

## تحلیل نظام تصمیم‌گیری معتادان، پیش و پس از درمان نگره‌دارنده با متادون

(در آزمون خطرپذیری بادکنکی، با استفاده از مدل‌سازی شناختی)

آرش خدادادی

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

محمد مهدی کرامتی

دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف

امیر دزفولی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تهران

هومن صفایی

آزمایشگاه عصبی-شناختی، مرکز ملی مطالعات

اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی تهران

حامد اختیاری\*

آزمایشگاه عصبی-شناختی، مرکز ملی مطالعات

اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی تهران

**هدف:** هدف این مطالعه، بررسی خطرپذیری معتادان به مواد افیونی و تحلیل تأثیر درمان نگره‌دارنده با متادون بر بهبود زیرساخت‌های شناختی اختلالات احتمالی، با بهره‌گیری از روش‌های مدل‌سازی محاسباتی است. **روش:** در این پژوهش، نظام تصمیم‌گیری پنج گروه آزمودنی (شاهد مرد، شاهد زن، معتادان پیش از درمان، معتادان پس از سه ماه درمان نگره‌دارنده با متادون و معتادان پس از شش ماه درمان)، با استفاده از نسخه فارسی رایانه‌ای آزمون خطرپذیری بادکنکی بررسی شد. **یافته‌ها:** یافته‌های به دست آمده از نمرات آزمون نشان می‌دهد که عملکرد دو گروه زنان شاهد و مردان شاهد تفاوت چندانی ندارد، اما خطرپذیری معتادان در تصمیم‌گیری، پیش از درمان، بیشتر از گروه مردان شاهد است. همچنین، میزان خطرپذیری گروه معتادان پس از شش ماه درمان، کمتر از گروه‌های دیگر وابسته به مواد است. بنابراین، درمان نگره‌دارنده، بر رفع عدم تعادل در خطرپذیری تأثیر داشته است. در این مطالعه، برای توصیف نظام تصمیم‌گیری گروه‌های مختلف، به منظور کشف علل عملکرد متفاوت گروه‌ها، از مدل‌سازی شناختی استفاده شد. **نتیجه‌گیری:** تحلیل پارامترهای تخمین زده شده نشان می‌دهد که عدم تعادل در پاداش‌جویی معتادان، باعث بروز رفتار خطرپذیر در این گروه می‌شود. همچنین، این گروه به ارزیابی خود از میزان سود و ضرر در هر انتخاب اهمیت کمتری می‌دهد. بنابراین، رفتارشان تصادفی‌تر است. به عکس، گروه شاهد در هر انتخاب گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که، بر اساس ارزیابی از مقدار سود و ضرر، ارزش بیشتری داشته باشد.

\* نشانی تماس: تهران، بیمارستان رازی

Email: h\_ekhtiari@razi.tums.ac.ir

کلیدواژه‌ها: نگره‌دارنده با متادون، آزمون خطرپذیری، درمان نگره‌دارنده، پاداش‌جویی معتادان

## Analysis of Decision-Making Processes in Drug-Abusers Before and After Maintenance Treatment with Methadone

**Objective:** The aim of this study is to assess risk taking in opioid dependents and to analyze the effect of methadone maintenance treatment (MMT) on the improvement of cognitive structure of possible disorders, using computational modeling methods. **Method:** In this research the decision making processes of five groups of participants (male controls, female controls, opioid dependents before treatment, dependents after three months of MMT and dependents after six months of MMT) were analyzed using Persian computer based version of balloon analogue risk task. **Results:** Results obtained from the test scores showed that the function of male and female controls do not differ significantly, however riskful decision making in dependents before treatment, is higher than that of male controls. Also, the degree of risk taking of dependents after six months of treatment, was lower in comparison with other groups of dependents. Therefore, MMT could affect the amelioration of the imbalance in risk taking behavior. In this study, we used cognitive modeling in order to describe different decision making processes to explore the causes of differential functioning among groups. **Conclusion:** Analysis of estimated parameters demonstrate that imbalance in reward dependence generates risk taking behaviors in the drug abuser group. In addition, this group pays less attention to their evaluation of choices; hence, a more haphazard behavior. On the other hand, the control group chooses the alternatives that considers more valuable based on the evaluation of gains and losses.

**Keywords:** cognitive modeling, Methadone maintenance treatment, balloon analog risk task, decision-making.

Arash Khodadadi  
Elm-o Sana't Iran University  
Mohammad Mahdi Keramati  
Sharif University  
Amir Dezfouli  
Tehran University  
Houman Safaie  
Tehran University of Medical Science  
Hamed Ekhtiari  
Tehran University of Medical Science

Email: h\_ekhtiari@razi.tums.ac.ir

## مقدمه

رفتارهای مجرمانه<sup>۱۳</sup> همبستگی زیادی دارد. (لجوئز و همکاران، ۲۰۰۲؛ لجوئز، سیمونز<sup>۱۴</sup>، آکلین، داترزو<sup>۱۵</sup> دویر<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۴؛ لجوئز و همکاران، ۲۰۰۳؛ آکلین و همکاران، ۲۰۰۵؛ لجوئز، آکلین، زولنسکی و پدولا<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۳)

اما نتایج مربوط به فرآیندهای شناختی مسبب این رفتارهای مخاطره‌جویانه اطلاعاتی به ما نمی‌دهد. اعمال مرتبط با تصمیم‌گیری بسیار پیچیده است و اجزای غیرقابل مشاهده بسیاری دارد. بنابراین، عملکرد نامناسب در چنین اعمالی می‌تواند علل مختلفی داشته باشد. مثلاً، عملکرد ضعیف در قمار می‌تواند ناشی از ضعف در یادگیری پیش‌آمدهای اتفاقی، تفاوت در ارزش انگیزشی میزان برد و باخت برای شخص یا حتی رفتار تکانش-گرایانه یا غیرقابل پیش‌بینی و تصادفی<sup>۱۸</sup> باشد که آن را می‌توان به ناسازگاری انتظار شخص از یک رخداد اتفاقی و یک انتخاب کاهش داد (استاوت<sup>۱۹</sup>، باسمیر<sup>۲۰</sup>، لین<sup>۲۱</sup>، گرنٹ<sup>۲۲</sup> و بنسون<sup>۲۳</sup>، ۲۰۰۴).

یک روش برای کشف علل تفاوت‌هایی که در آزمایش‌ها و افراد مختلف مشاهده می‌شود، مدل‌سازی شناختی است که در توصیف فرآیندهای مغزی یک پدیده شناختی، رویکردی محاسباتی به‌شمار می‌رود و بر این فرض استوار است که هر یک از سازوکارهای دخیل در یک عمل شناختی، روی داده‌های ورودی حس‌گرها یا خروجی‌های بخش‌های دیگر مغز محاسبه‌ای را پیاده‌سازی می‌کنند. مدل‌سازی شناختی این مجموعه از فعالیت‌ها را با روابط ریاضی توصیف می‌کند. نقطه تمایز اصلی این روش با روش‌های آماری این است که در مدل‌سازی شناختی یک عمل شناختی بر اساس فرآیندهای

رفتارهای مخاطره‌جویانه<sup>۱</sup> به رفتارهایی اطلاق می‌شود که اگرچه با درجاتی از آسیب یا ضرر بالقوه همراه است، متضمن دست‌یابی احتمالی به انواع پاداش نیز هست. تصمیم‌گیری مخاطره‌آمیز به عنوان هسته مرکزی بسیاری از آسیب‌های اجتماعی (مانند سوء‌مصرف مواد، جرم و جنایت و خشونت) سال‌هاست مورد توجه دانشمندان علوم شناختی قرار گرفته است. یکی از جنبه‌های مهم این فرآیند عالی شناختی، تمایل به رفتارهای مخاطره‌جویانه یا به عبارتی خطرپذیری می‌باشد.

بیماران دچار اعتیاد، با وجود آگاهی از عواقب بلندمدت استفاده از مواد مخدر، پاداش کوتاه‌مدت آن را انتخاب می‌کنند. این اختلال در تصمیم‌گیری به انتخاب نادرست مواد مخدر محدود نشده و دامنه آن به تصمیم‌گیری‌های روزانه فرد معتاد نیز کشیده می‌شود (اختیاری، رضوان‌فر و مکری، ۱۳۸۷). برای کشف علل این انتخاب نادرست، محققان سعی می‌کنند، با استفاده از یک سری آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی، به نظام تصمیم‌گیری معتادان پی ببرند. برای مثال، می‌توان به *آزمون قمار ایو*<sup>۲</sup> اشاره کرد که بشارا<sup>۳</sup> آن را ابداع کرد (بشارا، داماسیو<sup>۴</sup>، داماسیو و آندرسون<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴) و از آن پس در بسیاری از مطالعات مربوط به رفتارهای تصمیم‌گیرانه انسان مورد استفاده قرار گرفت. *آزمون خطرپذیری بادکنکی* نمونه دیگری از این نوع آزمایش-هاست که به وسیله پروفیسور لجوئز معرفی شد (لجوئز و همکاران، ۲۰۰۲). تحقیق او نشان داد که نمره این آزمون می‌تواند افراد سیگاری را از غیرسیگاری جدا کند (آکلین<sup>۶</sup>، لجوئز، زولنسکی<sup>۷</sup>، کاهلر<sup>۸</sup> و گوادز<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۵). مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که نمره این آزمون، با میزان خطرپذیری افراد مقادیر حاصل از گزارش‌های خود اشخاص از میزان شرکت آنها در فعالیت‌های خطرپذیر، مانند لذت‌جویی<sup>۱۱</sup>، تکانش‌گری<sup>۱۲</sup>، رفتارهای جنسی پرخطر و همچنین رفتارهای پرخطری که فرد در گذشته در زندگی روزمره داشته (شامل استفاده از مواد مخدر و

