Applied Criminology Research
پژوهش های جرم شناسی کاربردی
دوره ۲ / شماره ۴/ تابستان ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷
صفحه: ۷۷ الی ۱۰۰

Volume 2, Issue 4, Summer 2024
Received: 2024/06/11
Date of Acceptance: 2024/09/17
Pages: 77-100

Article Type: **Research**
نوع مقاله: پژوهشی

System: qacr.ir doi: 10.22034/AQCR.2025.2048687.1044

Mathematical modeling approach to crime and prediction of criminological patterns

Mohadeseh Ghavamipour Sereshkeh[1]✉, Amirreza Mahmodi[2]

Abstract

Field and Aims: This research examine advanced applications of mathematical methods in criminology and sheds light on their role in analyzing and modeling complex social phenomena such as crime. The main goal is to analyze the capabilities of mathematical models in identifying crime patterns, predicting future trends, and evaluating the effectiveness of preventive strategies.

Method: The research was conducted in a theoretical and descriptive-analytical manner, using a literature review and analysis of mathematical models. Mathematical approaches including dynamical systems, network analysis, and game theory were examined, and empirical data were used to adapt these models.

Findings and Conclusions: The findings show that mathematical models are able to identify spatiotemporal patterns of crime, such as hot spots and revictimization, and predict future trends. They also provide tools for simulating criminal behavior and evaluating the effects of preventive policies. The potential of these methods in designing crime reduction strategies and developing operational tools is emphasized.

Keyword: Criminology, Mmodeling, Mathematics, Crime Patterns.

❋Citation (APA): Ghavamipour, M.; Mahmodi, A. (2024). Mathematical modeling approach to crime and prediction of criminological patterns. *Applied criminology research*, 2(4), 77-100.
https://qacr.ir/article_721048.html?lang=en

1. PhD Candidate in Criminal Law and Criminology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. (Author). Email: mohadesehghavamipour@liau.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Law, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. Email: amirreza.mahmodi@gmail.com

دوره ۲ / شماره ۴/ تابستان ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷
صفحه: ۷۷ الی ۱۰۰

پژوهش های جرم شناسی کاربردی
Applied Criminology Research

Volume 2, Issue 4, Summer 2024
Received: 2024/06/11
Date of Acceptance: 2024/09/17
Pages: 77-100

نوع مقاله: پژوهشی
Article Type: **Research**

سامانه: qacr.ir doi: 10.22034/AQCR.2025.2048687.1044

رویکرد مدل‌های ریاضی به جرم و پیش‌بینی الگوهای جرم‌شناسی

محدثه قوامی پور سرشکه[۱]✉، امیررضا محمودی[۲]

چکیده

زمینه و هدف: این مقاله به بررسی کاربردهای پیشرفته روش‌های ریاضی در علم جرم‌شناسی پرداخته و نقش آن‌ها را در تحلیل و مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده اجتماعی همچون جرم روشن می‌سازد. هدف اصلی، تحلیل توانمندی‌های مدل‌های ریاضی در شناسایی الگوهای جرم، پیش‌بینی روندهای آینده و ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های پیشگیرانه است.

روش: پژوهش حاضر به‌صورت نظری و توصیفی-تحلیلی انجام شده و از مرور اسناد و تحلیل مدل‌های ریاضی استفاده شده است. رویکردهای ریاضی شامل سیستم‌های دینامیکی، تحلیل شبکه و نظریه‌بازی‌ها بررسی‌شده و داده‌های تجربی برای تطبیق این مدل‌ها به کار گرفته شده‌اند.

یافته‌ها و نتایج: یافته‌ها نشان می‌دهند که مدل‌های ریاضی قادرند الگوهای فضایی-زمانی جرم مانند نقاط داغ و قربانی‌سازی مجدد را شناسایی کرده و روندهای آتی را پیش‌بینی کنند. همچنین، این مدل‌ها ابزارهایی برای شبیه‌سازی رفتارهای جنایی و ارزیابی اثرات سیاست‌های پیشگیرانه فراهم می‌کنند. پتانسیل این روش‌ها در طراحی استراتژی‌های کاهش جرم و توسعه ابزارهای عملیاتی مورد تأکید قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: جرم‌شناسی، مدل‌سازی، ریاضیات، الگوهای جرم.

❋ استناددهی (APA): قوامی پور سرشکه، محدثه؛ محمودی، امیررضا. (۱۴۰۳). رویکرد مدل‌های ریاضی به جرم و پیش‌بینی الگوهای جرم‌شناسی. *پژوهش‌های جرم‌شناسی کاربردی*، ۲(۴)، ۱۰۰-۷۷.
https://qacr.ir/article_721048.html

۱. دانشجوی دکتری حقوق کیفری و جرم‌شناسی،واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: mohadesehghavamipour@liau.ac.ir

۲. استادیار گروه حقوق، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: amirreza.mahmodi@gmail.com

مقدمه

جرم‌شناسی، به‌عنوان دانشی میان‌رشته‌ای، در پی آن است که با تحلیل علمی رفتارهای انسانی پیچیده، درکی عمیق‌تر از علل و پیامدهای وقوع جرم ارائه دهد. این تلاش علمی در بستر پدیده‌هایی نظیر جرم که سرشت چندبُعدی، غیرخطی و تعاملات پیچیده دارند، همواره با چالش‌های قابل‌توجهی روبه‌رو بوده است. چنین پدیده‌هایی که در دل بسترهای اجتماعی رخ می‌دهند، تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل محیطی، روان‌شناختی و ساختاری قرار دارند. در این میان، ورود ریاضیات به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل سیستم‌های پیچیده، فرصتی بی‌نظیر برای جرم‌شناسان فراهم کرده است. ویژگی‌های جغرافیایی مانند تاریکی، تراکم ساختمان‌ها یا نبود نظارت اجتماعی می‌تواند نرخ جرائم را افزایش دهد. از سوی دیگر، عوامل اجتماعی- اقتصادی مثل نرخ بیکاری، فقر و وضعیت مسکن نقش مهمی در تشدید جرائم ایفا می‌کنند. مدل‌های ریاضی این داده‌ها را برای شناسایی مناطق پرخطر تجزیه‌وتحلیل می‌کنند.

با بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی، نه‌تنها می‌توان رفتارهای اجتماعی را کمّی‌سازی و پیش‌بینی کرد، بلکه امکان ارائه راهکارهای عملی برای کاهش جرم نیز میسر می‌شود. ریاضیات زبانی جهانی است که با دقت و شفافیت خود، قابلیت بالایی در ساده‌سازی و تحلیل پیچیدگی‌های اجتماعی دارد. ابزارهایی همچون سیستم‌های دینامیکی، تحلیل شبکه و نظریه بازی‌ها، امکانات متنوعی را برای مطالعه و پیش‌بینی الگوهای جرم‌شناختی فراهم می‌کنند. این مقاله با تأکید بر این توانمندی‌ها، به دنبال پاسخ‌گویی به پرسش‌هایی است که اهمیت نظری و عملی برای جرم‌شناسی دارند؛ از جمله این پرسش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌های ریاضی، الگوهای فضایی- زمانی جرم را شناسایی کرد؟
- روش‌های تحلیل شبکه تا چه حد می‌توانند به درک روابط میان عوامل مؤثر در وقوع جرم کمک کنند؟

با توجه به سوالاتی که در این تحقیق بدنبال پاسخ گویی بدان‌ها هستیم، به نظر می‌رسد مدل‌های ریاضی قابلیت شناسایی الگوهای قضایی و زمانی جرم را دارد و تحلیل شبکه به میزان قابل‌توجهی می‌تواند در درک عوامل موثر در وقوع جرم نقش‌آفرینی کند. اهداف این پژوهش شامل تحلیل توانمندی‌های مدل‌های ریاضی در درک الگوهای جرم، بررسی کاربرد این روش‌ها در پیش‌بینی روندهای آینده و ارزیابی اثربخشی آن‌ها در طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه است. روش تحقیق بر پایه بررسی اسناد، تحلیل نظری مدل‌های ریاضی و تطبیق

آن‌ها با داده‌های تجربی استوار است. به‌ویژه، این پژوهش تلاش می‌کند تا از نمونه‌های موفق در این زمینه بهره گیرد و چارچوبی علمی برای به‌کارگیری این ابزارها در مسائل واقعی ارائه دهد. نوع روش تحقیق در این پژوهش، نظری و روش تحقیق در آن به صورت توصیفی تحلیلی می‌باشد و همچنین، روش گردآوری اطلاعات در آن به صورت کتابخانه‌ای است.

در رابطه با موضوع، تحقیقات اندکی در حقوق داخلی صورت گرفته است و به نوعی، خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط دانشمندان خارجی می‌باشد؛ به عنوان مثال، در مقاله‌ای که در فصلنامه دیدگاه‌های حقوق قضایی توسط محمد وزین کریمیان با عنوان تحلیل رابطه ریاضی با حقوق: با تمرکز بر منابع حق و تکلیف و نظریه عدالت به رشته تحریر درآمده است، نویسنده تلاش کرده است وجود رابطه بین ریاضی و حقوق را با ارایه مثال‌هایی اثبات نماید و به این نتیجه برسد که علم ریاضی قابلیت کافی برای تشخیص، تنقیح و تنظیم منابع حق و تکلیف و برای توسعه و پیشرفت اصول، قواعد و نظریه‌های حقوقی را دارد (کریمیان، ۱۴۰۱: ۲۹).

