاقی^{۱۳} می توان عمل نمود. با توجه به اینکه معادلات اصابت معادلات پیچیده و غیر خطی

هستند و معادلات دینامیکی موشک نیز پیچیدگی خاص خود را دارند، لذا برای تحلیل تاثیرات این عوامل بر پارامترهای محاسبه شونده و تنظیم شونده در موشک از یک روش تحلیلی صریح نمی توان بهره برد. روش شبیه سازی اتفاقی و یا روش شبیه سازی مونت کارلو که مبتنی بر ورودیهای اتفاقی و تصادفی می باشد، بهترین روش بررسی و تحلیل در این موارد می باشد. این روش که مبتنی بر تکرار زیاد است، در مورد برنامه آنالیز خطا صورت پذیرفته است [7-8]. به این ترتیب که اطلاعات از سنسورهای مختلف که در سیستم کنترل آتش دخیلند، به کامپیوتر مرکزی ارسال شده و پارامترهای تنظیم شونده در موشک محاسبه شده و در موشک قرار می گیرند، سپس موشک شلیک شده و به میزان محاسبه شده تغییر سمت داده و در زمان محاسبه شده جستجوگر توزیونی موشک روشن می شود و این فرآیند برای نقاط مختلف با توجه به مدلسازی صورت گرفته در مورد هر خطا تکرار می گردد. برنامه آنالیز شامل دو مرحله عمده می باشد: اولین مرحله آنالیز تاثیرات خطاهای *FCS* بر خروجیهای *MFCD* و در دومین مرحله تحلیل دو پارامتر خروجی *MFCD* بر احتمال اصابت انجام می گیرد. تمامی خطاهای ذکر شده در بالا در یازده پارامتر ورودی به *MFCD* خود را نشان می دهند. برای تولید ورودیهای متغیر و تصادفی از معیار میانگین حداقل مربعات^{۱۴} (*mse*) استفاده می شود[9].

(1)
$$mse = E\{(X_i - X)^2\}$$
 که در آن X_i پارامتر مورد نظر در تکرار i ام است و X مقدار این پارامتر است وقتی که کلیه خطاها صفر باشد. اگر فرمول بالا را به شکل زیر بنویسیم خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} E(X_i - \hat{\mu}) &= 0 \\ E\{(X_i - \hat{\mu} + \hat{\mu} - X)^2\} &= E\{(X_i - \hat{\mu})^2\} + E\{(X - \hat{\mu})^2\} \\ &+ 2E\{(X_i - \hat{\mu})(\hat{\mu} - X)\} \\ mse = E\{(X_i - X)^2\} &= E\{(X_i - \hat{\mu})^2\} + E\{(X - \hat{\mu})^2\} \\ &= Var(X_i) + bias^2(X_i) \end{aligned} \quad (2)$$

¹¹ - Seeker Detection Probability

¹² - Analytical Technique

¹³ - Stochastic Simulation

¹⁴ - Mean Square Error

در این معیار هر دو پارامتر انحراف از میانگین و واریانس دخالت دارد. تابع احتمال اصابت نسبت به پارامتری که mse بالاتری را دارد حساسیت کمتری خواهد داشت. تعریف:

$$IF_{ij} = \frac{mse_j}{\delta_i} \quad (3)$$

IF_{ij} : فاکتور اهمیت المان I ام ورودی $MFC D$ بر J خروجی $MFC D$

بر اساس این تعریف میزان تاثیر پارامترهای خطادار ورودی بر خروجی $MFC D$ زمانی که فقط خطای پارامتر مورد نظر اعمال مگردد، و سایر پارامترها بدون خطا هستند را مشخص می کند. در این بخش خروجیهای برنامه برای اجراها و تکرارهای زیاد، mse_{T_m} ، mse_{ψ_m} بدست می آید. در این مرحله می توان میزان اثر هر خطا در دو پارامتر مورد نظر را بدست آورد. واضح است که:

$$IF_{xj} > IF_{yj}$$

تاثیر پارامتر x بیشتر از تاثیر پارامتر y می باشد.

$$\theta: R^{11} \rightarrow R^2$$

$$\begin{bmatrix} mse_{T_m} \\ mse_{\psi_m} \end{bmatrix} = \theta_{2 \times 11} [\delta_1 \dots \delta_{11}]^T \quad (4)$$