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 1- risk taking behavior | 2- Iowa Gambling Task |
| 3- Bechara              | 4- Damasio            |
| 5- Anderson             | 6- Lejuez             |
| 7- Aklin                | 8- Zvolensky          |
| 9- Kahler               | 10- Gwadz             |
| 11- sensation seeking   | 12- impulsivity       |
| 13- delinquent behavior | 14- Simmons           |
| 15- Daughters           | 16- Dvir              |
| 17- Pedulla             | 18- erratic           |
| 19- Stout               | 20- Busemeyer         |
| 21- Lin                 | 22- Grant             |
| 23- Bonson              |                       |

## ابزار پژوهش

نسخه فارسی رایانه‌ای آزمون خطرپذیری بادکنکی: در هر رویداد پرمخاطره، به صورت طبیعی یک پسخوراند نیز وجود دارد که به موجب آن، اطلاعاتی به فرد منتقل می‌شود. این اطلاعات که در حین یا پایان رویداد به دست آمده است، می‌تواند در برآوردهای ذهنی شخص و در نتیجه، وقوع رویدادهای پرخاطر بعدی تأثیر بگذارد و تغییر به وجود آورد. (اختیاری، مقیمی، جنتی و بهزادی، ۱۳۸۱)

آزمون خطرپذیری بادکنکی (BART)، که اولین بار به وسیله پروفسور لجویتر و همکاران او از دانشگاه مریلند امریکا معرفی شده، قادر است این تعریف همراه با پسخوراند را در طول آزمون شبیه‌سازی کند (لجویتر و همکاران، ۲۰۰۲).

این آزمون با طراحی دنباله‌ای از رویدادهای تصادفی به منظور انتخاب (که متناظر با عمل پرمخاطره است) و همچنین تعیین پاداش و جریمه برای انتخاب‌ها به منظور یادگیری (که متناظر با پسخوراند است) میزان خطرپذیری فرد را در شرایط واقعی بررسی می‌کند. آزمون BART، راهبردهای مخاطره‌جویانه فرد و میزان ثمربخش بودن<sup>۴</sup> یا مضر بودن<sup>۵</sup> آنها را می‌سنجد (که به صورت پاداش یا جریمه مالی منظور شده است).

در این آزمون رایانه‌ای، آزمودنی در مقابل صفحه نمایش رایانه (مانیتور) قرار می‌گیرد که در آن یک دایره آبی‌رنگ (معرف بادکنک) است. در پایین این صفحه دکمه‌ای قرار دارد که با هر بار فشاردادن آن، قطر دایره آبی رنگ (بادکنک) ۰/۳ سانتیمتر افزایش می‌یابد، یعنی بادکنک باد می‌شود. به ازای هر بار باد کردن موفق (که بادکنک نترکد)، پنج سنت به ذخیره صندوق موقتی اضافه می‌شود (مقدار موجودی صندوق موقت، هیچ‌گاه به آزمودنی اعلام نمی‌شود). هر زمان که فرد باد کردن بادکنک را متوقف کند، با فشردن دکمه دیگری که در صفحه

شناخته شده مغزی توضیح داده می‌شود. این ویژگی امکان برقراری ارتباط میان رفتار بیمارگونه مشاهده شده و زیرساخت‌های روانی و عصبی آن را فراهم می‌کند (باسمیر و استاوت، ۲۰۰۲).

والستن<sup>۱</sup>، پلسکاک<sup>۲</sup> و لجویتر (۲۰۰۵) برای توصیف عملکرد عملکرد افراد در آزمون خطرپذیری بادکنکی<sup>۳</sup>، مدل‌هایی ارائه کرده‌اند. آنها نشان داده‌اند که پارامترهای تخمین زده شده برای مدل‌ها، همبستگی زیادی با میزان شاخص‌های به دست آمده از گزارش‌های آزمودنی‌ها از رفتارهای پرخاطر خود در زندگی روزمره دارد. اما آنها فقط به مدل‌سازی وضعیت معتادان پیش از درمان پرداخته و توجه چندانی به تفاوت سطح بین پارامترهای گروه‌های مختلف نکرده‌اند.

در این پژوهش، ما برای توصیف رفتار پنج گروه آزمودنی، از مدل‌های والستن و همکاران استفاده کردیم. این مدل‌ها عبارت‌اند از: گروه شاهد مرد، گروه شاهد زن، گروه معتادان به کراک پیش از درمان، گروه معتادان به کراک پس از سه ماه درمان با متادون، و گروه معتادان به کراک پس از شش ماه درمان با متادون. در این پژوهش تلاش شده است به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

- آیا عملکرد گروه شاهد مرد و گروه شاهد زن تفاوت دارد؟
- آیا عملکرد گروه شاهد مرد و گروه معتادان پیش از درمان تفاوت دارد؟
- آیا عملکرد گروه معتادان پیش از درمان و گروه معتادان پس از شش ماه درمان تفاوت دارد؟
- آیا عملکرد گروه شاهد مرد و گروه معتادان پس از شش ماه درمان تفاوت دارد؟

با پاسخ دادن به دو سؤال اخیر می‌توانیم بررسی کنیم که آیا درمان بر بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری معتادان تأثیری داشته است یا نه. پس از آن، با استفاده از پارامترهای مدل‌های ارائه شده، علل تفاوت عملکرد در گروه‌های مختلف را ارزیابی خواهیم کرد.

1- Wallsten  
2- Pleskac  
3- Balloon Analogue Risk Task  
4- functional  
5- dysfunctional

آن را نصیب فرد کند؛ اما باد کردن بار چهارم، ۲۰۰۰ تومان موجودی صندوق موقت را به خطر می‌اندازد، اما فقط ۵۰ تومان (۲۵٪ درصد) آن را نصیب فرد می‌کند.

### آزمودنی‌ها

داده‌های این پژوهش، به چهار دسته آزمودنی مربوط می‌شود: گروه شاهد (مرد و زن)، گروه معتادان به مواد افیونی پیش از درمان، گروه معتادان پس از سه ماه درمان نگه‌دارنده با متادون و گروه معتادان پس از شش ماه درمان نگه‌دارنده با متادون. خلاصه خصوصیات جمعیتی این چهار گروه در جدول ۱ آمده است.

### مدل‌های مورد استفاده

در این بخش درباره ۱۰ مدل والستن و همکاران (۲۰۰۵) که در این مطالعه برای بررسی رفتار آزمودنی‌ها به کار رفته، توضیح داده می‌شود. مدل اول، مدل پایه‌ای است و هیچ مفهوم روان‌شناسی ندارد، ولی می‌تواند مبنایی آماری به دست دهد که سایر مدل‌ها با آن مقایسه شوند. در این مدل فرض این است که تصمیم‌گیرنده از یک بادکنک به بادکنک بعدی نه یادگیری انجام می‌دهد و نه تصمیم‌گیری وی بر اساس شرایط حاضر است، بلکه احتمال متوقف شدن در تمام فرصت‌ها برای او یکسان است. سایر مدل‌ها که از لحاظ شناختی منطقی‌ترند، دارای اجزای تصمیم‌گیری و پاسخ می‌باشند. اولین آنها، که مدل هدف نام دارد، فرض می‌کند که تصمیم‌گیرنده از یک بادکنک به بعدی یاد می‌گیرد، اما هیچ جزء تصمیم‌گیری دیگری در این مدل وجود ندارد. در این مدل تصمیم‌گیرنده پیش از شروع آزمون، برای ترکیدن بادکنک اول یک تعداد هدف در نظر می‌گیرد و فرض می‌کند که بادکنک اول با این تعداد باد کردن خواهد ترکید. سپس برای هر بادکنک با توجه به این که بادکنک قبل در تعداد هدف ترکیده است یا نه، این تعداد مفروض را به ترتیب کاهش یا افزایش می‌دهد. احتمال متوقف شدن در هر فرصت برای باد کردن، به فاصله تا این مقدار هدف بستگی دارد.

نمایش نشان داده شده، می‌تواند کل پول ذخیره‌شده در صندوق موقت را به صندوق اصلی منتقل کند. با این اقدام، بادکنک بادنشده‌ای در اختیار فرد قرار می‌گیرد. مجموع بادکنک‌ها در طول آزمون ۳۰ عدد است. هرگاه بادکنک بترکد، صدای پاپ از بلندگوهای رایانه پخش می‌شود و فرد کل پولی را که در صندوق موقت ذخیره شده، از دست می‌دهد. شکل ۱ تصویر نسخه فارسی آزمون را نشان می‌دهد (که در مرکز ملی مطالعات اعتیاد طراحی شده است). در نسخه فارسی، به ازای هر بار باد کردن بادکنک ۵۰ تومان به حساب موقت واریز می‌شود (اختیاری و همکاران، ۱۳۸۱).