مدل‌های ریاضی نقش مهمی در پیش‌بینی الگوهای جرم‌شناسی دارند و با تحلیل داده‌ها و شناسایی روابط پنهان در آن‌ها، ابزارهای کارآمدی برای مدیریت جرائم ارائه می‌دهند. این مدل‌ها، با ترکیب دانش آمار، یادگیری ماشین و نظریه‌های جرم‌شناسی، به نیروهای امنیتی و محققان امکان می‌دهند تا الگوهای جرائم را شناسایی و برای مقابله با آن‌ها برنامه‌ریزی کنند. در ادامه، با بررسی ساختار علمی و تخصصی این مدل‌ها، کاربردها و چالش‌های آن‌ها را تحلیل می‌کنیم. در نهایت، این مقاله بر این باور است که ریاضیات می‌تواند نقش مهمی در پیوند میان نظریه و عمل در علم جرم‌شناسی ایفا کند. بهره‌گیری از این ابزار نه‌تنها به پیشرفت دانش نظری جرم‌شناسی کمک می‌کند، بلکه با تسهیل طراحی و ارزیابی راهبردهای پیشگیرانه، تأثیری عملی بر کاهش جرم خواهد داشت. امید است که این پژوهش با ارائه بینش‌هایی تازه، به توسعه ابزارهای کاربردی و قابل‌اتکاتر در این حوزه کمک کند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پدیده‌های جنایی به دلیل ماهیت چندبُعدی و غیرخطی خود همواره چالش‌های قابل‌توجهی برای تحلیل و مدل‌سازی ایجاد کرده‌اند. استفاده از ریاضیات به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل سیستم‌های پیچیده در جرم‌شناسی، امکان مدل‌سازی دقیق رفتارهای جنایی و پیش‌بینی روندهای آتی را فراهم می‌کند. مدل‌های ریاضی با ارائه چارچوبی کمی و سیستماتیک، نقش

مهمی در شناسایی و تحلیل الگوهای فضایی-زمانی جرم و درک روابط پیچیده میان عوامل مؤثر بر وقوع جرم دارند.

در این میان، سیستم‌های دینامیکی به‌منظور تحلیل تغییرات و روندهای زمانی جرم، تحلیل شبکه‌ها برای بررسی ساختارها و روابط اجتماعی مجرمان و نظریه‌بازی‌ها برای شبیه‌سازی تصمیم‌گیری‌های مرتبط با رفتارهای جنایی و استراتژی‌های پیشگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ابزارها در تحلیل پدیده‌هایی مانند شکل‌گیری نقاط داغ جرم، الگوهای قربانی‌سازی مجدد و تأثیر عوامل محیطی و اجتماعی بر وقوع جرم بسیار کارآمد هستند.

مطالعات داخلی در زمینه کاربرد ریاضیات در علم جرم‌شناسی محدود بوده و بیشتر بر تحلیل داده‌ها و کاربردهای آماری متمرکز بوده‌اند. کریمیان (۱۴۰۱) در پژوهشی با تمرکز بر رابطه ریاضیات و حقوق، نشان داد که ریاضیات می‌تواند ابزار قدرتمندی برای تحلیل، تنظیم، و تنقیح قوانین حقوقی باشد. وی بیان می‌کند که ریاضیات قابلیت کاربرد در توسعه اصول و قواعد حقوقی و حتی جرم‌شناسی را داراست. این پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای، منطق حقوقی و تحلیل آماری بهره برده و اثربخشی علم ریاضی را در منابع حق و تکلیف (مانند قانون) مورد تأکید قرار داده است. پژوهش کریمیان نتیجه می‌گیرد که استفاده از مدل‌های ریاضی در حقوق می‌تواند به توسعه و پیشرفت دکترین حقوقی کمک کرده و کارایی منابع حقوقی را در تحقق عدالت پویا افزایش دهد.

با وجود این که تمرکز این پژوهش بیشتر بر رابطه ریاضیات و حقوق بوده است، کاربردهای آن در جرم‌شناسی نیز قابل‌توجه است. این مطالعه به‌صورت غیرمستقیم بیان می‌کند که ریاضیات می‌تواند با تحلیل سیستماتیک و تنظیم منابع، در درک بهتر عوامل مؤثر بر وقوع جرم و پیش‌بینی الگوهای جنایی نقش داشته باشد.

در سطح بین‌المللی، مطالعات گسترده‌ای در رابطه با استفاده از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی انجام شده است؛ برای مثال:

- شورت[1] و همکاران (۲۰۰۸) از مدل‌های ریاضی برای تحلیل سرقت‌های خانگی و پیش‌بینی نقاط داغ جرم استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که با استفاده از معادلات دیفرانسیل می‌توان شرایط شکل‌گیری و گسترش نقاط داغ جرم را پیش‌بینی و تحلیل کرد.

1 Short

• موهلر[1] و همکاران (۲۰۱۱) الگوریتم‌های خود-تحریک‌کننده را برای تحلیل داده‌های فضایی-زمانی جرم توسعه دادند. این پژوهش‌ها مبنای طراحی سیستم‌های پلیس پیش‌بینی‌کننده قرار گرفته‌اند که از داده‌های گذشته برای پیش‌بینی وقوع جرائم آینده بهره می‌گیرند.

• برانتیمگام[2] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تحلیل شبکه، مرزهای قلمرو باندهای جنایی را بررسی کرده و نشان دادند که این روش‌ها می‌توانند در پیشگیری از جرائم مرتبط با گروه‌های سازمان‌یافته مفید باشند.

این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی نه تنها به شناسایی الگوهای فضایی- زمانی جرم کمک می‌کند، بلکه امکان پیش‌بینی روندهای آینده و طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه را نیز فراهم می‌سازد.

الف. ریاضیات

اصطلاح ریاضیات چنان طیف متنوعی از رویکردها و تکنیک‌ها را دربرمی‌گیرد که تعریف مختصر آن دشوار است و تلاش‌هایی برای انجام این کار- «مطالعه کمیت» یا «مطالعه الگوها»- آنقدر گسترده هستند که پیچیده می‌باشند. ریاضیات هم یک شیوه تفکر است و هم مجموعه‌ای از تکنیک‌ها که بسیاری از آنها ارتباط کمی با یکدیگر دارند. چالش اینجاست که مشخص کنیم کدام یک از اینها می‌توانند سهم معناداری در علم جرم‌شناسی داشته باشند. البته، برخی انواع ریاضیات در حال حاضر، به طور مکرر در مطالعه جرم پدیدار می‌شوند و نیازی به معرفی ندارند. تقریباً، تمام تحقیقات با عنصر کمّی شامل برخی تحلیل‌های آماری خواهند بود. با این حال، نقشی که آمار در چنین کاری ایفا می‌کند، عمدتاً کاربردی است؛ به این معنی که ابزارهایی را فراهم می‌کند که از رویکردهای تحلیلی دیگر پشتیبانی می‌کنند. به ندرت، روش‌های آماری تمرکز اصلی تحقیقات جرم‌شناسی هستند و کاربرد آنها در داده‌های جرم با بسیاری از زمینه‌های دیگر تفاوتی ندارد. اگرچه تکنیک‌ها بدون شک پیچیده هستند، اما خود رویکرد نماینده یک دیدگاه منحصراً ریاضی نیست.

جایی که ریاضیات پتانسیل ایجاد مشارکت متمایز را دارد، از طریق توانایی آن در کدگذاری روابط کارکردی است. اصطلاح حیاتی در اینجا «کارکردی» است. بجای بیان صرف ارتباط عددی بین کمیت‌ها، هدف چنین رویکردهایی توصیف مکانیسم‌های زیربنایی است که از طریق آنها، کمیت‌ها مرتبط می‌شوند. بجای ادعای اینکه مجازات‌های شدیدتر با نرخ‌های

1 Mohler
2 Brantingham

جرم پایین‌تر مرتبط هستند، چنین نمایشی ممکن است تأثیر بر محاسبات هزینه-فایده مجرمان فردی را توصیف کند و نتیجه این را در جمعیت تجمیع‌شده بیان کند. دوگانگی بین فرآیندهای دنیای واقعی و نمایش‌های آنها به این معنی است که تحلیل می‌تواند برای بررسی کارکرد واقعی سیستم، با درنظرگرفتن تمام روابط ابزاری، استفاده شود. این فرآیند را می‌توان به عنوان مدل‌سازی ریاضی خلاصه کرد. اصل اساسی مدل‌سازی ریاضی، تولید یک نمایش ساده‌شده از یک سیستم به صورت کمّی است. این فرآیند را می‌توان به عنوان یکسری مراحل در نظر گرفت:

-مرحله ۱: مشاهده یک وضعیت یا پدیده،
-مرحله ۲: پیشنهاد یک مکانیسم مولد فرضی،
-مرحله ۳: بیان این مکانیسم به زبان ریاضی،
-مرحله ٤: تأیید اینکه رفتار مدل با مشاهدات تجربی مطابقت دارد،
-مرحله ٥: بررسی خواص مدل برای به‌دست‌آوردن بینش کلی‌تر.

