

مقایسه عدد مولد پایه فازی و غیرفازی در یک مدل اپیدمی برای انتشار ویروس در شبکه‌های کامپیوتری

عباس اکرمی، محمود پارسامانesh

دانشگاه زابل، دانشکده علوم پایه، گروه ریاضی

چکیده

در این مقاله یک مدل ریاضی اپیدمی فازی برای انتشار ویروسها در یک شبکه کامپیوتری بررسی شده است. مدل اپیدمی کلاسیک و نوع فازی آن توصیف شده و مقایسه‌ای بین عدد مولد کلاسیک و نوع فازی آن انجام گرفته است. همچنین استراتژی کنترل اپیدمی ویروسها در یک شبکه کامپیوتری تجزیه و تحلیل شده است.

۱ مقدمه

رشد فناوری اینترنت و همزمان نیاز به سیستم دفاع سایبری مناسب برای محافظت از اطلاعات ارزشمند ذخیره شده در سیستم و انتشار آنها، باعث بروز چالشهای جدی شده است. بدین منظور مطالعه و درک انواع مختلف ویروسها و ساخت مدل‌های ریاضی برای بررسی رفتار آنها ضروری است. از نظر متخصصان شبکه‌های کامپیوتری، هجوم ویروسها در یک شبکه کامپیوتری به دلیل میزان آسیب بر امنیت شبکه و عملکرد آن دارای بالاترین میزان ریسک است. رفتار ویروسها در یک شبکه همانند بیماری عفونی در یک جامعه است و می‌توان از مدل‌های ریاضی اپیدمیولوژیکی-اپیدمیولوژی شاخه‌ای از علوم پزشکی است که بر وقوع، انتقال، و کنترل بیماری‌های عفونی می‌پردازد- برای انتشار بیماری‌ها، به منظور مطالعه انتشار ویروسها در شبکه

Mathematics Subject Classification (2010): 03E72, **Email:** mahmood.parsamanesh@gmail.com.

عبارات و کلمات کلیدی: منطق فازی، انتشار ویروس، آستانه اپیدمی، عدد مولد پایه

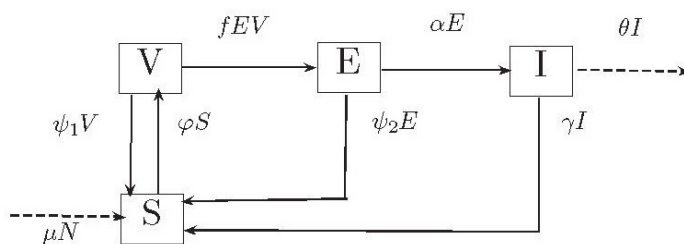
۱۳۹۸ (انجمن سیستم‌های فازی ایران)

بهره برد و دینامیک آن را تجزیه و تحلیل کرد. از این رو برخی پژوهشگران با اقتباس از مدل‌های اپیدمیک، به مطالعه انتشار ویروسها در شبکه پرداخته‌اند ([۶]، [۷]، [۱۷] و [۲۵]). مدل‌های دینامیکی برای انتشار ویروسهای مخرب با توجه به جنبه‌های توپولوژیکی مسئله در [۱۷]، [۱۸] و [۱۹] ارائه شده‌اند. یک نوع روش برای رویه‌های انتشار ایمیل در [۲۳] بکار رفته است. همچنین اصلاح مدل‌های اپیدمیک برای پیشگیری از عفونت با استفاده از مفهوم آستانه اپیدمیولوژیکی [۴] بررسی شده است. اخیراً تحقیقات بیشتری [۱۱]، [۱۴] و [۲۲] به مطالعه مدل‌های ترکیبی انتشار ویروس و اقدامات ضد ویروس یعنی ایمنی در برابر آن و قرنطینه ویروس [۲] و [۲۱] پرداخته‌اند. از آنجا که مدل‌سازی اپیدمی مربوط به شبکه‌های کامپیوتری به سیستم‌های غیرخطی منجر می‌شود، ضرورت به کارگیری منطق فازی - که ذاتاً به بررسی چنین مواردی می‌پردازد - احساس می‌شود. از جمله مطالعاتی که به ارائه و مطالعه مدل‌های اپیدمی فازی برای انتقال ویروسها در شبکه پرداخته‌اند، می‌توان به کارهای انجام شده در [۱]، [۱۲]، [۱۵] و [۱۶] اشاره کرد. اگرچه مدل‌های اپیدمی فازی برای بیماریهای عفونی انسان به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته اما برنامه‌های کاربردی و مقالات پژوهشی کمتری با استفاده از منطق فازی به بررسی انتقال ویروسها در شبکه پرداخته‌اند [۲۰] و در این مقاله از مفهوم مجموعه فازی برای بیان مدل استفاده می‌کنیم و به بررسی آن برای انتشار ویروس در شبکه می‌پردازیم.