در این آزمون، آزمودنی‌ها از ساختار احتمالی آزمون و چگونگی ترکیدن بادکنک‌ها اطلاع ندارند. به آنها گفته می‌شود که تعداد دفعات باد کردن بادکنک به خودشان بستگی دارد. بعضی از بادکنک‌ها ممکن است بعد از یک‌بار باد کردن بترکند و بعضی دیگر نیز موقعی می‌ترکند که حجم کل صفحه را بپوشانند. اما این را باید به آنها گفت که ویژگی آنها این است که هر چه بیشتر باد شوند، احتمال ترکیدنشان افزایش می‌یابد. در واقع، رایانه به هر بادکنک، به تعداد محدود اجازه باد شدن می‌دهد (که در این آزمایش  $n=128$  است). احتمال ترکیدن بادکنک‌ها بر اساس انتخاب تصادفی از یک تا ۱۲۸ است (انتخاب عدد یک معادل ترکیدن بادکنک در بار اول است). احتمال ترکیدن بادکنک در بار اول،  $1/n$  و در بار دوم  $1/(n-1)$  (اگر در بار اول نترکیده باشد) و در بار سوم  $1/(n-2)$  است (اگر در دفعات اول و دوم نترکیده باشد). برای دفعات بعدی نیز این روند ادامه می‌یابد. در حالت کلی، این احتمال را که بادکنک در دفعه  $i$ ام بترکد (مشروط بر این که در  $n-1$  بار قبلی نترکیده باشد) با  $S_i$  نمایش می‌دهند. این احتمال برابر است با:

$$(1) \quad S_i = \frac{1}{n-i+1}$$

هر بار باد کردن بادکنک، احتمال ترکیدن را افزایش و سود نسبی را کاهش می‌دهد؛ به طوری که مثلاً باد کردن برای بار سوم، فقط ۱۰۰ تومان را به خطر می‌اندازد و می‌تواند ۱۰۰ درصد

این مدل، پایه‌ای برای مقایسه سایر مدل‌ها فراهم می‌کند. عملکرد سایر مدل‌ها باید بهتر از عملکرد این مدل باشد.

**مدل هدف:** در این مدل فرض می‌شود که فرد پیش از شروع به باد کردن بادکنک  $n$  ام، یک عدد هدف  $I$  برای خود در نظر می‌گیرد. احتمال این که فرد بادکنک  $n$  ام را برای بار  $I$  ام باد کند،  $r_{h,i}$ ، برابر  $0/5$  است؛ یعنی در بار  $I$  ام احتمال این که فرد بادکنک را باد کند یا باد شدن متوقف شود، برابر و هر کدام  $50$  درصد است. احتمال باد شدن بادکنک در بار  $I$  ام وقتی که  $i < j$ ، بیشتر از  $0/5$  و وقتی  $j > i$  کمتر از  $0/5$  است. پس برای بادکنک  $n$  ام احتمال باد شدن برای بار اول از یک عدد بزرگ شروع می‌شود و این احتمال در دفعات بعد به تدریج کم شده تا به  $0/5$  در دفعه  $I$  ام می‌رسد. پس از بار  $I$  ام، این مقدار کمتر از  $0/5$  خواهد شد.

اگر فرد باد کردن بادکنک را قبل از ترکیدن آن متوقف کند، می‌تواند مقدار  $i$  تخمینی را برای بادکنک بعدی افزایش دهد و اگر بادکنک بترکد،  $i$  را کم کند. بنابراین، فرد در این مدل با استفاده از تجارب خود، مقدار هدف بهینه را یاد می‌گیرد. طبیعی است که در این مدل فرض کنیم فرد با کسب تجارب بیشتر (هرچه  $n$  بزرگ‌تر می‌شود) میزان هدف را کمتر تغییر دهد. نهایتاً ممکن است مقدار هدف بعد از یک بادکنک ثابت بماند. روابط ریاضی این مدل در پیوست ۱ آورده شده است. مزیت این مدل فراهم کردن یک راه ساده شناختی برای تصمیم‌گیرنده است تا بتواند نیازمندی‌های آزمون را یاد بگیرد و به آنها پاسخ دهد. اما برخلاف مدل‌هایی که در بخش بعد بیان می‌کنیم، این مدل فرض نمی‌کند که تصمیم‌گیرنده در هر بار باد کردن، برد و باخت را ارزیابی کند. در این مدل هیچ یادگیری بیزی<sup>۳</sup> هم وجود ندارد.

#### مدل‌های دارای پیش‌فرض یادگیری و ارزیابی: همه

مدل‌های متعلق به این خانواده، در یک نکته مشترک‌اند و آن این که برای بادکنک اول و ترکیدن آن در اولین بار باد کردن، فرد یک احتمال پیشین دارد. تفاوت این مدل‌ها در سه مورد زیر است:

نهایتاً خانواده‌ای از مدل‌های یادگیری و ارزیابی<sup>۱</sup> وجود دارند که در آنها یک ارزیابی موقعیت به یادگیری اضافه شده است. این مدل‌ها از این وجه که فرد چگونه نظر خود را در مورد بادکنک به‌روز و موقعیت‌ها را ارزیابی می‌کند و نحوه ارتباط میان احتمال متوقف شدن و این ارزیابی، با یکدیگر تفاوت دارند. تمام مدل‌ها یک احتمال  $r_{h,i}$  برای این که تصمیم‌گیرنده در بادکنک  $n$  ام برای  $I$  امین بار باد کند را به دست می‌دهند. این احتمالات وسایل لازم برای نوشتن تابع شباهت را برای داده‌ها فراهم می‌کنند. با این تابع شباهت می‌توان پارامترهای مدل‌های مختلف را تخمین زد و با یکدیگر مقایسه کرد. در زیربخش‌های بعد درباره این مدل‌ها توضیح می‌دهیم.

**مدل پایه‌ای:** در این مدل، احتمال  $r_{h,i}$ ، که تصمیم‌گیرنده بادکنک  $n$  ام را در فرصت  $I$  ام باد کند، برای تمام  $n$ ها و  $I$ ها ثابت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، احتمال این که تصمیم‌گیرنده در فرصت  $I$  ام باد کردن را متوقف کند،  $1-I$  خواهد بود. عامل  $I$  را با استفاده از داده‌ها و روش بیشترین شباهت<sup>۲</sup> (ML) به دست می‌آوریم. فرض کنید شخص یک بادکنک را  $15$  بار باد کرده و سپس بادکنک ترکیده است. در مدل پایه‌ای، احتمال چنین مشاهده‌ای  $\Gamma^{15}$  است. همچنین، با استفاده از این مدل، احتمال این که شخص بادکنک را  $15$  بار باد کرده و سپس متوقف کند  $\Gamma^{15}(1-\Gamma)$  است. بنابراین تابع شباهت را برای داده‌ها می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(2) L(a_1, d_1, \dots, a_h, d_h, \dots, a_f, d_f) = \prod_{h=1}^f \hat{r}^{(a_h - d_h)} (1 - \hat{r})^{d_h}$$

که در آن  $a_h$  تعداد دفعاتی است که تصمیم‌گیرنده در بادکنک  $n$  ام باد کرده است و  $d_h$  نشان می‌دهد که آیا بادکنک در بار آخر باد کردن، ترکیده است یا نه ( $d_h=1$ ) اگر بادکنک ترکیده باشد و  $0$  در غیر این صورت). با برابر صفر قرار دادن مشتق این رابطه، مقدار  $\Gamma$  (که این رابطه را بیشینه می‌کند) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(3) \hat{r} = \frac{\sum_{h=1}^f a_h}{\sum_{h=1}^f a_h + \sum_{h=1}^f d_h}$$

1- Learning and Evaluation      2- Maximum likelihood  
3- Bayesian

۲-  $S_i = S_{i-1}$ ؛ در این مدل فرض می‌شود که احتمال ترکیدن بادکنک‌ها در هر بار باد کردن ثابت است. اگرچه این فرض خیلی واقعی نیست، اما قابل قبول است. این مدل را فرآیند ایستا می‌نامیم.

۳-  $S_i > S_{i-1}$ ؛ در این مدل فرض می‌شود که فرآیند غیرایستا است و احتمال ترکیدن بادکنک، با هر بار باد کردن افزایش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد، فرآیند واقعی ترکیدن بادکنک‌ها به این صورت است. حال به تعریف دقیق‌تر دو مدل فرآیند ایستا و غیرایستا می‌پردازیم.

الف) مدل فرآیند ایستا: از آنجا که در این مدل احتمال ترکیدن بادکنک در هر بار باد کردن ثابت در نظر گرفته می‌شود، ما زیرنویس  $i$  را از  $P_{h,i}$  حذف و با  $P_h$  کار می‌کنیم. پس در واقع در این مدل،  $P_h$  احتمال ذهنی فرد از ترکیدن بادکنک  $n$ ام در هر بار باد کردن است. تصمیم‌گیرنده پیش از شروع به باد کردن بادکنک اول، یک توزیع پیشین برای احتمال ترکیدن بادکنک اول در هر بار باد کردن در ذهن خود دارد ( $P_1$ ). وی این احتمال ذهنی را با کسب تجربه در بادکنک‌های بعدی، به وسیله قانون بیز به‌روز می‌کند. ساده‌تر آن است که به جای احتمال ترکیدن، با احتمال نترکیدن ( $q_h = 1 - P_h$ ) کار کنیم.

ثابت در نظر گرفتن احتمال ترکیدن در هر بار باد کردن، معادل این است که فرآیند ترکیدن بادکنک‌ها را به صورت یک توزیع دوجمله‌ای با ویژگی  $P_h$  فرض کنیم. از آنجا که به‌روز کردن به وسیله قانون بیز انجام می‌شود، توزیع پیشین  $q_1$  را یک توزیع بتا با پارامترهای  $a$  و  $m$  فرض می‌کنیم، زیرا با به‌روزرسانی توزیع  $q$ ، توزیع به‌روز شده همچنان بتا باقی می‌ماند. نحوه به‌روزرسانی در پیوست ۲ آمده است.