نسبتاً آسان است که ببینیم چگونه این چارچوب می‌تواند در علم جرم‌شناسی اعمال شود. قطعاً، کمبودی از پدیده‌های جالب (که بسیاری از آنها به صورت آماری کمّی شده‌اند) و فرضیه‌های رفتاری که سعی در توضیح آنها دارند، وجود ندارد. بنابراین، چالش‌های اصلی در مراحل ۳، ٤ و ٥ قرار دارند و مربوط به ترجمه بین این مفاهیم دنیای واقعی و نمایش ریاضی آنها هستند. با این حال، هر یک از این مراحل پتانسیل ارزشمندبودن در درک پدیده‌های جنایی را دارند.

مرحله ۳ پل اصلی بین اصطلاحات جامعه‌شناختی و ریاضی را نمایندگی می‌کند. به دلیل رسمی‌بودن زبان ریاضی، مشخصات مدل نیاز دارد که محقق مفاهیم (که برخی ممکن است ماهیتاً کیفی باشند) را به صورت دقیق بیان کند. این اثر شفاف‌کننده‌ای دارد، زیرا نیاز به تعریف دقیق مفاهیم و شمارش کامل روابط دارد. هرگونه ابهام یا ناسازگاری نظریه باید حذف شود. با نیاز به شفافیت و دقت در علم جرم‌شناسی همسو است و قابل‌توجه است که این جنبه به عنوان محصول جانبی فرآیند مدل‌سازی می‌آید. هیچ تحلیل ریاضی لازم نیست و صرفاً، یک تمرین در مشخص‌سازی است. مدل ساخته‌شده در مرحله ۳ وسیله‌ای برای کدگذاری یک فرضیه است تا پیامدهای آن بتواند به صورت کمّی بررسی شود؛ در این معنا، یک آزمایش فکری دقیق (و شاید پیچیده) را نمایندگی می‌کند.

هدف مرحله ٤، بررسی این است که این پیامدها چقدر خوب با واقعیت مطابقت دارند تا اعتبار مدل ارزیابی شود. این امر نشان‌دهنده آزمون فرضیه‌های زیربنایی است. اگر مدل نتواند رفتار دنیای واقعی را بازتولید کند، مکانیسم پیشنهادی نمی‌تواند کافی باشد. از طرف دیگر، اگر مدل با مشاهدات تجربی مطابقت داشته باشد، فرآیند فرض‌شده می‌تواند به عنوان یک توضیح امکان‌پذیر در نظر گرفته شود.

مفاهیم «ضروری» و «کافی» در اینجا (و در واقع، در سراسر ریاضیات) مهم هستند. «کافی» نشان می‌دهد که یک مدل (یا ویژگی آن) رفتار صحیح را تولید می‌کند، اما توضیحات دیگر (شاید ساده‌تر) را رد نمی‌کند. از طرف دیگر، «ضروری» نشان‌دهنده ویژگی‌ای است که باید حضور داشته باشد تا یک رفتار را تولید کند. تعیین اینکه کدام جنبه‌های نظریه ضروری هستند و کدام‌ها زائد، در زمینه علم جرم‌شناسی مشخصاً ارزشمند است.

مراحل ۳ و ٤ لزوماً، منحصر به مدل‌سازی ریاضی نیستند و اصول مشابهی در رویکردهای دیگر، مانند مدل‌سازی مبتنی بر عامل، وجود دارند. با این حال، جایی که رویکرد ریاضی واقعاً متمایز است، در سطح تحلیلی است که می‌تواند بر روی مدل‌ها انجام شود؛ در حالی که کارکرد سایر مدل‌ها می‌تواند مبهم و دشوار برای تجزیه باشد. استفاده از روش‌های ریاضی عمومی به این معنی است که روش‌های تحلیلی پیچیده می‌توانند اعمال شوند؛ این بدان معناست که بینش عمیقی می‌تواند از رفتار چنین مدل‌هایی استخراج شود، از جمله واکنش آنها به تغییرات در پارامترها، تکامل آنها در طول زمان، محدوده خروجی‌های ممکن و شرایطی که تحت آن به وجود می‌آیند. علی‌رغم زبان ریاضی، در بسیاری از موارد این مسائل با سؤالات دنیای واقعی مطابقت دارند. نمونه‌هایی از این موارد عبارتند از:

-رفتار در یک محیط متفاوت (مثلاً، یک کشور دیگر) چگونه متفاوت خواهد بود؟

-آیا پدیده‌های نامطلوبی (مانند شیوع جرم) وجود دارند که مشاهده نشده‌اند، اما می‌توانند به وجود آیند؟

-فعالیت در طول زمان چگونه تغییر خواهد کرد؟

-تأثیر یک مداخله (مثلاً، تغییر طراحی یا استراتژی پیشگیری) چه خواهد بود؟

در تمام موارد، نکته حیاتی این است که یافته‌ها کمّی و مبتنی بر نمایش دقیق سیستم زیربنایی هستند. مدل‌سازی ریاضی البته، بدون کاستی نیست. این رویکرد بر اساس ساده‌سازی است و در حالی که بخش زیادی از قدرت تحلیلی آن از این امر ناشی می‌شود، همچنین نقطه ضعفی را نیز نمایندگی می‌کند. مدل‌های از این نوع، طبق تعریف، برخی اثرات را حذف می‌کنند و

نمی‌توانند ظرافت برخی دیگر را به تصویر بکشند و این امر آنها را هدف آسانی برای انتقاد می‌کند. سؤالاتی به شکل «چرا اثر X گنجانده نشده است؟» برای هر مدل‌سازی آشنا خواهد بود و اغلب هنگام تلاش برای بی‌اعتبارکردن هر مدل خاص ذکر می‌شوند. با این حال، چنین انتقاداتی نکته اصلی این تمرین را از دست می‌دهند؛ مدل‌ها قصد ندارند توصیف‌های جامعی ارائه دهند. اصل کلیدی این است که با فداکردن مطابقت دقیق با واقعیت، مزایای دیگری می‌توان به دست آورد و این‌ها هم به اهداف نظری و هم عملی مدل‌سازی مربوط می‌شوند. جنبه نظری به خوبی با این گفته خلاصه می‌شود: «مدل زمانی تمام می‌شود که چیزی برای اضافه‌کردن نباشد، بلکه زمانی که چیزی برای حذف‌کردن نباشد». در علم جرم‌شناسی، توانایی کاهش یک پدیده به اجزای اساسی آن بخشی از رویکرد حل مسئله است و ریاضیات می‌تواند در آن زمینه ارزشمند باشد. از نظر عملی، استدلال به سادگی این است که ارزش یک مدل منحصراً توسط مفیدبودن آن تعیین می‌شود: اثبات در عمل است و اگر یک مدل در پیشگیری از جرم مفید باشد، هرگونه حذف یا ساده‌سازی بی‌اهمیت است.

ب. کاربردهای ریاضی در جرم

همانطور که قبلاً گفته شد، جرم موضوعی نیست که به طور سنتی برای مدل‌سازی ریاضی مناسب در نظر گرفته شده باشد. این دیدگاه عمدتاً به دلیل تعداد و پیچیدگی رفتارهای درگیر است. جرم موضوعی بیش از حد پیچیده است که بتوان آن را در چند معادله خلاصه کرد. با این حال، در سال‌های اخیر، رشد سریعی در تحقیقات مربوط به دقیقاً این نوع سیستم‌های بزرگ دنیای واقعی وجود داشته است. در حالی که این‌ها ممکن است هرگز به اندازه موضوعات کلاسیک قابل‌تحلیل نباشند، اعمال تکنیک‌های سفارشی اجازه پیشرفت را می‌دهد. تعریف جهانی برای «سیستم پیچیده» وجود ندارد، عمدتاً به این دلیل که دامنه این حوزه بسیار گسترده است و اغلب با ارائه مثال یا مشخص‌کردن ویژگی‌های عمومی که آن را توصیف می‌کنند، تعریف می‌شود. اینکه دقیقاً کدام یک از این‌ها تأکید می‌شود، به زمینه بستگی دارد، اما سه ویژگی در تمام تعاریف کاربردی مشترک است: (مراجعه کنید به: نیومن[1]، ۲۰۱۱)

- سیستم از تعداد زیادی اجزا تشکیل شده است،
- رفتار و تعامل این اجزا ساده نیست،
- رفتار جمعی سیستم به طور مستقیم از مکانیسم‌های سطح خرد پیروی نمی‌کند.

1 Newman

ویژگی وجود رفتار به اصطلاح «نوظهور» است که واقعاً سیستم‌های پیچیده را متمایز می‌کند. چنین پدیده‌هایی معمولاً غیرخطی هستند و طیف وسیعی را از شکل‌گیری الگو تا رفتار دربرمی‌گیرند. ویژگی مشترک این است که آنها «غیرقابل‌تقلیل» هستند، به این معنی که فقط در سطح کلان مشاهده می‌شوند. نسبتاً آسان است که ببینیم پدیده‌های جنایی را می‌توان به این شیوه در نظر گرفت. ویژگی‌های ۱ و ۲ تقریباً بلافاصله صدق می‌کنند، زیرا جرم در جوامع بزرگ رخ می‌دهد و شامل فعالیت‌های انسانی است. در مورد ویژگی ۳، تعدادی از پدیده‌های جرم‌شناختی را می‌توان نوظهور در نظر گرفت. یک مثال جذاب، فرضیه کلاسیک «پنجره‌های شکسته» است (مراجعه کنید به ویلسون و کلینگ[1]، ۱۹۸۲). این امر یک اثر سطح فردی را مشخص می‌کند (تغییر در درک مجرم در نتیجه نشانه‌های محیطی) که در نهایت، به عنوان یک مشکل سطح منطقه‌ای (وجود جنایت بومی و شاید شدیدتر) ظاهر می‌شود. برای جرم به طور کلی‌تر، وجود اثرات غیرمنتظره و دشواری اعمال کنترل، ویژگی غیرخطی‌ها و حلقه‌های بازخورد مرتبط با سیستم‌های اجتماعی پیچیده است.