۲ توصیف مدل اپیدمیک کلاسیک و نوع فازی آن

در مدل‌سازی ریاضی بیماری‌های عفونی، جامعه تحت مطالعه بسته به وضعیت‌های مختلف بیماری به چند گروه جمعیتی تقسیم می‌شود. افراد در معرض ابتلا (آسیب پذیر)، افرادی که عفونی شده‌اند ولی هنوز قادر به انتقال عفونت به افراد دیگر نیستند - در دوره کمون به سر می‌برند-، افراد عفونی که در اثر تماس موفق قادر به انتقال عفونت می‌باشند، افرادی که به واسطه واکسیناسیون، قرنطینه، یا بهبود پس از ابتلا دارای مصونیت (موقت یا دائمی) در مواجهه با بیماری هستند، و نمونه‌هایی متداول از چنین گروه‌های جمعیتی هستند. از این رو به این مدل‌ها، مدل‌های چند قسمتی گفته می‌شود. در گام نخست ارتباط بین قسمتهای (گروه‌های جمعیتی) مختلف با در نظر گرفتن نرخ جابجایی - میزان انتقال‌ها در واحد زمان- از هر قسمت به قسمت دیگر، کاملاً

مشخص می‌گردد و سپس میزان تغییرات در واحد زمان به صورت معادلات ریاضی - معمولاً توسط معادلات دیفرانسیل- بیان می‌شود. با توجه به شباهت‌های موجود بین جوامع انسانی و شبکه‌های کامپیوتری منطقی به نظر می‌رسد که بتوان از مدلسازی بیماری‌های عفونی برای تحلیل رفتار شبکه‌های کامپیوتری نیز بهره برد. تماس کامپیوترها با یکدیگر از طریق شبکه (همانند تماس بین افراد یک جامعه)، امکان مختل و معیوب شدن کامپیوترها با وجود انواع ویروس‌ها و تهدیدات شبکه (همانند بیمار شدن افراد به واسطه عفونت)، ایمنی بخشیدن به کامپیوترها از طریق نصب آنتی ویروس (همانند واکسیناسیون افراد)، قطع ارتباط شبکه بین کامپیوترهای سالم و در معرض اختلال با کامپیوترهای درگیر شده (ایزوله کردن افراد عفونی)، سرویس و راه اندازی مجدد کامپیوترهای معیوب شده و وصل مجدد آنها به شبکه (ریکاوری افراد بیمار) از جمله شباهتهای موجود بین جامعه انسانی و شبکه کامپیوتری می‌باشند. اساما^۱ و همکارانش [۲۴] مدل اپیدمیک کلاسیک در شکل ۱ را برای پیشگیری و دفاع در برابر حملات ویروسها بررسی کرده‌اند. فرضیات زیر را در این مدل در نظر می‌گیریم.



شکل ۱: مدل اپیدمیک کلاسیک

• تعداد کل گروه عدد ثابت N است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N = V(t) + E(t) + I(t) + S(t)$$

که $V(t)$ تعداد گروههای آسیب‌پذیر، $E(t)$ تعداد گروههای در معرض آسیب، $I(t)$ تعداد گروههای عفونی و $S(t)$ تعداد گروههای ایمن در زمان t می‌باشند.