ب) مدل فرآیند غیرایستا: همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این مدل فرض می‌شود که فرد به‌درستی معتقد است که هر بادکنک را حداکثر  $n$  بار می‌تواند باد کند (که یک عدد ثابت برای تمام بادکنک‌هاست). احتمال ترکیدن در هر بار باد کردن هم از رابطه ۱ به‌دست می‌آید، ولی فرد مقدار عدد ثابت  $n$  را نمی‌داند. بنابراین ما یک توزیع پیشین روی مقدار  $n$  (پیش از

۱- فرد از رفتارها چه مدل ذهنی دارد؛ یعنی چه مدلی از فرآیند تصادفی‌ای را در نظر می‌گیرد که ترکیدن بادکنک‌ها را در هر بار باد کردن کنترل می‌کند، و چگونه این نظر خود را با کسب تجربه بهبود می‌بخشد؟

۲- فرد چه وقت و چگونه سود و زیان حاصل از باد کردن یا متوقف کردن آن را ارزیابی می‌کند؟

۳- انتخاب بین باد کردن بادکنک یا متوقف کردن آن چقدر به ارزیابی انجام‌شده حساس است؟

ما در ذهن فرد، دو مدل برای رفتار بادکنک، دو مدل برای نحوه ارزیابی و دو مدل برای حساسیت پاسخ بیان می‌کنیم. از ترکیب این مدل‌ها ۸ مدل ایجاد می‌شود که پارامترهای آنها را برای تمام آزمودنی‌ها برآورد خواهیم کرد.

**مدل‌های بیاتگر رفتار بادکنک‌ها در ذهن فرد:** در این مدل‌ها فرض این است که فرد می‌داند همه بادکنک‌ها با یک فرآیند تصادفی یکسان کنترل می‌شوند؛ یعنی تجربه بادکنک قبلی، بر احتمال ذهنی فرد در بادکنک بعدی تأثیر می‌گذارد. همچنین، همه مدل‌ها فرض کرده‌اند که احتمال ذهنی فرد، بعد از هر بادکنک به‌روز می‌شود و نه بعد از هر بار باد کردن. اگرچه ممکن است این فرض درست نباشد، اما محاسبات را بسیار ساده‌تر می‌کند. در تمام موارد، ما  $P_{h,i}$  را به عنوان احتمال ذهنی فرد از ترکیدن بادکنک  $n$ ام در باد  $i$ ام در نظر می‌گیریم. توجه به این نکته لازم است که در تمام بخش‌های آینده نباید احتمال واقعی،  $S_i$ ، ترکیدن بادکنک در باد  $i$ ام را با  $P_{h,i}$  (تخمین فرد از احتمال ترکیدن) اشتباه شود.  $S_i$  به شرایط آزمون، اما  $P_{h,i}$  به مدل ذهنی فرد از فرآیند ترکیدن بادکنک، توزیع پیشینی فرد برای  $P_{1,1}$  و نحوه به‌روز کردن نظرش با کسب تجربه بستگی دارد.

همان‌طور که گفته شد، مدل‌ها در فرضشان در مورد این که فرد فکر می‌کند چگونه  $S_i$  با  $i$  تغییر می‌کند، تفاوت دارند که برای آن سه فرض می‌توان در نظر گرفت:

۱-  $S_i < S_{i-1}$ ؛ در این مدل فرض می‌شود که با هر بار باد کردن بادکنک، احتمال ترکیدن آن کاهش می‌یابد که فرضی غیرعملی است.

آرش خدادادی و همکاران

صندوق ذخیره موقت خود ذخیره می‌کند. پس در موقعیت باد کردن  $i-1$  بار بادکنک را  $i-1$  بار باد کرده و نترکیده) مقدار  $(i-1)x$  تومان در بانک موقت ذخیره شده است. اگر فرد بار  $i$  بادکنک را باد کند و نترکد،  $x$  تومان سود خواهد کرد، ولی اگر بترکد  $(i-1)x$  تومان ضرر می‌کند. پس امید ریاضی ارزش باد کردن بادکنک و توقف در بار  $i$  به صورت دو تابع (۷) و (۸) خواهد بود:

$$(۷) E_i(\text{pump}) = (1 - P_i)x^{\gamma^+} - P_i\theta((i-1)x)^{\gamma^+}$$

$$(۸) E_i(\text{stop}) = 0$$

که در آن  $P_i$  احتمال ترکیدن بادکنک در بار  $i$  می‌باشد ( $i-1$  بار نترکیده است). برای باد کردن، مقدار  $b_{h,i} = (1 - P_i)x^{\gamma^+} - P_i\theta((i-1)x)^{\gamma^+}$  باید مثبت باشد تا فرد تصمیم بگیرد که بادکنک را باد کند. به ازای  $b_{h,i} < 0$  فرد باد کردن را متوقف می‌کند، اما ما فرض می‌کنیم که انتخاب به صورت احتمالاتی و به وسیله قانون (۹) انجام می‌شود:

$$(۹) \beta_{r_{h,i}} = \frac{e^{\beta \cdot b_{h,i}}}{1 + e^{\beta \cdot b_{h,i}}}$$

حساسیت انتخاب در ارزیابی  $b_{h,i}$  است. در این مدل  $r_{h,i}$  در طول مشاهدات ثابت می‌ماند.

ما نوع دیگری از این مدل را نیز به کار می‌بریم که در آن  $\beta$  در طول تجارب تغییر می‌کند. مثلاً،  $\beta = h^c$  (۱۰) که در این صورت مقادیر منفی و مثبت  $c$  می‌تواند به ترتیب نمایانگر خستگی و یا اشتیاق فرد برای ادامه آزمون باشد.

**(ب) ارزیابی پیشاپیش و انتخاب:** در این حالت بر خلاف حالت قبلی، فرد پیش از شروع به باد کردن بادکنک یک تعداد بهینه برای دفعات باد کردن بادکنک برای خود در نظر می‌گیرد. منظور از تعداد بهینه، تعداد دفعات باد کردن است که به بیشینه شدن سود فرد می‌انجامد. در اینجا مقدار ضرر صفر است، زیرا پیش از شروع به باد کردن، هیچ پولی در صندوق موقت وجود ندارد و هر چه فرد به دست می‌آورد، سود محسوب می‌شود. پس امید ریاضی سود به صورت زیر است:

شروع به باد کردن بادکنک اول) در نظر می‌گیریم و این مقدار را برای هر بادکنک با توجه به تجارب به دست آمده، به روز می‌کنیم. از آنجا که  $n$  دارای مقادیر مثبت و گسسته است، برای مدل کردن توزیع پیشین  $n$  از یک توزیع گامای گسسته استفاده می‌کنیم. این توزیع دارای دو پارامتر  $\mu_0 = E(n)$  و  $\sigma_0 = Var(n)$  می‌باشد. نحوه به روز کردن این توزیع در سومین پیوست آمده است. در اینجا فقط باید به این نکته اشاره شود که توزیع‌های به روز شده برای هر بادکنک، یک میانگین  $\hat{n}_h$  دارد که به وسیله آن احتمال ترکیدن هر بادکنک به صورت تابع (۴) خواهد بود:

$$(۴) P_{h,i} = \frac{1}{\hat{n}_h - i + 1}$$

### فرآیند ارزیابی

در اینجا برای مدل کردن چگونگی ارزیابی تصمیم‌گیرنده از عواقب باد کردن بادکنک یا متوقف شدن آن، از نظریه آینده‌نگری<sup>۱</sup> استفاده می‌کنیم. میزان سود در وضع موجود با تابع:

$$(۵) V(x) = x^{\gamma^+}$$

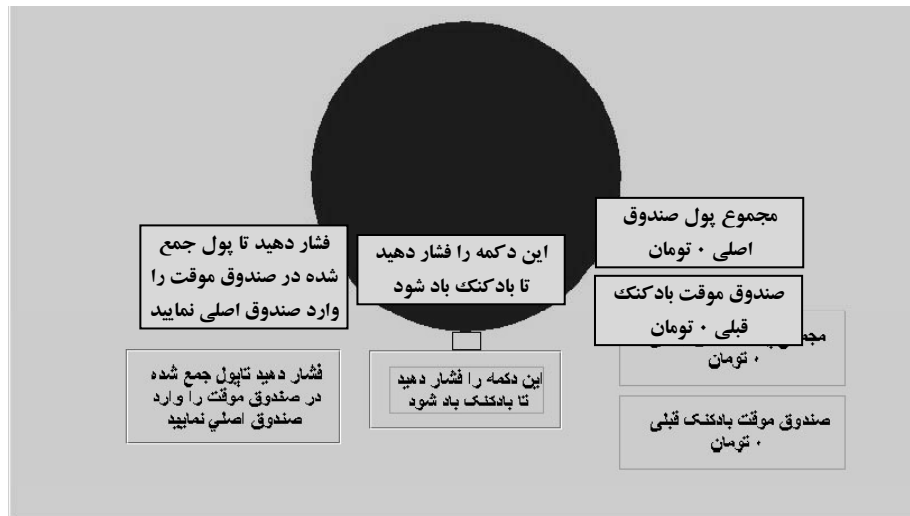
و میزان زیان با تابع:

$$(۶) V(x) = -\theta|x|^{\gamma^-}$$

مشخص می‌شود، به طوری که  $\gamma^+, \gamma^-, \theta > 0$  است.  $x$  میزان پاداش به ازای هر بار باد کردن است. برای ارزیابی سود و زیان دو راه وجود دارد؛ یکی این که تصمیم‌گیرنده پیش از هر بار باد کردن بادکنک سود و زیان حاصل از باد کردن یا متوقف شدن را ارزیابی کند و براساس آن تصمیم بگیرد (ارزیابی متوالی و انتخاب) و دیگر این که پیش از شروع به باد کردن هر بادکنک، برای باد کردن، یک تعداد بهینه برای خود در نظر بگیرد که این تعداد بهینه سودش را بیشینه کند (ارزیابی پیشاپیش و انتخاب). حال این دو حالت را توضیح می‌دهیم:

**(الف) ارزیابی متوالی و انتخاب:** در این راهکار تصمیم‌گیرنده پیش از هر بار باد کردن بادکنک، عواقب باد کردن یا متوقف شدن را ارزیابی می‌کند. در توضیح آزمون BART گفتیم که فرد به ازای هر بار نترکیدن بادکنک، مقدار  $x$  تومان پول، در

1- Prospect Theory (PT)



شکل ۱- تصویری از صفحه نمایش رایانه، در حین اجرای نسخه فارسی آزمون خطرپذیری بادکنکی (اختیاری و همکاران، ۱۳۸۱)

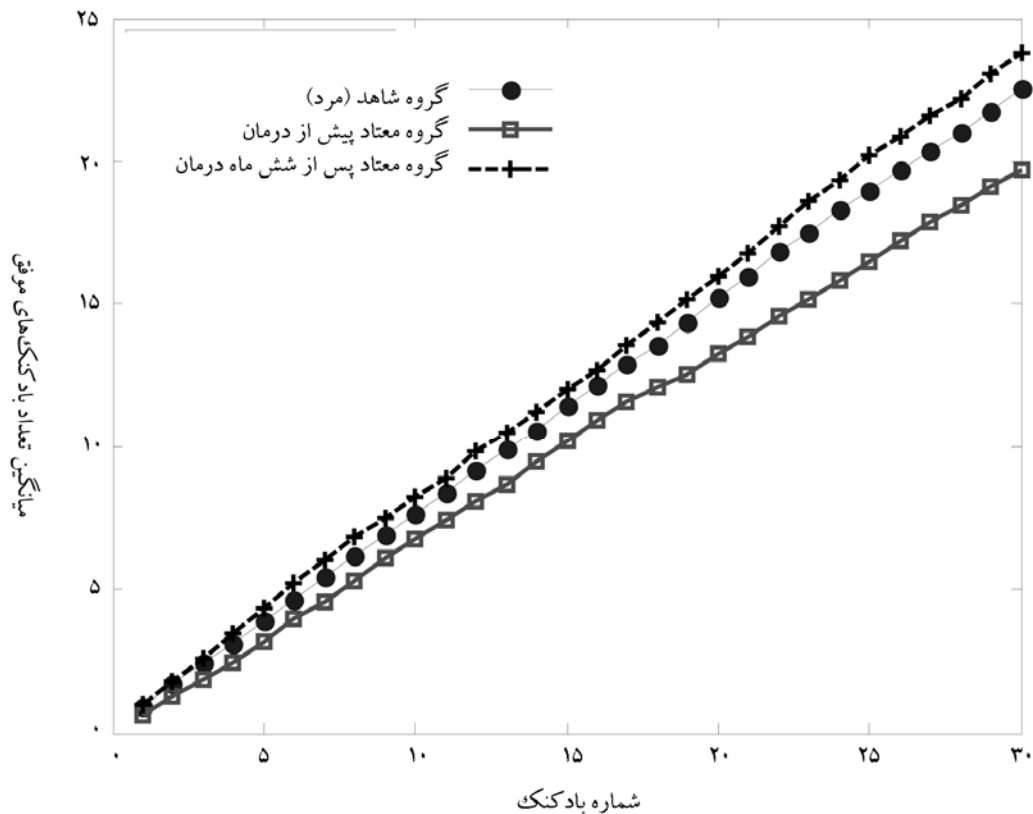
جدول ۱- خصوصیات جمعیتی آزمودنی‌ها (بین سن گروه‌ها اختلاف معناداری وجود ندارد)

گروه	شاهد (مرد)	شاهد (زن)	بیماران قبل از درمان	بیماران سه ماه پس از درمان	بیماران شش ماه پس از درمان
تعداد	۲۷	۲۳	۲۵	۲۱	۱۹
سن	۲۶/۳۷ ± ۵/۵۰	۲۸/۰۴ ± ۶/۰۲	۲۷/۶۹ ± ۵/۴۵	۲۸/۰۱ ± ۴/۹۷	۳۰/۳۷ ± ۵/۵۸

جدول ۲- مدل‌های با پیش‌فرض یادگیری و ارزیابی

شماره مدل	نحوه ارزیابی	مدل ذهنی فرد از فرآیند ترکیدن بادکنک	روش یادگیری	حساسیت پاسخ با کسب تجربه	تعداد پارامترهای آزاد
۱	متوالی با رابطه ۷	ایستا	رابطه ۱۹	ثابت با رابطه ۹	۶
۲	متوالی با رابطه ۷	ایستا	رابطه ۱۹	افزایشی با روابط ۹ و ۱۰	۶
۳	از پیش با رابطه ۱۲	ایستا	رابطه ۱۹	ثابت با رابطه ۱۴	۴
۴	از پیش با رابطه ۱۲	ایستا	رابطه ۱۹	افزایشی ۱۴ و ۱۰	۴
۵	متوالی با رابطه ۷	ناایستا	رابطه ۲۸	ثابت با رابطه ۹	۶
۶	متوالی با رابطه ۷	ناایستا	رابطه ۲۸	افزایشی با روابط ۹ و ۱۰	۶
۷	از پیش با رابطه ۱۳	ناایستا	رابطه ۲۸	ثابت با رابطه ۱۴	۴
۸	از پیش با رابطه ۱۳	ناایستا	رابطه ۲۸	افزایشی ۱۴ و ۱۰	۴





شکل ۲- نمودار تجمعی میانگین تعداد بادکنک‌های موفق

جدول ۳- پارامترهای تخمین زده شده برای مدل سوم

بیماران قبل از درمان	بیماران پس از سه ماه درمان	بیماران بعد از شش ماه درمان	شاهد زن	شاهد مرد	
۴۳۰۵±۴۵۲۹	۲۹۹۰±۴۸۶۱	۲۳۵۱±۴۳۴۳	۳۱۲۳±۴۸۸۳	۹۲۲۰±۳۵۰۳۳	$a_0$
۴۳۶۵±۴۵۶۰	۳۰۱۳±۴۸۸۲	۲۴۲۸±۴۴۴۷	۳۱۶۳±۴۹۱۸	۹۲۸۱±۳۵۰۵۲	$m_0$
۰/۱۰±۰/۰۸	۰/۱۵±۰/۱۰	۰/۱۵±۰/۱۰	۰/۱۵±۰/۱۱	۰/۱۴±۰/۰۹	$\beta$
۱/۱۴±۱/۲۵	۰/۷۹±۰/۵۳	۰/۹۳±۰/۹۲	۰/۷۵±۰/۵۹	۰/۹۳±۰/۶۴	$\gamma^+$

نشان می‌دهیم. اگر تصمیم‌گیرنده فرآیند ترکیدن بادکنک‌ها را ایستا در نظر بگیرد، تعداد بهینه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(12) \quad g_h = \frac{-\gamma^+}{\ln(q_h)}$$

و اگر فرآیند را نایستا فرض کند، تعداد بهینه به صورت زیر خواهد بود:

$$(13) \quad g_h = \frac{\hat{n}_h \cdot \gamma^+}{1 + \gamma^+}$$

$$(11) \quad E_i(pump) = \pi_{h,i}(ix)^{\gamma^+}$$

که در آن  $\pi_{h,i}$  احتمال  $i$  بار باد کردن بادکنک  $n$  است، بدون آنکه بترکد.

تعداد دفعات باد کردنی که رابطه ۱۱ را بهینه می‌کند، به  $\pi_{h,i}$  بستگی دارد که این نیز به نوبه خود به مدلی که تصمیم‌گیرنده از فرآیند باد کردن بادکنک دارد وابسته است. ما تعداد بهینه را با  $g_h$

۴- نتایج بیشترین تعداد بادکنک باد شده، مشابه میانگین دفعات باد شدن بادکنک‌هایی بود که نترکیده بودند.

۵- مقدار کل پول برده شده در زنان گروه شاهد، به طور معناداری کمتر از مردان گروه شاهد بود. این مقدار در سایر گروه‌ها تفاوت معناداری نداشت.

بنابراین از نظر میانگین تعداد باد کردن، در بادکنک‌هایی که نترکیده‌اند؛ میانگین تعداد باد کردن، در کل بادکنک‌ها و بیشترین تعداد باد کردن، گروه معتادان پیش از درمان نسبت به مردان گروه شاهد رفتار پرخطرتری داشتند. همچنین این گروه نسبت به معتادان پس از شش ماه درمان، رفتار پرخطرتری از خود نشان دادند. نکته جالب این است که در هیچ کدام از نمرات آزمون، میان گروه معتادان پس از شش ماه درمان و مردان گروه شاهد تفاوت معناداری مشاهده نشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که درمان با استفاده از متادون، برای برطرف کردن مشکلات نظام تصمیم‌گیری معتادان به کراک مؤثر بوده است.