تحلیل ارتباطات بین افراد مجرم و نحوه فعالیت‌های آن‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی درباره نحوه گسترش و سازمان‌دهی جرائم ارائه دهد؛ برای مثال، مدل‌های شبکه‌ای می‌توانند تأثیر اعضای کلیدی یک شبکه جنایی را شناسایی کنند و از این طریق به کاهش اثرگذاری آن‌ها کمک کنند. مدل‌های ریاضی متنوعی برای تحلیل داده‌های جرائم به کار می‌روند که هر کدام برای شرایط خاصی طراحی شده‌اند. این مدل‌ها را می‌توانند برای تحلیل رابطه بین عوامل (مانند بیکاری، تحصیلات) و نرخ وقوع جرائم بکار برند، مثلاً با استفاده از این روش می‌توان بررسی کرد که افزایش ۱۰ درصدی بیکاری چگونه بر سرقت‌های خیابانی تأثیر می‌گذارد؛ یا این مدل‌ها روند تغییرات وقوع جرم در زمان را بررسی می‌کنند، مثلاً برای پیش‌بینی افزایش سرقت‌ها در فصل‌های خاص مانند تعطیلات؛ یا این روش مناطق جغرافیایی با تراکم بالای جرائم را شناسایی می‌کند؛ به عنوان مثال، در یک شهر، مناطقی که بیشترین دزدی‌ها یا خشونت‌ها در آن‌ها رخ داده، مشخص می‌شوند. این شبکه‌ها قادر به تحلیل داده‌های غیرخطی و چندبُعدی هستند، برای مثال، آن‌ها می‌توانند الگوهای پنهان بین رفتارهای مجرمانه و تغییرات محیطی را شناسایی کنند. این الگوریتم برای طبقه‌بندی داده‌ها به کار می‌رود، مثلاً مشخص می‌کند کدام مناطق یک شهر پرخطرتر هستند. این مدل‌ها با استفاده از اصول احتمالات، پیش‌بینی می‌کنند که در چه شرایطی احتمال وقوع جرم بیشتر است.

1 Wilson & Kelling

۱. سیستم‌های دینامیکی و جرم

نظریه سیستم‌های دینامیکی با توصیف ریاضی تکامل کمیت‌ها یا موجودیت‌ها در طول زمان سروکار دارد. این جنبه از علم پیچیدگی است که بیشترین شباهت را به ریاضیات کاربردی کلاسیک دارد و بسیاری از مدل‌ها ارتباط نزدیکی با مدل‌های دیده‌شده در سایر زمینه‌ها، مانند دینامیک سیالات دارند. هدف اصلی، توصیف تغییر متغیرهای تعریف‌شده مثلاً، f و g در طول زمان است که برخی ویژگی‌های سیستم را نمایندگی می‌کنند. هنگامی که متغیرهای مورد نظر دارای مقادیر پیوسته هستند (یعنی می‌توانند محدوده هموار از مقادیر را اتخاذ کنند)، توصیف اغلب به شکل معادلات دیفرانسیل ارائه می‌شود. چنین معادلاتی نرخ تغییر یک متغیر که مثلاً، با df/dt نشان داده می‌شود را به عنوان تابعی از خود و سایر متغیرها مشخص می‌کنند که شکل آن مکانیسم فرضی را منعکس می‌کند. این نرخ‌های تغییر هستند که رفتار در طول زمان را تعیین می‌کنند و معمولاً، یک معادله برای هر متغیر مورد علاقه تعریف می‌شود. در مجموع، این‌ها یک سیستم معادلات را تشکیل می‌دهند و این‌ها مدل را کدگذاری می‌کنند.

زمانی که نرخ تغییر یک متغیر تابعی از مقدار متغیر دیگر باشد، مثلاً وقتی df/dt تابعی از g باشد، این نشان‌دهنده یک تعامل است و معادلات دیفرانسیل «جفت‌شده» نامیده می‌شوند. این جفت‌شدگی‌ها هستند که رفتارهای جالب را ایجاد می‌کنند و الگوهای پیچیده جفت‌شدگی هستند که بخش زیادی از رفتار متمایز سیستم‌های پیچیده را تولید می‌کنند. با این حال، مدل‌های مبتنی بر معادله از نظر ریاضی قابل‌حل‌ترین هستند، زیرا این حوزه به‌خوبی توسعه یافته و شامل طیفی از تکنیک‌های بسیار قدرتمند است (مراجعه کنید به استروگازا[1]، ۱۹۹٤).

تحلیل ریاضی سیستم‌های دینامیکی می‌تواند برای توصیف تکامل یک سیستم در طول زمان و بررسی مسائلی مانند شکل‌گیری الگو و پایداری استفاده شود. پایداری به تأثیر اختلالات کوچک بر سیستم اشاره دارد: یک راه‌حل پایدار مقاوم است، در حالی که راه‌حل‌های ناپایدار مستعد تغییرات کیفی چشمگیر هستند. این موضوعات تفسیر مهمی در دنیای واقعی دارند: ناپایداری، به هر شکلی که باشد، عموماً یک ویژگی نامطلوب سیستم است و نشان‌دهنده پیامدهای بالقوه چشمگیر است. بسیاری از مسائل جنایی دارای یک مؤلفه پویا هستند- مثلاً، نرخ‌های جرم تجمعی، سطوح حبس، الگوهای فضایی- و این نوع مدل‌سازی انتخاب طبیعی در چنین مواردی است. متغیرهای پویا می‌توانند در سطح کلان (مانند نرخ جرم ملی) یا خرد (مانند تعداد مجرمان در یک مکان خاص) باشند و ممکن است مقادیر غیرجنایی نیز گنجانده

1 Strogatz

شوند؛ به عنوان مثال، یک مدل برای سرقت فلزات ممکن است قیمت‌های کالا را نیز دربربگیرد. چالش استخراج معادلات از رفتارهای فرض‌شده است، اما پس از انجام این کار، می‌توان از آن‌ها برای بررسی رفتار (یا پیش‌بینی) با جزئیات زیاد استفاده کرد.

۲. سیستم‌های شبکه‌ای و جرم

شبکه‌ها: یکی از موضوعاتی که بیشترین ارتباط را با علم پیچیدگی دارد، مطالعه شبکه‌هاست. اصطلاح «شبکه» به مجموعه‌ای از نهادهای گسسته (به نام گره‌ها یا رئوس) و ارتباطات بین آن‌ها (به نام یال‌ها یا پیوندها) اشاره دارد. بسیاری از اصطلاحات از حوزه ریاضی «نظریه گراف» گرفته شده‌اند و شبکه‌ها را می‌توان به عنوان گراف‌هایی که در دنیای واقعی ظاهر می‌شوند، در نظر گرفت. شبکه‌های اجتماعی یکی از شناخته‌شده‌ترین انواع شبکه‌ها هستند و مثال توضیحی خوبی ارائه می‌دهند. در چنین شبکه‌هایی، گره‌ها نشان‌دهنده بازیگران (یعنی افراد) و پیوندها نشان‌دهنده روابط اجتماعی بین آن‌ها (مانند دوستی، ارتباط یا تماس فیزیکی) هستند. با این حال، انواع دیگری از شبکه‌ها نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرند: مثال‌هایی را می‌توان در مخابرات (مانند اینترنت)، حمل‌ونقل (مانند سفر هوایی) و اکولوژی (مانند شبکه‌های غذایی) یافت. نمایش‌های شبکه‌ای چندمنظوره هستند و می‌توانند انواع مختلفی از روابط را نشان دهند: شبکه‌های جهت‌دار اجازه می‌دهند پیوندها جهت داشته باشند و شبکه‌های وزن‌دار آن‌هایی هستند که در آن‌ها می‌توان مقداری را با پیوندها مرتبط کرد (مانند فراوانی تماس).

مطالعه شبکه‌ها شامل تجزیه‌وتحلیل شبکه‌های دنیای واقعی و استفاده از آن‌ها در مدل‌های نظری است. تحقیقات نوع اول با توصیف ساختار شبکه‌ها سروکار دارد، به ویژه با اندازه‌گیری «مرکزیت» گره‌ها. مفاهیم مختلفی از مرکزیت وجود دارد – یکی از ساده‌ترین آن‌ها تعداد پیوندهایی است که یک گره دارد – و این‌ها جنبه‌های مختلف ساختار را برجسته می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که بسیاری از شبکه‌های دنیای واقعی ویژگی‌های آماری مشترکی را نشان می‌دهند و طیف گسترده‌ای از نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (مراجعه کنید به کوستا و همکاران[1]، ۲۰۱۱). این نوع تحلیل می‌تواند برای ارزیابی اهمیت گره‌ها یا نقشی که آن‌ها در شبکه ایفا می‌کنند، استفاده شود. موضوع مرتبط دیگر، تشخیص اجتماع است که به دنبال شناسایی گروه‌های معنادار گره‌هاست. شبکه‌ها در زمینه‌های مجرمانه مختلفی ظاهر می‌شوند. روابط اجتماعی جنبه اساسی چندین موضوع جرم‌شناسی است. اگرچه جرائم

1 Costa et al

سازمان‌یافته شاید رایج‌ترین باشند، رویکردهای مبتنی بر شبکه می‌توانند برای بررسی روابط بین قربانیان نیز استفاده شوند. علاوه بر فراهم‌کردن ساختاری مناسب برای داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل می‌تواند بینشی در مورد نقش‌های مختلف بازیگران (مانند فرماندهی یا واسطه‌گری) ارائه دهد و امضاهای سازمانی را آشکار کند. سایر مسائل جنایی نیز شامل شبکه‌ها می‌شوند. شبکه‌های حمل‌ونقل عامل تعیین‌کننده کلیدی در محیط ساخته‌شده هستند و ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر پدیده‌های فضایی داشته باشند. در یک زمینه امنیتی عمومی‌تر، ملاحظات شبکه‌ای نیز در درک تاب‌آوری زیرساخت‌ها (مانند شبکه‌های برق) بسیار مهم هستند و باید در نمایه‌سازی ریسک در نظر گرفته شوند.