¹Ossama

- درابتدا، همه گروهها در برابر حمله آسیب پذیرند. تعداد کل گروههای قرنطینه شده بعد از رعایت اصول یا بروزرسانی مسایل امنیتی در مرحله ایمن قرار می‌گیرند.
- مدل یک شبکه بسته است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma = \{(V, E, I, S) \in R^4 | V + E + I + S = N\}. \quad (1)$$

روی داد عفونت را به صورت $\beta \frac{V(t)}{N} I(t)$ تعریف می‌کنیم. β تعداد رویدادهایی که در واحد زمان رخ می‌دهند را نشان می‌دهد. انتقال گروهها از مرحله V به مرحله E بر حسب Δt به صورت زیر است:

$$\Delta VE = \beta \frac{V(t)}{N} I(t) \Delta t. \quad (2)$$

با توجه به [۲۴] دستگاه معادلات دیفرانسیل زیر برای مدل بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -fEV - \psi_1 V + \varphi S, \\ \frac{dE}{dt} &= fEV - (\alpha + \psi_2)E, \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha E - (\gamma + \theta)I, \\ \frac{dS}{dt} &= \mu N + \psi_1 V + \psi_2 E + \gamma I - \varphi S. \end{aligned} \quad (3)$$

که هرکدام از پارامترها در جدول ۱ توضیح داده شده‌اند.

مدل اپیدمیک فازی

زمان یک حمله ویروس، معلولیت در مرحله عفونی اتفاق می‌افتد. لذا، گروههایی که توسط یک ویروس احاطه شده‌اند قادر به انجام درست کار نیستند. فرض کنید $\beta = \beta(x)$ احتمال انتقال در ملاقات بین یک گره V و یک گره E با تعدادی بزرگ از ویروسهای x باشد. برای به دست آوردن

جدول ۱: پارامترها و توضیحات مدل اپیدمیک

N	تعداد کل کامپیوترهای شبکه
V(t)	تعداد کامپیوترهای در معرض آسیب در لحظه t
E(t)	تعداد کامپیوترها در دوره کمون در لحظه t
I(t)	تعداد کامپیوترهای عفونی شده در لحظه t
S(t)	تعداد کامپیوترهای ایمن در لحظه t
β	نرخ تماس
α	نرخ جابجایی از E به I
ψ_1	نرخ جابجایی از V به S
ψ_2	نرخ جابجایی از E به S
γ	نرخ جابجایی از I به S
φ	نرخ جابجایی از S به V
θ	نرخ ارکار افتادگی کامپیوترها
μ	نرخ جایگزینی کامپیوترها

تابع عضویت فرض می‌کنیم شانس انتقال در یک گره با تعداد ویروسهای کم قابل چشم‌پوشی است. اگر x_{min} حداقل تعداد ویروسها برای انتقال بیماری و x_M تعداد خاص از ویروسها باشند که در آن احتمال انتقال حداکثر مقدار و برابر یک است. آنگاه تابع عضویت β عبارت است از

$$\beta(x) = \begin{cases} 0, & x < x_{min}; \\ \frac{x-x_{min}}{x_M-x_{min}}, & x_{min} < x < x_M; \\ 1, & x_M < x < x_{max}. \end{cases}$$

برای به دست آوردن تابع عضویت α فرض می‌کنیم شانس انتقال در یک گره با تعداد ویروسهای کم قابل چشم‌پوشی است. اگر x_{min} حداقل تعداد ویروسها برای انتقال بیماری و x_M تعداد خاص از ویروسها باشند که در آن احتمال انتقال حداکثر مقدار و برابر یک است. آنگاه تابع

عضویت عبارت است از

$$\beta(x) = \begin{cases} 0, & x < x_{min}; \\ \frac{x-x_{min}}{x_M-x_{min}}, & x_{min} < x < x_M; \\ 1, & x_M < x < x_{max}. \end{cases}$$