دوم، با توجه به اینکه احتمال اصابت نهایی تابعی از پارامترهای دوگانه تنظیم شونده در موشک (T_m, ψ_m) است، روش مونت کارلو با اعمال ورودیهای اتفاقی برای این پارامترها اجرا می شود. تعریف:

$$IF_{hj} = \frac{\Delta PH}{mse_j} \quad (5)$$

$$\Phi: R^2 \rightarrow R^1$$

$$\Delta PH = \Phi_{1 \times 2} \begin{bmatrix} mse_{T_m} \\ mse_{\psi_m} \end{bmatrix} \quad (6)$$

برای محاسبه کاهش احتمال اصابت Δhp از معیار احتمال خطای دایره ای با شعاعی متناسب با ابعاد هدف که در بسیاری از مراجع استفاده می شود، می توان بهره برد [10]. به این ترتیب کاهش احتمال اصابت برابر تقسیم تعداد عدم برخورد های صورت گرفته به تعداد کل تکرارهای برنامه:

$$\Delta PH = \frac{N_i}{N} \quad (7)$$

با تلفیق دو مرحله ذکر شده می توان به فرمول بندی کلی سیستم دست یافت.

$$\Delta PH = \Phi_{1 \times 2} \begin{bmatrix} mse_{T_m} \\ mse_{\psi_m} \end{bmatrix} = \Phi_{1 \times 2} * \theta_{2 \times 11} [\delta_1 \dots \delta_{11}]^T$$

$$= \begin{bmatrix} IF_{hT_m} & IF_{h\psi_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IF_{1T} & IF_{2T} & \dots & IF_{11T} \\ IF_{1\psi} & IF_{2\psi} & \dots & IF_{11\psi} \end{bmatrix} [\delta_1 \dots \delta_{11}]^T \quad (8)$$

$$HP = 100 - \Delta HP \quad (9)$$

تعریف:

$$PIF_i = \frac{IF_{hT} * IF_{iT} + IF_{h\psi} * IF_{i\psi}}{\sum_{i=1}^{11} PIF_i} * 100 \quad (10)$$

درصد اهمیت هر یک از پارامترها که بر احتمال اصابت تاثیر می گذارد توسط این فرمول بدست می آید.

۵- نتایج شبیه سازی

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل، و پس از بدست آوردن اطلاعات مختلف از سناریوهای متعدد هدف و موشک، هدف بدست آوردن یک فرمول واحد بر حسب ورودیهای مختلف برای احتمال اصابت است. به این ترتیب نیاز به استفاده از روشهای رگرسیونی در تخمین تابع وجود دارد. یکی از روشهای متداول روش حداقل مربعات بوده که با بکار بردن معیار حداقل مربعات و با داشتن مقادیر مختلف از انحراف معیارهای خطاهای یازده گانه و بدست آوردن mse_{T_m} ، mse_{ψ_m} های ناشی از آنها می توان از فرمول زیر ضرایب بهینه را در هر سناریو بدست آورد:

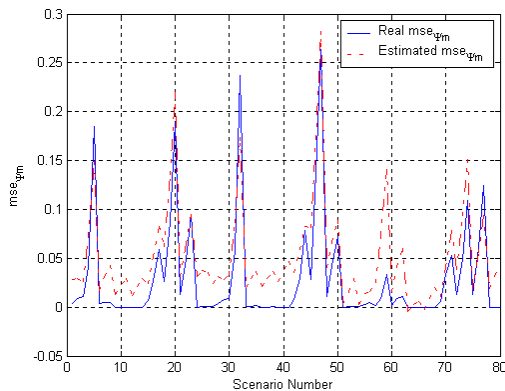
$$\theta^* = (\phi^T \cdot \phi)^{-1} \cdot \phi \cdot y$$

θ^* : ضرایب بهینه

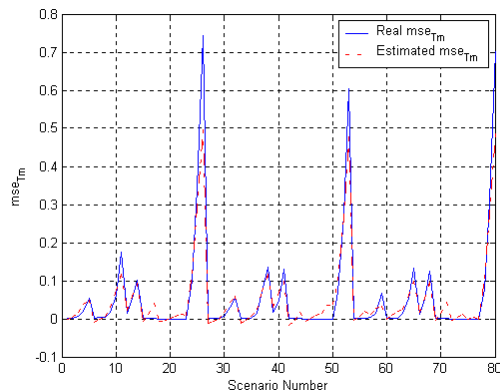
ϕ : ماتریس ورودیهای هر ردیف شامل $[\sigma_1 \dots \sigma_{11}]$