۳. نظریه بازی‌ها (تصمیم‌گیری و استراتژی در موقعیت‌ها) و جرم

نظریه بازی‌ها حوزه‌ای است که عمدتاً، در اقتصاد توسعه یافته و مربوط به تصمیم‌گیری است. اصطلاح «بازی» کمی گمراه‌کننده است و صرفاً، به سناریویی اشاره دارد که در آن، دو یا چند بازیگر (بازیکنان) باید بین چندین اقدام ممکن تصمیم بگیرند که پس از آن، پاداشی دریافت خواهند کرد. نکته مهم این است که پاداش یک بازیکن خاص به اقدامات بازیکن یا بازیکنان دیگر بستگی دارد. پاداش بازیکن A پس از انجام عمل X به این بستگی دارد که بازیکن B چه عملی را انجام داده است. بنابراین، نظریه بازی‌ها مطالعه تصمیم‌گیری و استراتژی در موقعیت‌هایی است که در آن‌ها لازم است رفتار دیگران را در نظر گرفت. هدف تحلیل معمولاً، مربوط به یافتن تعادل است: استراتژی‌هایی برای هر بازیکن که به طور متقابل بهینه هستند و بنابراین، نشان‌دهنده رفتار عقلانی هستند.

بازی‌ها می‌توانند از جنبه‌های مختلفی متفاوت باشند- تعداد بازیکنان، تعداد مراحل، اینکه آیا اقدامات همزمان انجام می‌شوند- و می‌توانند بسیار پیچیده باشند. با این حال، تعدادی از بازی‌های ساده (۲ بازیکن با ۲ اقدام هر کدام) بسیار شناخته‌شده هستند، مانند معمای زندانی. اگرچه چنین بازی‌هایی ممکن است انتزاعی یا بی‌اهمیت به نظر برسند، در واقع جوهره مفاهیم بسیار کلی‌تری (مانند همکاری و خیانت) را در خود دارند و می‌توانند در طیفی از موقعیت‌های دنیای واقعی به کار گرفته شوند.

نظریه بازی به طور طبیعی در پدیده‌های جنایی کاربرد دارد، زیرا رفتار عقلانی ذاتی بسیاری از نظریه‌های جرم‌شناسی است. در واقع، اساسی‌ترین تصمیم از همه اینکه آیا جرمی مرتکب شود یا نه- می‌تواند در این چارچوب قرار گیرد؛ جرم پاداش بالقوه‌ای را ارائه می‌دهد، اما اقدامات دیگران تعیین می‌کند که آیا بجای آن منجر به دستگیری و مجازات خواهد شد.

بسیاری از مسائل دیگر نیز می‌توانند به عنوان بازی در نظر گرفته شوند، مانند تمایل به مداخله و شدت مجازات. تخصیص منابع توسط نیروهای اجرای قانون نیز می‌تواند به عنوان یک بازی قالب‌بندی شود و این می‌تواند برای بررسی استراتژی‌های پیشگیرانه یا دفاعی استفاده شود.

تحقیقات نشان داده‌اند که بسیاری از جرائم در مکان‌ها و زمان‌های مشابهی رخ می‌دهند. به این مفهوم «نظریه فعالیت‌های روزانه» گفته می‌شود. بر اساس این نظریه، ترکیب سه عامل مهم- مجرم بالقوه، هدف مناسب و نبود نظارت کافی- وقوع جرم را تسهیل می‌کند. مدل‌های ریاضی می‌توانند داده‌های تاریخی این عوامل را تحلیل کرده و احتمال وقوع جرم را در شرایط مشابه پیش‌بینی کنند.

ج. حوزه‌های کاربرد اصول و تکنیک‌ها و جرم‌شناسی

حوزه‌های کاربرد اصول و تکنیک‌های مطرح‌شده در این قسمت چندمنظوره هستند، به این معنا که می‌توانند در طیف گسترده‌ای از موضوعات به کار گرفته شوند. در واقع، تقریباً هر چیزی که قابل کمی‌سازی باشد، اصولاً می‌تواند مدل‌سازی شود. در علم جرم‌شناسی، تعدادی از موضوعات به طور خاص مستعد رویکرد ریاضی هستند و تحقیقات را می‌توان به چند حوزه کلیدی تقسیم کرد. در این قسمت، چندین مورد از این موضوعات بررسی خواهند شد: انگیزه و ارزش رویکرد ریاضی توصیف خواهد شد و مثال‌هایی از تحقیقات ارائه خواهد شد. مدل‌های پیش‌بینی جرم‌شناسی در زمینه‌های مختلفی به کار می‌روند:

با تحلیل داده‌های گذشته، این مدل‌ها می‌توانند مناطق و زمان‌هایی را که بیشترین احتمال وقوع جرم دارند، شناسایی کنند؛ برای مثال، پلیس شیکاگو با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی توانست توزیع نیروهای خود را بهینه کند و نرخ جرائم خشونت‌آمیز را کاهش دهد؛ یا پلیس لس‌آنجلس با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی جرائم دزدی باعث کاهش ۳۰ درصدی نرخ وقوع جرم در مناطق آزمایشی شد. مدل‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که در شرایط خاص (مانند رکود اقتصادی)، نرخ جرائم چگونه تغییر می‌کند. این اطلاعات به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا سیاست‌های پیشگیرانه اتخاذ کنند.

۱. الگوهای فضایی-زمانی و جرم‌شناسی

علاقه ریاضی به الگوهای فضایی-زمانی جرم نمونه‌ای از حوزه‌ای است که مستقیماً، توسط یافته‌های تجربی در جرم‌شناسی جغرافیایی برانگیخته شده است. به طور خاص، مشاهده الگوهای پویا در داده‌های جرم- به ویژه وقوع نقاط داغ و قربانی‌شدن مجدد نزدیک- هدف

ایده‌آلی برای مدل‌سازی فراهم می‌کند؛ پدیده‌ای سبک‌شده که می‌توان قیاس‌هایی با سایر فرآیندهای فیزیکی برای آن ایجاد کرد. در این مورد، گسترش ظاهری جرم، مقایسه با فرآیندهای انتشار فیزیکی کلاسیک و مدل‌های مرتبط شکل‌گیری الگو را دعوت می‌کند.

مدل های قضایی- زمانی به دو دسته تقسیم می شوند:

- معادلات دیفرانسیل جزئی: این مدل‌ها تغییرات نرخ جرم را در مکان و زمان تحلیل می‌کنند. مثلاً، بررسی می‌کنند که چگونه جرم از یک محله به محله دیگر گسترش می‌یابد.
- مدل‌های مکانی-زمانی: از داده‌های جغرافیایی برای تحلیل جرائم استفاده می‌کنند. این مدل‌ها می‌توانند نشان دهند که در کدام نقاط یک شهر و در چه ساعت‌هایی، احتمال وقوع جرم بیشتر است.

در مورد جرائم شهری، تعدادی از فرضیه‌های رفتاری (از جمله نظریه‌های محیطی) توضیحات احتمالی برای این الگوها ارائه می‌دهند. بنابراین، وظیفه مدل‌سازی ساده است؛ کدگذاری ریاضی این فرضیه‌ها و بررسی اینکه آیا آن‌ها قادر به تولید الگوهای مشابه با آنچه به صورت تجربی مشاهده شده‌اند، هستند یا خیر. اگر یک مدل امکان‌پذیر پیدا شود، این امر از چند جنبه ارزش بالقوه دارد؛ در سطح اساسی، نشان می‌دهد که رفتارهای فرض‌شده واقعاً توضیح قابل‌قبولی برای الگوهای دنیای واقعی ارائه می‌دهند. علاوه بر این، تحلیل چنین مدلی می‌تواند برای بررسی شرایطی که تحت آن الگوها شکل می‌گیرند و نحوه تکامل آن‌ها استفاده شود. مورد آخر شاید بیشترین اهمیت را داشته باشد: اگر پویایی الگوها درک شود، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان آن‌ها را به آینده تعمیم داد. این به معنای پیش‌بینی فضایی است که ارزش بالقوه آشکاری برای پیشگیری دارد.