اکنون ψ_1 ، نرخ ریکاوری گره V ، تابع از بارگذاری ویروس است لذا یک تابع نزولی بر حسب x می‌باشد و تابع عضویت آن به صورت زیر است:

$$\psi_1(x) = \frac{\psi_{1^0} - 1}{x_{max}} x + 1, \quad (4)$$

که ψ_{1^0} پایین‌ترین نرخ ریکاوری از مرحله E به S است. همچنین تابع عضویت ψ_2 ، نرخ ریکاوری گره E ، یک تابع نزولی است که دارای تابع عضویت زیر است:

$$\psi_2(x) = \frac{\psi_{2^0} - 1}{x_{max}} x + 1, \quad (5)$$

که ψ_{2^0} پایین‌ترین نرخ ریکاوری از مرحله E به S است. بعلاوه، γ ، نرخ ریکاوری گره عفونی، تابعی نزولی از بارگذاری ویروس است و تابع عضویت آن عبارت است از

$$\gamma(x) = \frac{\gamma^0 - 1}{x_{max}} x + 1, \quad (6)$$

که γ^0 پایین‌ترین نرخ ریکاوری از مرحله عفونی به مرحله ایمنی است. گره‌های ایمن ممکن است دوباره آسیب‌پذیر شوند. هر چه میزان استفاده ما از دستگاهها و سرویس‌های اینترنتی بیشتر باشد ریسک آسیب‌پذیری بعد از ریکاوری بالاتر است. اگر ϕ نرخ

آسیب‌پذیری بعد از ریکاوری باشد یک تابع صعودی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(x) = 1 - \frac{1 - \phi_0}{x_{max}} x, \quad (7)$$

که $0 < \phi_0 < 1$ پایین‌ترین نرخ آسیب‌پذیری بعد از ریکاوری است. تعداد ویروس‌ها در گره‌های مختلف از شبکه کامپیوتری متفاوت است. لذا x را می‌توانیم یک عدد فازی در نظر بگیریم. از اینرو تابع عضویت به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\rho(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x - \bar{x}|}{\delta}, & x \in [\bar{x} - \delta, \bar{x} + \delta]; \\ 0, & otherwise. \end{cases} \quad (8)$$

۳ تحلیل پایداری مدل اپیدمیک فازی

با توجه به دستگاه (۱) داریم:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \phi N - fEV - (\psi_1 + \phi)V - \phi(E + I), \\ \frac{dE}{dt} &= fEV - (\alpha + \psi_2)E, \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha E - (\gamma + \theta). \end{aligned} \quad (9)$$

برای به دست آوردن نقاط تعادل قرار می‌دهیم:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= 0, \\ \frac{dE}{dt} &= 0, \\ \frac{dI}{dt} &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

با حل دستگاه فوق نقاط تعادل دستگاه به دست می‌آیند [۲۰]. برای $\frac{dE}{dt} = 0$ نقطه تعادل در $E^* = 0$ یا $E^* > 0$ و $v^* = \frac{\alpha + \psi_2}{\beta\alpha} N$ اتفاق می‌افتد. برای $E^* = 0$ نقطه تعادل بدون ویروس به صورت زیر است:

$$\pi_{wf} = (v_1^*, E_1^*, I_1^*) = \left(\frac{\phi}{\psi_1 + \phi} N, 0, 0 \right) \quad (11)$$

برای $E^* > 0$ نقطه تعادل اپیدمی-ویروس با در نظر گرفتن بار ویروس به صورت زیر است:

$$\pi_{we} = (v_1^*, E_1^*, I_1^*) = \left(\frac{\alpha(x) + \psi_2(x)}{\beta(x)\alpha(x)} N, \frac{\phi(x) - \frac{\alpha(x) + \psi_2(x)}{\beta(x)\alpha(x)} (\psi_1(x) - \phi(x))}{\alpha(x) + \psi_2(x) + \phi(x) \left(1 + \frac{\alpha(x)}{\gamma(x) + \theta} \right)}, \frac{\alpha(x)}{\gamma(x) + \theta} E_1^* \right) \quad (12)$$