y : خروجیهای (Δh) متناظر با هر ردیف ورودی

ماتریس ورودیها به ازای هر خطا با حداقل سه مقدار مختلف اجرا شده، به این ترتیب تعداد ردیفهای ماتریس ϕ حداقل ۳۳ خواهد بود. با استفاده از دستور $lsqcurvefit$ در محیط $Matlab$ برای یک سناریوی دلخواه، نتایج حاصل در تخمین ضرایب ϕ ، θ حتی با درجات پائین نیز بسیار خوب است. برای بدست آوردن فرمول کلی که در کل سناریوها بتواند جواب دهد، با توجه به اینکه چهار سناریو برد هدف، زاویه دید هدف، سرعت باد و جهت باد مهمترین ستاریوها موجود هستند، و نیز به ازای این چهار عامل اصلی حدود حداقل ۲۰۰ حالت مختلف در نظر گرفته شده است ابعاد داده های ورودی جهت استخراج فرمول

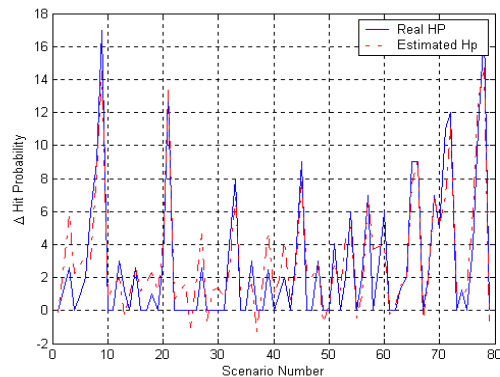


شکل ۴: تخمین mse_{ψ_q} با استفاده از شبکه عصبی (MLP)



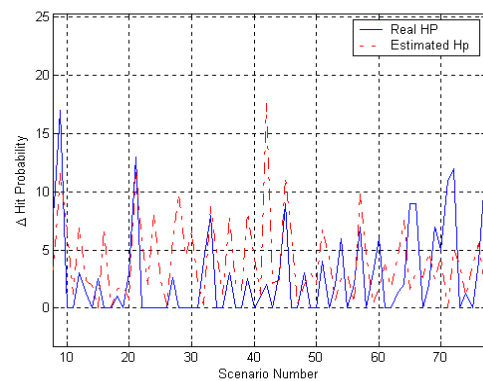
شکل ۵: تخمین mse_{T_m} با استفاده از شبکه عصبی (MLP)

با استفاده از روشهای تکامل همکارانه می توان ساختار و وزنهای شبکه عصبی را به شکل هم زمان بهینه سازی نمود. شکل (۶) نتایج حاصل از این روش را در تخمین کاهش احتمال اصابت نشان می دهد.



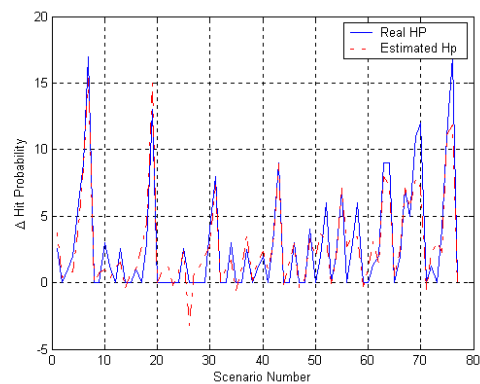
شکل ۶: تخمین ΔHP با استفاده از روش شبکه عصبی تکاملی

حداقل دارای ابعاد 200×33 یعنی ۶۶۰۰ بردار ورودی که هر کدام دارای $11+4$ پارامتر هستند می باشند. این تخمین به تخمین ماتریسهای ϕ, θ به شکل هم زمان در فرمول (۸) مربوط می شود. لذا همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می شود روشهای حداقل مربعات حتی با افزایش درجه ضرائب تخمین کارایی برای تخمین تابع با پیچیدگی بالا ندارند. نتایج برای تخمین mse_{T_m}, mse_{ψ_m} نیز با توجه به تنوع سناریوها چندان رضایت بخش نیست.



شکل ۲: تخمین ΔHP به روش حداقل مربعات از مرتبه چهار

شکل (۳) نتایج حاصله برای تخمین کاهش احتمال اصابت با استفاده از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP) را نشان می دهد. شکل (۵.۴) نتایج حاصل از تخمین mse_{T_m}, mse_{ψ_m} (یا تخمین ضرائب θ در فرمول (۴)) را با استفاده از روش شبکه عصبی (MLP) در شبکه عصبی، از روی خطاهای یازده گانه و سناریوی شلیک در کل ۶۶۰۰ وضعیت مختلف نشان می دهد.