یک نمونه اولیه از این رویکرد، مدل سرقت منزل است که توسط شورت و همکاران (۲۰۰۸) معرفی شده است. در ساده‌ترین شکل خود، این مدل بر اساس رفتار بازیگران فردی مشخص می‌شود. سارقان بین خانه‌های چیده‌شده روی یک شبکه حرکت می‌کنند و به سمت املاکی با «جذابیت» بالاتر جذب می‌شوند. وقتی جذابیت کافی باشد، آن‌ها جرائمی را مرتکب می‌شوند که هر کدام باعث افزایش موقت جذابیت ملک قربانی‌شده می‌شود. نکته مهم این است که نویسندگان سپس، قادرند این مدل را (که اساساً، مبتنی بر عامل است) به شکل معادلات دیفرانسیل بیان کنند. با تحلیل ریاضی این معادلات، امکان تعیین شرایطی که تحت آن، نقاط داغ شکل می‌گیرند و توصیف صریح مورفولوژی و تکامل آن‌ها وجود دارد. این فراتر

از آن چیزی است که می‌توان از شبیه‌سازی‌های مبتنی بر عامل استنتاج کرد که در آن‌ها چنین پدیده‌هایی تنها به صورت کیفی قابل‌مشاهده هستند (نگاه کنید به پیس[1]، ۱۹۹۸).

۲. قلمروطلبی و تعامل باندها و جرم‌شناسی

قلمروطلبی و تعامل باندها چالش جالبی در مدل‌سازی است و در موقعیت‌هایی مطرح می‌شود که جرم ناشی از تعاملات بین دو جمعیت مجرم است که به طور طبیعی با رقابت و خشونت بین باندها نمایان می‌شود. نقش برجسته قلمروطلبی به این معنی است که این موضوع دارای یک مؤلفه فضایی است و می‌توان موازی‌های قابل‌توجهی با اکولوژی فضایی ترسیم کرد. باندها مشابه گونه‌ها هستند که برای منابع و قلمرو رقابت می‌کنند. این وضعیت همچنین، می‌تواند به عنوان یک سیستم «شکارچی–طعمه» در نظر گرفته شود که در آن، شکار ممکن است مطابق با تلاش‌های نیروهای اجرای قانون برای کاهش اندازه باند باشد. درک پویایی این جمعیت‌ها می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات قلمرویی، پیش‌بینی شیوع خشونت و پیشنهاد اقداماتی که از طریق آن‌ها می‌توان فعالیت‌های خصمانه را به حداقل رساند، ارزشمند باشد.

یک تلاش اولیه برای استفاده از رویکرد اکولوژیکی برای بررسی پویایی باندها، کار کرین[2] و همکاران (۲۰۰۰) بود که رشد باندها را به عنوان یک فرآیند رقابتی بین باندهای موجود و مکانیسم‌های کنترل اجتماعی قالب‌بندی کرد. این مدل رفتاری سازگار با مشاهدات دنیای واقعی نشان می‌دهد از جمله تغییرات ناگهانی در اندازه باند و شرایطی را که تحت آن کنترل اجتماعی مؤثرترین است، پیدا می‌کند. رویکردهای اخیرتر از چارچوب مشابهی استفاده کرده‌اند، اما بجای آن به روابط خصمانه بین باندها پرداخته‌اند. برانتینگهام[3] و همکاران (۲۰۱۲) شکل‌گیری مرزهای قلمرویی بین جفت‌های باندها را با درنظرگرفتن موقعیت «فضاهای مرکزی» آن‌ها بررسی کردند و این امر توسط اسمیت[4] و همکاران (۲۰۱۲) به حالت بیش از دو باند گسترش یافت. با این حال، رویکرد اکولوژیکی تنها رویکردی نیست که برای پویایی باندها به کار گرفته شده است؛ به عنوان مثال، با استفاده از روش‌های فیزیک آماری، باربارو[5] و همکاران (۲۰۱۳) علامت‌گذاری قلمرو با استفاده از گرافیتی را مدل‌سازی کرده و شرایطی را که تحت آن تقسیمات مشخص شکل می‌گیرند، تعیین می‌کنند. چنین کاری از ارزش عملی بالقوه برخوردار است، زیرا در این رابطها احتمال وقوع نقاط اوج خشونت بیشتر است. در

1 Pease
2 Crane
3 Brantingham
4 Smith
5 Barbaro

موضوعی مرتبط، فرمول‌بندی فرآیند نقطه‌ای نیز به ویژه به عنوان مدلی برای تلافی به کار گرفته شده است. این رویکرد پتانسیل خود را به عنوان وسیله‌ای برای پیش‌بینی داده‌های گمشده، به ویژه در رابطه با شناسایی شرکت‌کنندگان ناشناخته در جرائم خشونت‌آمیز نشان داده است (رجوع کنید به استوماکهین و همکاران[1]، ۲۰۱۱).

۳. شبکه‌های جنایی

بسیاری از پدیده‌های جنایی شامل تعاملات بین بازیگران هستند و شبکه‌ها وسیله‌ای را فراهم می‌کنند که از طریق آن‌ها می‌توان این تعاملات را نمایش داد و مطالعه کرد. تعاملات مورد نظر می‌توانند اشکال مختلفی داشته باشند- روابط متخاصم مانند رقابت‌های باندی به این شیوه مطالعه شده‌اند؛ اما اکثر نمونه‌ها شامل روابط همکاری، مانند جرائم سازمان‌یافته یا تروریسم هستند. در چنین زمینه‌هایی، شبکه‌ها می‌توانند از انواع مختلف داده‌ها- مثلاً، ارتباطات یا همکاری در جرم- استخراج شوند و ساختارهای آن‌ها بررسی شود. سپس، می‌توان با استفاده از تحلیل شبکه اجتماعی به سؤالات مختلفی پاسخ داد. میزان سلسله‌مراتبی‌بودن یک ساختار، شناسایی نقش‌ها و اندازه‌گیری نفوذ نمونه‌های متعددی از موضوعاتی هستند که به این شیوه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، از جمله جرائم سازمان‌یافته، تروریسم و قاچاق (نگاه کنید به مانکوسو،[2] ۲۰۱٤).

تجزیه‌وتحلیل شبکه‌های جنایی سازمان‌یافته به طور قابل‌توجهی توسط ماهیت مخفی آن‌ها پیچیده می‌شود. چنین فعالیت‌هایی به دنبال پنهان‌کردن ارتباط خود هستند. چگونگی پرداختن به این موضوع، یک پیش‌زمینه برجسته تحقیق در این حوزه است. با چندین رویکرد پیشنهادی برای چگونگی استنباط احتمالی درباره ساختار شبکه در محیط‌های مخفیانه، رویکرد تحلیل شبکه پویا که توسط چارلی معرفی شده است، به دنبال ترکیب داده‌ها از منابع متعدد با تکنیک‌های تحلیل شبکه پیش‌بینی‌کننده است و در زمینه تروریسم به کار گرفته شده است (نگاه کنید به چارلی[3]، ۲۰۰٦). شبکه‌های مجرمانه اغلب از ارتباطات پیچیده‌ای بهره می‌برند. با استفاده از تحلیل‌های شبکه‌ای، مدل‌ها می‌توانند افراد کلیدی در این شبکه‌ها را شناسایی کرده و ساختار گروه‌ها را تحلیل کنند.

1 Stomakhin et al
2 Mancuso
3 Carley

٤. انعطاف‌پذیری

در حالی که انعطاف‌پذیری شبکه‌های جنایی ناخوشایند است، زمینه‌های امنیتی دیگری وجود دارد که در آنها انعطاف‌پذیری مطلوب است؛ برای مثال، برای اهداف بالقوه جرم و به ویژه، آنهایی که سیستم‌های بزرگ به‌هم‌پیوسته هستند، توانایی مقاومت در برابر حمله چیزی است که یک رویکرد علم جرم‌شناسی به دنبال تقویت آن است. از آنجا که بسیاری از چنین سیستم‌هایی (مانند زیرساخت‌ها) را می‌توان به صورت شبکه نمایش داد، ریاضیات می‌تواند در این زمینه با بررسی واکنش آنها به انواع مختلف حملات کمک کند. این امر می‌تواند برای شناسایی نقاط ضعف و درک گذارهای بحرانی استفاده شود: نقاطی که در آن، حملات برای ایجاد شکست فاجعه‌بار کافی هستند.

انعطاف‌پذیری شبکه‌ها در برابر حمله برای مدتی مورد مطالعه قرار گرفته است و با پدیده‌های بحرانی که به ویژه برای شبکه‌های انرژی بررسی شده‌اند. کارهای اخیر وابستگی‌های متقابل بین شبکه‌ها را در نظر گرفته‌اند، مانند وابستگی‌های بین اینترنت و شبکه‌های توزیع انرژی که تصور می‌شود مسئول قطعی‌های برق قبلی باشند. پتانسیل شکست فاجعه‌بار در چنین سیستم‌هایی چشمگیر است (نگاه کنید به گائو و همکاران[1]، ۲۰۱۱) که نشان می‌دهد چنین وابستگی‌های متقابلی باید هنگام ارزیابی خطرات چنین تأسیساتی در نظر گرفته شوند. متأسفانه، کارهای کمی به طور صریح پیامدهای امنیتی چنین آسیب‌پذیری را در نظر گرفته‌اند؛ کار کاروالهو[2] و همکاران (۲۰۱٤) که واکنش شبکه‌های انرژی به خطرات امنیتی دنیای واقعی، مانند درگیری‌ها را در نظر می‌گیرد، یک استثنای قابل‌توجه است.