اگر قرار دهیم

$$f_1(x) = \alpha(x)\phi(x) - \frac{\alpha(x) + \psi_2(x)}{\beta(x)} (\psi_1(x) - \phi(x)), \quad (13)$$

$$f_2(x) = (\gamma(x) + \theta) \left(\alpha(x) + \psi_2(x) + \phi(x) \left(1 + \frac{\alpha(x)}{\gamma(x) + \theta} \right) \right). \quad (14)$$

آنگاه جواب معادله $f_1(x)N = f_2(x)$ یک نقطه انشعاب خواهد بود. یعنی جایی که تغییر وضعیت اتفاق می‌افتد.

۴ عدد مولد پایه

عدد مولد پایه از طریق تجزیه و تحلیل پایداری نقطه تعادل اولیه به دست می‌آید و از لحاظ ریاضی نقش یک مقدار آستانه را برای دینامیک سیستم و بیماری بازی می‌کند. برای مدل انتشار کلاسیک

این عدد به صورت زیر است [۲۰]:

$$R_0 = \frac{\alpha\beta\phi}{(\psi_1 + \phi)(\alpha + \psi_2)},$$

یعنی اگر $R_0 < 1$ ، ویروسی در نقطه تعادل وجود ندارد و اگر $R_0 > 1$ ، نقطه تعادل ویروسی است. اگر قرار دهیم

$$\alpha = \alpha(x), \beta = \beta(x), \phi = \phi(x), \psi_1 = \psi_1(x), \psi_2 = \psi_2(x)$$

آنگاه:

$$R_0(x) = \frac{\alpha(x)\beta(x)\phi(x)}{(\psi_1(x) + \phi(x))(\alpha(x) + \psi_2(x))}.$$

می‌توانیم شرط $max R_0(x) < 1$ را برای کنترل انتشار ویروس در نظر بگیریم، اما بهتر است یک میانگین از R_0 را لحاظ کنیم. برای این منظور توزیع چگالی ویروس را به صورت $\rho(x)$ که یک عدد فازی مثلثی داده شده است در نظر می‌گیریم. آنگاه عدد مولد پایه فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_0^f = \frac{1}{\gamma_0} \mathbf{FEV} [\gamma_0 R_0(x),] \quad (15)$$

که \mathbf{FEV} امید ریاضی فازی است. ممکن است $R_0 > 1$ اما برای اینکه مقدار R_0^f خوش تعریف باشد باید رابطه $\gamma_0 R_0(x) \leq 1$ برقرار باشد. برای محاسبه $\mathbf{FEV} [\gamma_0 R_0(x)]$ ، با تعریف یک اندازه فازی μ و استفاده از اندازه احتمال داریم:

$$\mu(A) = \sup_{x \in A} \rho(x), \quad A \subset R,$$

یعنی میزان عفونت یک گروه بوسیله گرهی که دارای عفونت ماکسیمال است نشان داده می‌شود. با فرض اینکه مقدار ویروسها به سه دسته کم، متوسط و زیاد تقسیم شده‌اند مقدار R_0^f را تخمین

می‌زنیم. مجموعه فازی داده شده با تابع عضویت $\rho(x)$ برای حالات مختلف عبارتند از:

$$(i) \text{ کم، اگر } \bar{x} + \delta < x_{min}$$

$$(ii) \text{ متوسط، اگر } \bar{x} - \delta > x_{min} \text{ و } \bar{x} + \delta \leq x_M$$

$$(iii) \text{ زیاد، اگر } \bar{x} - \delta \geq x_M$$

حالت (i): کاملاً مشابه زمانی است که $R_o^f < 1$.