شکل ۲ نمودار تجمعی میانگین تعداد بادکنک‌های موفق را در سه گروه مرد شاهد، معتادان پیش از درمان و معتادان پس از شش ماه درمان نشان می‌دهد. در این نمودار، محور افقی نشان‌دهنده شماره بادکنک و محور عمودی نشانگر میانگین مجموع تعداد بادکنک‌های موفق است. میانگین گیری روی افراد یک گروه انجام شد که برای مثال نقطه ۷۶/۱۷ و ۲۲ روی یکی از نمودارها نشان می‌دهد که از ۲۲ بادکنک آن گروه، به طور میانگین، ۷۶/۱۷ بادکنک نترکیده است. پس وقتی شیب یک نمودار بیشتر است، یعنی افراد آن گروه سریع‌تر یاد گرفته‌اند که بادکنک‌های خود را نترکانند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شیب نمودار گروه مرد شاهد و گروه معتادان پس از شش ماه درمان، بیشتر از گروه معتادان پیش از درمان است.

#### نتایج تخمین ویژگی‌های مدل‌ها

حال با استفاده از پارامترهای تخمین زده شده برای مدل‌ها، علل تفاوت مشاهده شده در بازده گروه‌های مختلف را بررسی

که در هر دو مورد  $\gamma^+$  پارامتر آزاد است و باید با استفاده از داده‌ها تخمین زده شود. مانند حالت قبل، احتمال باد کردن بادکنک برای  $i$  امین بار را می‌توان به صورت زیر فرض کرد:

$$(۱۴) \quad r_{h,i} = \frac{1}{1 + e^{\beta \cdot \delta_{h,i}}}$$

که  $\delta_{h,i} = i - g_h$  و  $\beta$  پارامتر حساسیت فرد نسبت به ارزیابی انتخاب‌هایش است. در اینجا نیز می‌توان  $\beta$  را ثابت و یا به صورت رابطه ۱۰ در نظر گرفت.

تا اینجا دو حالت برای نمایش ذهنیت فرد از رفتار بادکنک، دو حالت برای ارزیابی انتخاب‌ها و دو حالت برای اعمال ارزیابی به انتخاب‌ها، بیان شد. از ترکیب این حالات، هشت مدل به دست می‌آید که پارامترهای آنها با استفاده از روش ML تخمین زده می‌شود. این مدل‌ها به طور خلاصه در جدول ۲ آورده شده است. در بخش بعد، نتایج تخمین پارامترها بیان خواهد شد.

برای پاسخ دادن به سؤال‌هایی که در مقدمه مطرح شد، در این بخش ابتدا نتایج حاصل از اجرای آزمون روی آزمودنی‌ها و نمرات بررسی می‌شود و سپس نتایج به دست آمده از برآورد پارامترهای مدل‌های بیان شده در بخش قبل، مورد توجه قرار خواهد گرفت. نتایج آزمون برای گروه‌های مختلف آزمودنی به شرح زیر است:

۱- میانگین دفعات باد شدن بادکنک‌هایی که نترکیده‌اند، در مردان گروه شاهد بیشتر از زنان گروه شاهد بود (اما این تفاوت معنادار نبود. این مقدار در مردان گروه شاهد به طور معناداری کمتر از گروه معتادان پیش از درمان بود ( $p < 0.05$ ). همچنین مقدار آن برای معتادان پس از شش ماه درمان به طور معناداری کمتر از معتادان پیش از درمان بود ( $p < 0.05$ ). میان سایر گروه‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد.

۲- در مورد میانگین دفعات باد شدن کل بادکنک‌ها، نتایج کاملاً مانند قسمت قبل بود.

۳- تعداد بادکنک‌هایی که نترکیده بودند، در مردان گروه شاهد بیشتر از گروه معتادان پیش از درمان بود. این مقدار در گروه معتادان پس از شش ماه درمان هم بیشتر از گروه معتادان پیش از درمان بود ( $p < 0.05$ ).

1- Adjusted BART score

2- Unadjusted BART score

$\gamma^+$  تعیین می‌شود. حساسیت تصمیم‌گیرنده به مقدار ارزش با  $\beta$  مشخص می‌شود.<sup>۱</sup>

نتایج تخمین پارامترها نشان داد که دو پارامتر  $\gamma^+$  و  $\gamma^-$  برای مردان گروه شاهد کمتر از مقدار این پارامترها برای گروه معتادان پیش از درمان است، اما این تفاوت‌ها معنادار نیست ( $p < 0.01$  در هر دو مورد). اما مقدار پارامتر  $\theta$  برای گروه مردان به طور معناداری از گروه معتادان پیش از درمان بیشتر است ( $p < 0.05$ ). سایر ویژگی‌های مدل‌ها دارای تفاوت معنادار نیستند.

پس، از میان تمام پارامترهای این مدل، فقط  $\theta$  توانسته میان گروه شاهد مرد و گروه معتادان پیش از درمان تمایز گذارد. در بخش بعد خواهیم دید که ویژگی‌های این مدل با نمرات آزمون همبستگی کمی داشته و بنابراین این مدل توصیف‌کننده خوبی برای داده‌ها نیست.

#### مدل سوم

همان‌طور که گفته شد، در این مدل تصمیم‌گیرنده پیش از شروع به باد کردن هر بادکنک، یک تعداد بهینه برای باد کردن بادکنک در نظر می‌گیرد. سپس در هر بار باد کردن، احتمال باد کردن کاهش یافته تا به مقدار  $0.5$  در تعداد بهینه در نظر گرفته شده، می‌رسد. ویژگی دیگر این مدل، لحاظ کردن این فرض است که تصمیم‌گیرنده به طور نادرست فرآیند ترکیدن بادکنک را با احتمال ثابت در تمام باد کردن‌ها در نظر می‌گیرد (مدل ایستا). در این مدل تعداد بهینه ( $g_h$ ) از رابطه  $g_h = \frac{-\gamma^+}{\ln(q_h)}$  به دست می‌آید و نهایتاً احتمال باد کردن هم به صورت

$$r_{h,i} = \frac{1}{1 + e^{\beta \delta_{h,i}}}$$

می‌شود که در آن  $\delta_{h,i}$  فاصله تا تعداد بهینه است.

در جدول ۳ مقدار پارامترهای تخمین‌زده شده، با استفاده از ML آمده است. پارامترهای  $\gamma^+$  و  $\beta$  در این مدل به خوبی توانسته‌اند گروه‌های مرد شاهد، معتادان پیش از درمان و معتادان پس از شش ماه درمان را از هم تفکیک کنند. در اینجا پارامتر  $\gamma^+$

می‌کنیم. نتایج این تخمین نشان داد که برای بیشتر آزمودنی‌ها، مدل‌های اول و سوم بهترین برآزش را از لحاظ میانگین مقدار شباهت<sup>۱</sup> و AIC داشته‌اند. نکته مهم دیگر این است که مدل پایه‌ای برای هیچ فردی مدل بهینه نبوده است. این نتایج با آنچه در (والستن و همکاران، ۲۰۰۵) به دست آمده است سازگاری دارد. در بخش‌های بعدی، به دو مدل اول و سوم توجه خواهیم کرد.

#### مدل اول

همان‌طور که قبلاً گفته شد، این مدل دارای شش پارامتر است. ابتدا این مدل را دوباره، اما به صورت خلاصه توضیح داده و برای ساده شدن مطالعه، روابط را مجدداً بیان می‌کنیم. در این مدل فرض می‌شود که تصمیم‌گیرنده، مدل بادکنک را ایستا در نظر می‌گیرد؛ یعنی فرض می‌کند که احتمال ترکیدن بادکنک در تمام دفعات باد کردن یکسان است. بنابراین مدل بادکنک در ذهن تصمیم‌گیرنده یک فرآیند دو جمله‌ای با پارامتر  $q=1-p$  است که تصمیم‌گیرنده این پارامتر را به صورت بیزی به روز می‌کند. بنابراین توزیع  $q$  را به صورت یک توزیع بتا با پارامترهای  $a_0$  و  $m_0$  در نظر می‌گیریم.  $a_0$  بیشتر به این معنی است که تصمیم‌گیرنده برای ترکیدن بادکنک احتمال بیشتری را در نظر می‌گیرد و  $m_0$  بیشتر یعنی این که تصمیم‌گیرنده به نظر خود اطمینان بیشتری دارد. قانون به روز کردن  $q$  در رابطه (۱۹) آمده است. در این مدل تصمیم‌گیرنده ارزیابی را به صورت متوالی و پیش از هر بار باد کردن انجام می‌دهد. ارزش هر بار باد کردن از رابطه (۷) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$b_{h,i} = (1 - \hat{p}_{h,i})x^{\gamma^+} - \theta \hat{p}_{h,i}((i-1)x)^{\gamma^-}$$

در اینجا سه پارامتر آزاد  $\gamma^+$ ،  $\gamma^-$ ،  $\theta$  وجود دارد. با این مقدار ارزش، احتمال باد کردن از رابطه (۹) به صورت زیر است:

$$r_{h,i} = \frac{e^{\beta b_{h,i}}}{1 + e^{\beta b_{h,i}}}$$

که در این رابطه هم  $\beta$  پارامتر آزاد است. میزان اهمیت ضرر برای تصمیم‌گیرنده با دو پارامتر  $\gamma^-$ ،  $\theta$  و میزان اهمیت سود با

1- likelihood

درمان، بیشتر از گروه معتادان پیش از درمان است و تفاوت معناداری با گروه مرد شاهد ندارد.