٥. مدل‌های اقتصادی

بازرسی، در معنای گسترده‌تر شناسایی تخلف، یکی از موضوعاتی است که در مدل‌سازی اقتصادی جرم مورد بررسی قرار می‌گیرد که معمولاً، با مطالعه سطح جرم و جنایت به عنوان یک پدیده اجتماعی در کل جمعیت سروکار دارد. اگرچه این موضوع شاید به اندازه سایر موضوعات بحث‌شده در اینجا با رویکرد علم جرم‌شناسی همسو نباشد، حجم کار به قدری است که نادیده‌گرفتن آن اشتباه خواهد بود. با این حال، یک بررسی جامع‌تر را می‌توان در مقاله گوردون[3] در سال ۲۰۱۰ یافت. رویکرد کلی به خوبی توسط کار بنیادی بیکر[4] در سال

1 Gao et al
2 Carvalho
3 Gordon
4 Becker

۱۹٦۸ که این حوزه را آغاز کرد، نشان داده شده است و در فصلی توسط منینگ[1] در جای دیگر این کتابچه راهنما به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. جرم به عنوان یک انتخاب عقلانی فرض می‌شود که در آن، نتایج اقتصادی جرم در یک «تابع زیان اجتماعی» گنجانده شده است. این موضوع شامل حجم و خسارت ناشی از جرم است که سپس با احتمال، شدت و هزینه مجازات متعادل می‌شود. به‌حداقل‌رساندن این تابع نشان می‌دهد که چه مقدار منابع باید به تشخیص و مجازات اختصاص داده شود تا به وضعیتی که از نظر اقتصادی بهینه است، دست یابیم؛ در اصل، چه مقدار جرم باید در جامعه «تحمل» شود. این امر نشان‌دهنده دیدگاه سطح کلان چنین مدل‌هایی است: اثرات در سطح جامعه در نظر گرفته می‌شوند. اثرات مختلفی به این روش مطالعه شده‌اند: تمایل به ارتکاب جرم، اثر مجازات و نقش نابرابری (مراجعه کنید به نادال و همکاران[2]، ۲۰۱۰).

مدل‌های بعدی به دنبال درنظرگرفتن تأثیر تعاملات اجتماعی بر جرم بوده‌اند. گلیسر[3] و همکاران (۱۹۹٦) پیشنهاد کردند که این ممکن است تفاوت‌های نرخ جرم بین شهرهای آمریکا را توضیح دهد و گوردون و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل کلی برای انتخاب‌ها تحت تأثیر اجتماعی ارائه دادند. تأثیر مجازات بر سازمان جنایی نیز از دیدگاه اقتصادی مورد مطالعه قرار گرفته است. یک روند جدیدتر، مدل‌های بخش‌بندی‌شده را از دیدگاه نظریه بازی در نظر می‌گیرد؛ برای مثال، مدل پیشنهادی شامل چهار نوع فرد است: «مخبران»، «شرورها»، «پالادین‌ها» و «بی‌تفاوت‌ها» که هر کدام تمایلات متفاوتی برای ارتکاب جرم و شهادت‌دادن در تحقیقات جنایی دارند. بازی به صورت تکراری پیش می‌رود، با تعاملات فردی (جرایم بالقوه) که منجر به پاداش‌هایی برای هر فرد درگیر می‌شود. پس از هر دور، افراد می‌توانند بین حالت‌ها جابجا شوند و از استراتژی‌های همتایان موفق‌تر تقلید کنند. در نهایت، هدف مدل، پیگیری تعداد افراد در هر حالت است. یافته اصلی این تحقیق این است که مخبران برای شکل‌گیری یک جامعه عاری از جرم ضروری هستند، اما مدل انعطاف‌پذیر است. با دستکاری ساختار پاداش می‌توان بسیاری از استراتژی‌ها و مداخلات را بررسی کرد (نگاه کنید به: شورت و همکاران[4]، ۲۰۱۳). در واقع، این موضوع نشان‌دهنده ارزش مدل‌های اقتصادی است: آنها تحلیل تغییرات سیاستی در مقیاس کلان بر جرم و جنایت را به عنوان یک کل تسهیل می‌کنند.

1 Manning
2 Nadal et al
3 Glaeser
4 Short et al

استفاده از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی دارای مزایایی می‌باشد، به طوری که دقت مدل‌های ریاضی قادر به تحلیل الگوهای پیچیده‌ای هستند که با چشم غیرمسلح قابل‌مشاهده نیستند. پلیس می‌تواند بجای گشت‌زنی تصادفی، نیروها را در مناطقی متمرکز کند که احتمال وقوع جرم بیشتر است. ارائه هشدارهای زودهنگام بر اساس پیش‌بینی‌ها می‌تواند به جلوگیری از وقوع بسیاری از جرائم کمک کند.

بحث و نتیجه گیری

یکی از اهداف کلیدی علم جرم‌شناسی، واردکردن دقت و ساختار علمی به مطالعه جرم است، مشابه آنچه در علوم فیزیکی دیده می‌شود. از این رو، نقش ریاضیات در این حوزه طبیعی به نظر می‌رسد، چرا که بسیاری از ابزارها و زبان‌های مورد نیاز آن را فراهم می‌کند. این فصل تلاش کرده است تا روش‌های خاصی را که از طریق آن، رویکردهای ریاضی می‌توانند برای علم جرم‌شناسی مفید باشند، تشریح کند؛ با تمرکز بر تکنیک‌های پرکاربرد و بررسی کاربردهای بالقوه امیدوارکننده.

آنچه امروزه، بر اهمیت آن تاکید می‌شود، این است که دامنه تکنیک‌های مرتبط با جرم‌شناسی از مرزهای کلاسیک ریاضی فراتر رفته است. علاقه به مدل‌سازی جرم به طور طبیعی همگام با پیشرفت‌های ریاضی و افزایش قدرت محاسباتی رشد کرده است. برخی از تکنیک‌های مطرح‌شده مانند علم شبکه، دستاوردهای نسبتاً نوینی هستند و موفقیت آن‌ها وابستگی زیادی به دسترس‌پذیری داده‌های گسترده داشته است.

چشم‌انداز پیشرفت‌های بیشتر در حوزه‌های مرتبط با علوم اجتماعی محاسباتی نشان می‌دهد که این نقطه تقارن میان ریاضیات و جرم‌شناسی آینده‌ای روشن دارد، جایی که دامنه و پیچیدگی رویکردها احتمالاً، به طور قابل‌توجهی گسترش می‌یابد. تاکنون، تحقیقات بر طیف متنوعی از مسائل مرتبط با جرم متمرکز شده است؛ از الگوهای زمانی- مکانی وقوع جرم گرفته تا ساختار و اندازه گروه‌های جنایی. در هر یک از این موارد، تأثیر مثبت ریاضیات در ارائه دیدگاهی متفاوت آشکار است؛ برای مثال، پیاده‌سازی صحیح اطلاعات جغرافیایی بدون بهره‌گیری از مدل‌سازی ریاضی سخت تصور می‌شود. در سایر نمونه‌ها، عدم استفاده از ریاضیات شاید اصول زیربنایی را منع نکند، اما بدون شک فرآیند رسمی‌سازی و آزمون فرضیه‌ها را دشوارتر می‌کند. با این حال، هدف نهایی تنها ارائه رسمی‌سازی نیست، بلکه ارزیابی این است که تا چه حد این رویکردها به پیشبرد اهداف جرم‌شناسی کمک می‌کنند.

اگرچه نمونه‌های موجود پتانسیل این حوزه را نشان می‌دهند، اما همچنان باید مسیرهایی برای هماهنگی بهتر این رویکردها با اولویت‌های جرم‌شناسی هموار شود. به طور کلی، مدل‌سازی ریاضی بستری ایده‌آل برای به‌کارگیری روش علمی در بررسی پدیده‌های جنایی ایجاد می‌کند. این سیستم زبانی مناسب برای کدگذاری، تحلیل و آزمون فرضیه‌ها فراهم می‌آورد. با این حال، مسئله اصلی همچنان میزان تطابق این مدل‌ها با داده‌های واقعی است. مدل‌سازی در بازتولید برخی پدیده‌های عمومی مانند شکل‌گیری مناطق پرخطر یا «نقاط داغ» موفقیت‌آمیز بوده است، اما اکثر این مدل‌ها در محیط‌هایی بسیار ساده‌شده طراحی شده‌اند که پرسش‌هایی درباره عمق تطابق آن‌ها با واقعیت ایجاد می‌کند.

یکی از چالش‌های مهم‌تر مربوط به تشخیص میان مدل‌هاست. گاهی چندین رویکرد با موفقیت یک رفتار مشابه را بازتولید می‌کنند. زمانی که مفاهیم مورد مطالعه عمومی باشند، هر مدلی که نتایج مشابهی ارائه دهد، قابل‌قبول قلمداد می‌شود. چنین شرایطی سبب پایین‌بودن سطح انتظارات و معیارهای ارزیابی مدل‌ها شده است. با وجود این چالش‌ها، این مسائل نه تنها برای مدل‌سازی ریاضی، بلکه برای علم جرم‌شناسی به طور کلی نیز مطرح هستند. معیارهای دقیق‌تر تنها زمانی قابل‌تعریف خواهند بود که مفاهیم مورد مطالعه به طور واضح مشخص شوند. برای نمونه، مفهوم «نقطه داغ» نیازمند تعریفی دقیق‌تر است که قابل‌قیاس با وضوح مفاهیمی در علوم فیزیکی باشد. تا زمانی که مطالعات تجربی بتوانند مبانی محکمی برای تعریف دقیق پدیده‌ها ارائه دهند، انتظار نمی‌رود که تکنیک‌های ریاضی بتوانند سهمی برابر در جرم‌شناسی داشته باشند. یکی دیگر از مشکلات رایج مربوط به قابلیت عملیاتی‌سازی یافته‌های ریاضی است. صرف بازآفرینی رفتارهای مورد علاقه به‌خودی‌خود کافی نیست؛ باید مشخص شود که چگونه این نتایج می‌توانند در قالب مداخلات واقعی قرار گیرند.