حالت (ii): چون $R_o(x)$ یک تابع صعودی از x است آنگاه

$$H(\lambda) = [x', x_{max}] = \sup_{x' \leq x \leq x_{max}} \rho(x)$$

که $H(\lambda) = \mu\{I(x, t) \geq \lambda\}$ و $\mathbf{FEV}[I(x, t)]$ نقطه ثابت $H(\lambda)$ و x' جواب معادله $\gamma \cdot R_o(x) = \lambda$ از طرفی

$$H(\lambda) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \lambda \leq \gamma \cdot R_o(\bar{x}); \\ \rho(x'), & \gamma \cdot R_o(\bar{x}) \leq \lambda \leq \gamma \cdot R_o(\bar{x} + \delta); \\ 0, & \gamma \cdot R_o(\bar{x} + \delta) < \lambda \leq 1. \end{cases}$$

برای $0 < \delta$ ، H یک تابع پیوسته صعودی است و در این حالت $\mathbf{FEV}[\gamma \cdot R_o(x)]$ برابر نقطه ثابت H است. بنابراین داریم:

$$R_o(\bar{x}) < R_o^f < R_o(\bar{x} + \delta).$$

حالت (iii): بنا به حالت قبل داریم

$$\frac{1}{A(\bar{x})} < R_o^f < \frac{1}{A(\bar{x} + \delta)}$$

که

$$A(\bar{x}) = (\psi_1(\bar{x}) + \phi(\bar{x})) (\alpha(\bar{x}) + \psi_2(\bar{x}))$$

چون $R_o^f > 1$ لذا هجوم ویروسها به شبکه کامپیوتری آغاز می‌شود. حال به مقایسه عدد مولد پایه کلاسیک و نوع فازی آن می‌پردازیم. در هر سه حالت بالا داریم:

$$R_o(\bar{x}) < R_o^f < R_o(\bar{x} + \delta)$$

چون $R_o(\bar{x})$ یک تابع پیوسته است لذا بنا به قضیه مقدار میانگین فقط یک \hat{x} وجود دارد که $\bar{x} < \hat{x} < \bar{x} + \delta$ به طوریکه

$$R_o^f = R_o(\hat{x}) > R_o(\bar{x}).$$

یعنی مقدار ویروس \hat{x} موجود است به طوریکه عدد مولد کلاسیک و عدد مولد فازی با هم یکسانند. بعلاوه عدد مولد فازی بزرگتر از یا مساوی عدد مولد پایه کلاسیک برای حالت مقدار متوسط ویروسها می‌باشد.

۵ نتیجه‌گیری

این مقاله یک مدل اپیدمی ریاضی برای انتشار فازی ویروسها در یک شبکه کامپیوتری را تشریح می‌کند. پارامترهایی که برای توسعه دستگاه معادلات بکار رفته‌اند اعداد فازی‌اند که دارای یک تابع عضویت وابسته به x هستند. عدد مولد پایه فازی با استفاده از عدد مولد پایه کلاسیک بدست آمده است. به کمک قضیه مقدار میانگین نتیجه گرفتیم که تعدادی از گره‌ها در شبکه کامپیوتری وجود دارند که این دو عدد بر هم منطبق می‌شوند. همچنین سه حالت استراتژی کنترل اپیدمی بررسی شد. زمانی که مقدار عفونت: کم، ویروس در شبکه وجود ندارد. متوسط، ویروس ممکن است به شبکه حمله کند و زیاد، که در این حالت هجوم ویروس به شبکه اتفاق می‌افتد. لذا اهمیت منطق فازی را می‌توان در انتشار ویروسها دید. تحلیل فازی فرایندهای اپیدمیک روی شبکه‌های بزرگ

میتواند راه را برای مطالعه مدل‌های واقعی‌تر هموار سازد.