۳- هیچ‌کدام از پارامترها در دو گروه شاهد (مرد و زن) تفاوت معناداری ندارد. تفاوت نمرات آزمون این دو گروه هم معنادار نیست. بنابراین تفاوتی در عملکرد این دو گروه مشاهده نمی‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نظام تصمیم‌گیری گروه شاهد و معتادان به مواد افیونی (قبل و بعد از درمان نگاه‌دارنده با متادون)، با استفاده از آزمون خطرپذیری بادکنکی بررسی شد. نمرات آزمون نشان می‌دهد که رفتار معتادان پیش از درمان، خطرپذیرتر از گروه شاهد و گروه معتادان پس از شش ماه درمان است. علل این تفاوت در عملکرد، با مدل‌سازی شناختی بررسی شد. برای مدل‌سازی نظام تصمیم‌گیری آزمودنی‌ها، مدل‌های والستن و همکاران (۲۰۰۵) به کار رفت.

مدلی که برای بیشتر داده‌ها بهترین برازش را داشت، مدل سوم بود، یعنی مدلی که فرض می‌کند تصمیم‌گیرنده به اشتباه فرآیند ترکیب بادکنک‌ها را ایستا در نظر می‌گیرد. در این مدل تصمیم‌گیرنده پیش از شروع به باد کردن هر بادکنک، با استفاده از نظریه آینده‌نگری، میزان سود و ضرر خود را ارزیابی کرده و یک تعداد بهینه برای باد کردن آن بادکنک در نظر می‌گیرد. احتمال باد کردن در هر بار، از یک مقدار زیاد شروع شده و به مقدار ۰/۵ در این تعداد بهینه می‌رسد. تحلیل پارامترهای تخمین‌زده شده این مدل، برای آزمودنی‌های گروه‌های مختلف نشان داد که در این مدل دو پارامتر  $\gamma^+$  و  $\beta$  در گروه معتادان پیش از درمان با گروه شاهد مرد و گروه معتادان پس از شش ماه درمان به طور معناداری تفاوت دارد. بیشتر بودن  $\gamma^+$  در گروه معتادان پیش از درمان (نسبت به دو گروه دیگر) حاکی از آن است که یک دلیل بروز رفتار مخاطره‌جویانه در این گروه این است که به میزان سود احتمالی حاصل از انتخاب ارزش بیشتری می‌دهند.

برای گروه مرد شاهد، کمتر از گروه معتادان پیش از درمان است ( $p < 0/01$ ). همچنین پارامتر  $\beta$  برای گروه مرد شاهد، بیشتر از مقدار این پارامتر برای گروه معتادان پیش از درمان می‌باشد ( $p < 0/01$ ). مقدار پارامتر  $\gamma^+$  در گروه معتادان پس از شش ماه درمان، کمتر از معتادان پیش از درمان است ( $p < 0/05$ ). مقدار پارامتر  $\beta$  در گروه معتادان پس از سه ماه درمان کمتر از گروه معتادان پیش از درمان است ( $p < 0/05$ ).

تحلیل بیشتر پارامترها نشان می‌دهد که همبستگی پارامترهای مدل اول با نمرات آزمون بسیار کم است و بنابراین این مدل نمی‌تواند خیلی توصیف‌کننده رفتار آزمودنی‌ها باشد. اما پارامترهای مدل سوم، همبستگی زیادی با نمرات آزمون دارند. بنابراین ما توجه خود را به نتایج حاصل از تحلیل پارامترهای مدل سوم معطوف می‌کنیم. با توجه به نتایج حاصل از تخمین پارامترها و نمرات آزمون چنین می‌توان گفت:

۱- پارامتر  $\gamma^+$  در گروه معتادان پیش از درمان، به طور معناداری بیشتر از گروه شاهد مرد است. همان‌طور که در رابطه ۱۱ دیده می‌شود، این پارامتر میزان ارزش سود تصمیم‌گیرنده را تعیین می‌کند. بیشتر بودن این پارامتر در گروه معتادان پیش از درمان، نشان‌دهنده پاداش‌جویی بیشتر این گروه است. از طرف دیگر، با توجه به رابطه ۱۲، این پارامتر به طور مستقیم، تعداد باد کردن بهینه برای هر بادکنک را تعیین می‌کند. همبستگی زیاد این پارامتر با بیشترین تعداد باد کردن بادکنک‌ها نیز به همین دلیل است. نکته دیگر این که، مقدار این پارامتر در معتادان پس از شش ماه درمان، کمتر از معتادان پیش از درمان است. این نکته نشان می‌دهد که درمان با استفاده از متادون توانسته است میزان پاداش‌جویی معتادان را کاهش دهد.

۲- بیشتر بودن پارامتر  $\beta$  در گروه شاهد مرد نشان می‌دهد که این گروه تمایل بیشتری به انتخاب گزینه‌های با ارزش بیشتر دارد. در واقع معتادان پیش از درمان اهمیت کمتری به ارزیابی خود از عواقب انتخاب باد کردن یا متوقف کردن داده‌اند. در اینجا نیز مقدار این پارامتر در گروه معتادان پس از شش ماه

مدل‌سازی شناختی بررسی کردند. مدلی مورد استفاده آنها سه پارامتر دارد: پارامتر انگیزشی که میزان توجه به سود و زیان را منعکس می‌کند، پارامتری که میزان یادگیری از یک دنباله به بعدی را منعکس می‌کند و پارامتر سوم که میزان حساسیت در پاسخ را نشان می‌دهد. آنها مشاهده کردند که فقط پارامترهای اول و سوم بین دو گروه دارای تفاوت معناداری است. پارامتر انگیزشی تقریباً معادل  $\gamma^+$  و پارامتر سوم تقریباً معادل  $\beta$  در مدل‌های استفاده شده در این پژوهش است. از طرف دیگر، آنها به این نتیجه رسیدند که پارامتر نمایانگر یادگیری در دو گروه تفاوت چشمگیری ندارد که این پارامتر معادل عدم تفاوت در پارامترهای مرتبط با احتمال ذهنی تصمیم‌گیرنده در پژوهش ماست. بنابراین، الگوی نتایج با آنچه از مطالعه (استاوت و همکاران، ۲۰۰۴) به دست آمده، سازگار است.

هنوز در مورد آثار درمان نگاه‌دارنده با متادون بر نظام شناختی معتادان، چندان اتفاق نظر وجود ندارد. برخی از مطالعات نشان‌دهنده آن است که مصرف متادون به کاهش رفتارهای مخاطره‌جویانه (مانند مصرف دارو با سرنگ مشترک یا رفتارهای پرخطر جنسی) می‌انجامد (کیان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ لولیس<sup>۲</sup>، استرودرز<sup>۳</sup>، چیت‌وود<sup>۴</sup> و مک‌گی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۰) که احتمالاً به دلیل تغییر عملکرد قشر پره‌فرونتال در اثر مصرف متادون است (ارش<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعه دیگری (گروبر<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶) نیز نشان داده است که، پس از دو ماه درمان نگاه‌دارنده با متادون، آزمودنی‌ها در شاخص‌های یادگیری، حافظه کلامی و تصویری، سرعت روانی - حرکتی<sup>۸</sup> و همچنین تکرار مصرف مواد بهبود چشمگیری از خود نشان دادند.

اما برخلاف این نتایج، پیراستو<sup>۹</sup> و همکارانش گزارش کرده‌اند که معتادان تحت درمان نگاه‌دارنده با متادون، در آزمون دسته‌بندی کارت ویسکانسین خطای بیشتر و در آزمون قمار/ایوا

کمتر بودن پارامتر  $\beta$  در گروه معتادان پیش از درمان (نسبت به دو گروه دیگر) نیز نشان می‌دهد که این گروه برای ارزیابی خود از میزان عواقب انتخاب، ارزش کمتری قائل بوده و بنابراین رفتار تصادفی‌تری دارند. این نتایج با آنچه در تحقیقات قبلی از نظام تصمیم‌گیری افراد معتاد به دست آمده (باسمیر و استاوت، ۲۰۰۲؛ استاوت و همکاران، ۲۰۰۴) سازگاری دارد. نکته دیگر این که هیچ‌کدام از پارامترهای این مدل در گروه معتادان پس از شش ماه درمان و شاهد مرد تفاوت معناداری ندارند. این مسأله نشان می‌دهد که درمان با متادون، در رفع عدم تعادل افراد معتاد در تصمیم‌گیری مؤثر بوده است. همچنین، همبستگی زیاد میان پارامترهای این مدل با نمرات آزمون دال بر آن است که این مدل برای رفتار آزمودنی‌ها در آزمون خطرپذیری بادکنکی، توصیف - کننده خوبی است.