بنابراین، در نهایت، پیشنهاد می‌شود که کاربردپذیری دنیای واقعی باید در صدر تلاش‌ها برای اعمال ریاضیات در زمینه علم جرم‌شناسی قرار گیرد. اما تنها زمانی برای علم جرم‌شناسی ارزشمند خواهند بود که شکاف تا کاربردپذیری دنیای واقعی پر شود. اگرچه این امر ممکن است نیاز به تغییر تمرکز از تحلیل‌های ریاضی عمیق‌تر داشته باشد، اما اطمینان حاصل خواهد کرد که ارتباط ریاضیات با مطالعه جرم همچنان رشد می‌کند.

مدل‌های ریاضی ابزار قدرتمندی برای مدیریت جرائم و بهبود امنیت عمومی هستند، اما نیازمند بهبودهای مستمر در جمع‌آوری داده‌ها، رعایت اصول اخلاقی و توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر هستند. برای افزایش کارایی این سیستم‌ها، پیشنهاد می‌شود که پایگاه داده‌های

گسترده و دقیق برای تحلیل بهتر ایجاد شود. مدل‌های ترکیبی که بتوانند عوامل محیطی، اجتماعی و مکانی را به طور همزمان تحلیل کنند، توسعه یابند. شفافیت و نظارت اخلاقی در استفاده از این مدل‌ها صورت گیرد. این تلاش‌ها می‌تواند به ایجاد جوامع امن‌تر و کاهش جرائم کمک شایانی کند.

پیشنهادها

با توجه به یافته‌ها و نتایج این پژوهش، پیشنهادهای زیر برای تحقیقات آتی و بهبود بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی ارائه می‌گردد:

۱. توسعه مدل‌های ترکیبی

پیشنهاد می‌شود مدل‌هایی طراحی شوند که عوامل مختلف مانند ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی، محیطی و فرهنگی را در کنار الگوهای فضایی- زمانی جرم در نظر بگیرند. این مدل‌ها می‌توانند تحلیل‌های جامع‌تری ارائه دهند و در طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه مؤثرتر باشند.

۲. بومی‌سازی مدل‌ها

لازم است چارچوب‌های بومی برای کاربرد مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی ایران طراحی شود. این چارچوب‌ها باید با درنظرگرفتن ویژگی‌های خاص اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی کشور، امکان پیاده‌سازی عملی در سیستم‌های قضایی و انتظامی را فراهم کنند.

۳. استفاده از فناوری‌های نوین

ترکیب مدل‌های ریاضی با فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و داده‌کاوی می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و امکان شناسایی الگوهای پنهان جرم را فراهم کند.

٤. بررسی مسائل اخلاقی

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده به چالش‌های اخلاقی ناشی از استفاده از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی پرداخته شود. حفظ حریم خصوصی داده‌ها و جلوگیری از سوگیری در تحلیل‌ها از جمله موضوعات مهم در این زمینه است.

۵. طراحی و ارزیابی سیستم‌های پیش‌بینی‌کننده

مطالعات آتی می‌توانند بر طراحی و اجرای سیستم‌های پیش‌بینی جرم متمرکز شوند. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های محلی و مدل‌های پیشرفته می‌توانند در پیشگیری و مدیریت جرائم به‌طور مؤثری به‌کار گرفته شوند.

٦. تحلیل نقاط داغ جرم در سطح ملی

پیشنهاد می‌شود پروژه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای برای شناسایی و تحلیل نقاط داغ جرم در شهرهای مختلف ایران اجرا شود تا استراتژی‌های پیشگیری بهینه طراحی شوند.

۷. آموزش و ظرفیت‌سازی

پیشنهاد می‌شود کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای استفاده از مدل‌های ریاضی در جرم‌شناسی طراحی و برگزار شود تا محققان و نیروهای انتظامی بتوانند از این ابزارها به‌صورت مؤثر بهره‌برداری کنند.

۸. ارزیابی سیاست‌های پیشگیرانه

با استفاده از مدل‌های ریاضی می‌توان اثرات سیاست‌های پیشگیرانه مختلف را شبیه‌سازی و تحلیل کرد. این رویکرد می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا بهترین گزینه‌ها را انتخاب کنند.

این پیشنهادات می‌تواند راهنمای تحقیقات آینده باشد و در بهبود کاربرد مدل‌های ریاضی برای تحلیل و کاهش جرائم کمک شایانی کند.

منابع

- کریمیان، محمدوزین. (۱۴۰۱). تحلیل رابطه ریاضی با حقوق، با تمرکز بر منابع حق و تکلیف. *دیدگاه های حقوق قضایی*، ۲۷(۱۰۰)، ۳۲-۱.
https://jlviews.ujsas.ac.ir/article_703740.html
-Barbaro, A. B. T., Chayes, L., & D'Orsogna, M. R. (2013). *Territorial developments based on graffiti: A statistical mechanics approach*. Physical A: Statistical Mechanics and its Applications, 392 (1), 252–270.
https://arxiv.org/abs/1208.0401
-Becker, G. S. (1968). Crime and Punishment: An Economic Approach. *Journal of Political Economy*, 76 (2), 169–217.
-Branting ham, P. J., Tita, G. E., Short, M. B., & Reid, S. E. (2012). The ecology of gang territorial boundaries. *Criminology*, 50 (3), 851–885.

-Carley, K. M. (2006). A dynamic network approach to the assessment of terrorist groups and the impact of alternative courses of action. *In Meeting Proceedings of Visualizing Network Information*- RTO-MP-IST-063, pp. KN1–1 – KN1–10. Neuilly-sur-Seine, France.
-Carvalho, R., Buzna, L., Bono, F., Masera, M., Arrowsmith, D. K., & Helbing, D. (2014). Resilienceof Natural Gas Networks during Conflicts, Crises and Disruptions. *PLoS ONE*, 9 (3), e90265.
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83572
-Crane, J., Boccara, N., & Higdon, K. (2000). *The Dynamics of Street Gang Growth and Policy*.
-Gao, J., Buldyrev, S. V., Havlin, S., & Stanley, H. E. (2011). Robustness of a Network of Networks. *Physical Review Letters*, 107 (19), 195701.
-Glaeser, E. L., Sacerdote, B., & Scheinkman, J. A. (1996). Crime and Social Interactions. *The Quarterly Journal of Economics*, 111 (2), 507–548.
-Gordon, M. B. (2010). A random walk in the literature on criminality: A partial and critical view onsome statistical analyses and modelling approaches. *European Journal of Applied Mathematics*,21 (Special Double Issue 4-5), 283–306.
-Gordon, M. B., Nadal, J.-P., Phan, D., & Semeshenko, V. (2009). Discrete choices under social influence: generic properties. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 19 (supp01),1441–1481.
-Mancuso, M. (2014). Not all madams have a central role: analysis of a Nigerian sex trafficking network. *Trends in Organized Crime*, 17 (1-2), 66–88.
https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4Mykpeb4/
-Mohler, G. O., Short, M. B., Brantingham, P. J., Schoenberg, F. P., & Tita, G. E. (2011). Self- Exciting Point Process Modeling of Crime. *Journal of the American Statistical Association*, 106 (493), 100–108.
-Newman, M. E. J. (2011). Complex Systems: A Survey. *American Journal of Physics*, 79 (8), 800–810.
-Pease, K. (1998). Repeat victimisation: Taking stock. London, UK: *Home Office Police Research Group*.
-Short, M. B., D'Orsogna, M. R., Pasour, V. B., Tita, G. E., Brantingham, P. J., Bertozzi, A. L.,& Chayes, L. B. (2008). A statistical model of criminal behavior. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 18 (S1), 1249–1267.
-Short, M. B., Pitcher, A. B., & D'Orsogna, M. R. (2013). External conversions of player strategy in an evolutionary game: A cost-benefit analysis through optimal control. *European Journal of Applied Mathematics*, 24 (01), 131–159.
http://www.csun.edu/~dorsogna/mwebsite/papers/old/cv.pdf
-Smith, L. M., Bertozzi, A. L., Brantingham, P. J., Tita, G. E., & Valasik, M. (2012). *Adaptationof an ecological territorial model to street gang spatial patterns in Los Angeles*. Discrete and Continuous Dynamical Systems, 32 (9), 3223–3244.
-Stomakhin, A., Short, M. B., & Bertozzi, A. L. (2011). Reconstruction of missing data in socialnetworks based on temporal patterns of interactions. *Inverse Problems*, 27 (11), 115013.
https://mshort9.math.gatech.edu/papers/inverse_gangs.pdf
-Strogatz, S. H. (1994). *Nonlinear dynamics and chaos: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering* . Reading, MA: Perseus Books.
Wilson, J. Q., & Kelling, G. L. (1982). Broken Windows. *Atlantic Monthly*, 249 (3), 29–38.