مراجع

- [1] Barros, L.C., Bassanezi, R.C., Leite (2003) The SI epidemiological models with a fuzzy transmission. *Computers and Mathematics with Applications*, 45, 1619-1628.
- [2] Chen, T., Jamil, N., (2006) Effectiveness of quarantine in worm epidemic. *in: IEEE International Conference on Communications 2006, IEEE, 2006*, 2142-2147.
- [3] Datta, S., Wang, H., (2005) The effectiveness of vaccinations on the spread of email-borne computer virus. *in: IEEE CCECE/CCGEL, IEEE, 2005*, 219-223.
- [4] Draief, M., Ganesh, A., Massouili, L., (2008) Thresholds for virus spread on network. *The Annals of Applied Probability*, 359-369.
- [5] Forest, S., Hofmeyr, S., Somayaji, A., Longstaff, T., (1994) Self-nonsel discrimination in a computer. *in: Proceeding of IEEE Symposium on Computer Security and Privacy*, 202-212.
- [6] Gelenbe, E., (2007) Dealing with software viruses: a biological paradigm. *Inform. Secur. Tech. Rep.*, 12 242-250.
- [7] Gelenbe, E., (2005) Keeping viruses under control. *in: Computer and Information Sciences ISCIS 2005, 20th International Symposium, in: Lecturer Notes in Computer Science, vol. 3733, Springer.*

- [8] Gelenbe, E., Kaptan, V., Wang, Y., (2004) Biological metaphors for agent behavior. *in: Computer and Information SciencesISCIS 2004, 19th International Symposium, in: Lecturer Notes in Computer Science, vol. 3280, Springer-Verlag, 2004, 667-675.*
- [9] Keeling, M.J., Eames, K.T.D., (2005) Network and epidemic models. *Journal of the Royal Society Interface, 2, 295-307.*
- [10] Kephart, J.O., White, S.R., Chess, D.M., (1993) Computers and epidemiology. *IEEE Spectr., 20-26.*
- [11] Kephart, J.O., (1995) A biologically inspired immune system for computers, *in: Proceeding of International Joint Conference on Artificial Intelligence.*
- [12] Klir, G.J., Yuan, B., (1995) Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, *Prentice Hall, Upper Saddle River,.*
- [13] Kumar, M.S., Veeramani, C., (2014) Fuzzy VEISV Epidemic Propagation Modeling for Network Worm Attack. *Computational Intelligence, Cyber Security and Computational Models, 293-303.*
- [14] Madar, N., et. al., (2004) Immunization and epidemic dynamics in complex networks. *The European Physical Journal E, 38, 269-276.*
- [15] Massad, E., Burattini, M.N., Ortega, N.R.S., (1999) Fuzzy logic and measles vaccination: designing a control strategy. *International Journal of Epidemiology, 28, 550-557.*
- [16] Massad, E., et al., (2008) Fuzzy Logic in Action: Applications and Epidemiology and Beyond. *in: STUDEFUZZ, vol. 232, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.*

- [17] Mishra, B.K., Saini, D.K., SEIRS epidemic model with delay for transmission of malicious objects in computer network. *Applied Mathematics and Computation*, 188, 1476-1482.
- [18] Mishra, B.K., Saini, D.K., Mathematical models on computer viruses. *Applied Mathematics and Computation*, 187, 929-936.
- [19] Mishra, B.K., Saini, D.K., Fixed period of temporary immunity after run of anti-malicious software on computer nodes. *Applied Mathematics and Computation*, 190, 1207-1212.
- [20] Mishra, B.K., Samir, K.P., (2010) Fuzzy Epidemic model for the Transmission of Worms in Computer Network. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 11, 4335-4331.
- [21] Moore, D., et al., (2003) Internet quarantine: requirements for containing self-propagating code. in: *Proceeding of IEEE INFOCOM*.
- [22] May, R.M., Lioud, A.L., (2001) Infection dynamics on scale-free networks. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 64, 1-3.
- [23] Newman, M.E.J., Forrest, S., Balthrop, J., (2002) Email networks and the spread of computer virus. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 66, 1-4.
- [24] Ossama, A., et al., (2012) Stability analysis of VEISV Propagation Modeling for Network Worm Attack. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2751-2761.
- [25] Piqueira, J.R.C., Cesar, F.B., (2008) Dynamic models for computer virus propagation. *Mathematical Problems in Engineering*.