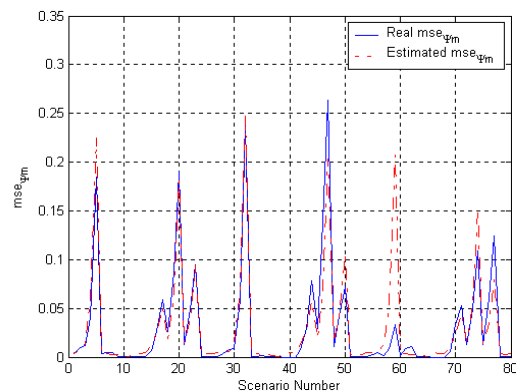
شکل ۳: تخمین ΔHP با استفاده از شبکه عصبی

از روش مونت کارلو مطالعه صورت پذیرفت. پس از استخراج داده‌ها و با توجه به پیچیدگی ارتباط میان آنها و تنوع سناریوهای درگیر در یک عملیات شلیک، از روش شبکه عصبی برای تخمین فرمول احتمال اصابت استفاده شد. در پایان و با استفاده از روشهای تکاملی و الگوریتم ژنتیک شبکه مورد نظر بهینه شده، که نتایج بدست آمده، نسبت به روشهای متداول رگرسیونی تا ۳ برابر بهبود را نشان می دهد.

مراجع

- [1] Papoulis, A. M., Probability, Random Variables and Stochastic Processes, McGraw-Hill (1965).
- [2] جعفر نوبری حیرانی، تحلیل و آنالیز خطا و بهینه سازی سیستم هدایت کنترل یک موشک زمین به هوا، رساله دکتری رشته کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۹.
- [3] حمید خالوزاده، علی کارساز، آنالیز منابع خطای رادار و پارامترهای تشخیص هدف با استفاده از روش مونت کارلو، دوازدهمین کنفرانس مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۸۳.
- [4] Li-Wei Fong, Jhu-Shi Dai, Cheng-Chiian Liu, "Analysis and Design of Shipboard Defense Missile System via Statistical Error Approach" System Development Center, Republic of China.
- [5] Henry o. Nyongesa, "Generation of Time-Delay Algorithm for Anti-air Missiles Using Genetic Programming" School of computing and Management Sciences, Sheffield S1 1WB, 2000.
- [6] Larry N. Lillard and Howard, "Minimum Variance Missile Launch and Impact Estimation by Fusing Observations From Multiple Sensors" Ball Aerospace and Technologies Corporation, 1997 IEEE.
- [7] محسن رضائیان، قابلیت اطمینان سیستمهای مهندسی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۹.
- [8] Hammersley, I. M., Handscomb, D. C., Monte Carlo Methods, Wiley, 1964.
- [9] F. C. Schweppe, Uncertain Dynamic Systems, Prentice-Hall, 1973.
- [10] Computation of Circular Error Probability (CEP) Integral. IEEE Transaction on aerospace and electronic systems VOL, 29, NO. 3 July 1993.
- [11] He, Lixing, "Location Error Analysis and a Tracking Algorithm in a Bistatic Systems", IEEE 1992 National University of defense Tech.

شکل (۷) نتایج حاصل از تخمین mse_{φ_m} (یا تخمین ضرائب θ در فرمول (۴) که جهت اختصار فقط یک مولفه آن آمده است) را با استفاده از روش تکامل همکارانه در شبکه عصبی، از روی خطاهای یازده گانه و سناریوی شلیک نشان می دهد.



شکل ۷: تخمین mse_{φ_q} با استفاده از شبکه عصبی تکاملی

جدول (۱)، میزان خطاها تخمین ضرائب متناسب با mse_{φ_m} , mse_{T_m} و Δhp را در سه روش متفاوت نشان می دهد. مشخصات روشهای بکار رفته در تخمین $\Delta H P$ در جدول آمده است.

جدول ۱: مقایسه خطاهای روشهای مختلف شبیه سازی

Errors				
Method	specification	mse_{φ_m}	mse_{T_m}	$\Delta H P$
LS	4 order polynomial for each parameters	0.0721	0.0699	5.47
MLP	max-epoch=20000 lr=0.01 layer1-neurons=50 layer2-neurons=1	0.0389	0.0384	2.27
CO-CO-MLP	max-epoch=12700 lr=0.008 layer1-neurons=80 layer2-neurons=1	0.0333	0.0355	1.80

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، بر روی سهم هر یک از خطاهای سیستم کنترل آتش در پائین آوردن احتمال اصابت نهائی موشک، با استفاده

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.