این پژوهش از دو جهت با تحقیق والستن و همکاران (۲۰۰۵) تفاوت دارد. اول این که در اینجا ما آزمون خطرپذیری بادکنکی را برای سه گروه شاهد، معتادان به مواد افیونی پیش از درمان و معتادان به مواد افیونی پس از درمان نگاه‌دارنده با متادون انجام داده‌ایم. یافته‌ها این امکان را فراهم کرد که علاوه بر مقایسه عملکرد گروه معتاد با شاهد، بتوانیم عملکرد گروه معتاد پس از درمان را نیز بررسی کرده و اثر درمان را بر بهبود نظام تصمیم‌گیری آنها ارزیابی کنیم. در تحقیق والستن و همکاران، آزمودنی‌ها از دو گروه سیگاری و غیرسیگاری انتخاب شده بودند. تفاوت دوم این است که در این پژوهش، تفاوت پارامترها در آزمودنی‌های گروه‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. در واقع، با بررسی تفاوت پارامترها در گروه‌های مختلف، سعی شد نظام تصمیم‌گیری این گروه‌ها ارزیابی شود. در تحقیق والستن و همکاران (۲۰۰۵)، همبستگی پارامترهای مدل با معیارهای رفتارهای مخاطره‌جویانه (که از گزارش‌های خود آزمودنی‌ها به دست آمده بود) مورد توجه قرار گرفته است. از این جهت کار ما در این پژوهش، به تحقیق استات و همکاران (۲۰۰۴) شباهت دارد. آنها در پژوهش خود رفتار دو گروه شاهد و معتادان به کوکائین در آزمون قمار/ایوا را با استفاده از

1- Qian  
3- Strothers  
5- McGhee  
7- Gruber  
9- Pirastu

2- Lollis  
4- Chitwood  
6- Ersche  
8- psychomotor speed

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در این پژوهش، با استفاده از آزمون خطرپذیری بادکنکی، رفتار گروه معتادان به مواد افیونی قبل و بعد از درمان نگره‌دارنده با متادون ارزیابی و با رفتار گروه شاهد مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهند که رفتار گروه معتادان پیش از درمان، مخاطره‌جویانه‌تر از رفتار گروه شاهد و گروه پس از شش‌ماه درمان نگره‌دارنده با متادون است. همچنین میان رفتار گروه شاهد و گروه معتادان پس از شش‌ماه درمان، تفاوت معناداری مشاهده نشد. مدل‌سازی شناختی آزمودنی‌ها نشان می‌دهد که رفتار مخاطره‌جویانه در گروه معتادان ناشی از عدم تعادل در ارزیابی سود و همچنین حساسیت کمتر به پاسخ است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که درمان با استفاده از متادون در رفع این دو مسأله مؤثر بوده است.

### سپاس‌گزاری

این مقاله با بهره‌گیری از منابع طرح ارزیابی ابعاد مختلف تصمیم‌گیری مخاطره‌آمیز قبل و بعد از درمان نگره‌دارنده با متادون در مقایسه با گروه کنترل، مصوب سال ۱۳۸۵ دانشگاه علوم پزشکی تهران، در مرکز ملی مطالعات اعتیاد اجرا شد.

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۳/۴؛ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۶

1- reinforcement learning  
2- forgetting factor  
3- external validity  
4- Corrado  
5- Doya

عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهند (پیراستو و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از آن است که درمان نگره‌دارنده با متادون باعث کاهش خطرپذیری معتادان به مواد افیونی می‌شود. این نتایج نشان می‌دهند که برای بررسی تأثیرات درمان نگره‌دارنده با متادون بر نظام شناختی انسان تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

در هیچ‌یک از مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، پارامتری وجود ندارد که بتواند میزان اهمیتی را که تصمیم‌گیرنده به پاداش‌های بلندمدت (در مقابل پاداش‌های کوتاه مدت) می‌دهد، ارزیابی کند. در حالی که آزمون خطرپذیری بادکنکی یک آزمون متوالی است و می‌تواند میزان آینده‌نگری تصمیم‌گیرنده را ارزیابی کند. بنابراین، برای مدل‌سازی رفتار آزمودنی‌ها در پژوهش‌های بعدی، می‌توان از مدل‌های یادگیری تقویتی<sup>۱</sup> که در آنها عامل فراموشی<sup>۲</sup> نمایانگر این مفهوم است، بهره جست.

والستن و همکاران (۲۰۰۵) برای ارزیابی میزان خوب بودن برازش مدل‌ها، از سنجش روایی بیرونی<sup>۳</sup> استفاده کردند، یعنی میزان همبستگی بین پارامترهای مدل و یک سری از شاخص‌های رفتارهای خطرپذیر را محاسبه نمودند. برای روایی‌سنجی مدل‌های برازش‌شده، از سیگنال‌های ثبت‌شده مغزی هم می‌توان استفاده کرد. برای این کار باید ارتباط میان سیگنال‌های درونی مدل‌ها و سیگنال‌های مغزی در حین انجام آزمون را بررسی کرد و در صورت کشف وجود تناظر قابل توجه نتیجه گرفت که در واقع محاسبه با مدل در نظام عصبی پیاده‌سازی می‌شود (کورادو<sup>۴</sup> و دویا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷).

### منابع

- اختیاری، ح.، رضوانفر، م.، و مکری، آ. (۱۳۸۷). تکانشگری و ابزارهای گوناگون ارزیابی آن: بازبینی دیدگاه‌ها و بررسی‌های انجام‌شده. *مجله روان‌پزشکی و روان‌شناسی بالینی ایران*، ۴(۳)، ۲۴۷-۲۵۷.
- اختیاری، ح.، مقیمی، ا.، جنتی، ع.، و بهزادی، آ. (۱۳۸۱). ارزیابی نسخه فارسی آزمون خطرپذیری بادکنکی، ابزاری رفتارسنج برای بررسی تمایلات مخاطره‌جویی. *فصلنامه تازه‌های علوم شناختی*، ۴(۱۶)، ۲۰-۱۰.

- Aklin, W. M., Lejuez, C. W., Zvolensky, M. J., Kahler, C. W., & Gwadz, M. (2005). Evaluation of behavioral measures of risk taking propensity with inner city adolescents. *Behaviour Research and Therapy*, 43(2), 215–228.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1-3), 7-15.
- Busemeyer, J. R., & Stout, J. C. (2002). A contribution of cognitive decision models to clinical assessment: Decomposing performance on the Bechara gambling task. *Psychological assessment*, 14(3), 253-262.
- Corrado, G., & Doya, K. (2007). Understanding neural coding through the model-based analysis of decision making. *Journal of Neuroscience*, 27(31), 8178-8180.
- Ersche, K. D., Fletcher P. C., Roiser J. P., Fryer, T. D., London, M., Robbins, T. W., & Sahakian, B. J. (2006). Differences in orbitofrontal activation during decision-making between methadone-maintained opiate users, heroin users and healthy volunteers. *Psychopharmacology*, 188(3), 364–373.
- Gruber, S. A., Tzilos, G. K., Silveri, M. M., Pollack, M., Renshaw, P. F., Kaufman M. J., & Yurgelun-Todd, D. A. (2006). Methadone maintenance improves cognitive performance after two months of treatment. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 14(2), 157–164.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Jones, H. A., Richards, J. B., Strong, D. R., Kahler, C. W., & Read, J. P. (2003). The Balloon Analogue Risk Task (BART) differentiates smokers from nonsmokers. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 11(1), 26–33.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Zvolensky, M. J., & Pedulla, C. M. (2003). Evaluation of the Balloon Analogue Risk Task (BART) as a predictor of adolescent real-world risk-taking behaviors. *Journal of Adolescence*, 26(4), 475–479.
- Lejuez, C. W., Simmons, B., Aklin, W. M., Daughters, S. B., & Dvir, S. (2004). Risk-taking propensity and risky sexual behavior of individuals in residential substance use treatment. *Addictive Behaviors*, 29(8), 1643–1647.
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., & Brown, R. L. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75-84.
- Lollis, C. M., Strothers, H. S., Chitwood, D. D., & McGhee, M. (2000). Sex, drugs, and HIV: Does methadone maintenance reduce drug use and risky sexual behavior? *Journal of Behavioral Medicine*, 23(6), 545-557.
- Pirastu, R., Fais, R., Messina, M., Bini, V., Spiga, S., Falconieri, D., & Diana, M. (2006) Impaired decision-making in opiate-dependent subjects: Effect of pharmacological therapies. *Drug and Alcohol Dependence*, 83(2), 163–168.
- Qian, H. Z., Hao, C., Ruan, Y., Cassell, H. M., Chen, K., Qin, G., Yin, L., Schumacher, J. E., Liang, S., Shao, Y. (2008). Impact of methadone on drug use and risky sex in China. *Journal of Substance Abuse Treatment*, 34(4), 391–397.
- Stout, J. C., Busemeyer, J. R., Lin, A., Grant, S. J., & Bonson, K. R. (2004). Cognitive modeling analysis of decision making processes in cocaine abusers. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11(4), 742-747.
- Wallsten, T. S., Pleskac, T. J., & Lejuez, C. W. (2005). Modeling behavior in a clinically diagnostic sequential risk-taking task. *Psychological Review*, 112(4), 862–880.

## پیوست ۱

### مدل هدف

در مدل هدف فرض می‌کنیم که تصمیم‌گیرنده پیش از بادکنک اول یک مقدار هدف،  $t_1^*$ ، در نظر گرفته و به صورت احتمالاتی بر اساس این مقدار بادکنک را باد می‌کند. سپس تصمیم‌گیرنده این مقدار هدف را کاهش می‌دهد، اگر بادکنک بترکد؛ و آن را افزایش می‌دهد، اگر پیش از ترکیدن باد کردن را متوقف کند. هر چه فرد تجربه‌ی بیشتری کسب می‌کند، مقدار این تغییر کاهش می‌یابد.

اگر برای بادکنک  $h$ ام مقدار هدف برابر  $t_h^*$  باشد، احتمال این که فرد برای  $i$ ام باد کند،  $r_{h,i}$ ، توسط رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$r_{h,i} = \frac{1}{a + \exp(\beta \delta_{h,i})} \quad (15)$$

که در آن  $\delta_{h,i} = t_h^* - i$  و  $\beta > 0$ . توجه کنید که با توجه به این رابطه احتمال باد کردن از یک مقدار بزرگ شروع شده و هرچه آن بزرگ‌تر می‌شود این مقدار کاهش می‌یابد. وقتی که  $i = t_h^*$  می‌شود احتمال باد کردن برابر ۰/۵ خواهد شد. مقادیر هدف برای هر بادکنک با استفاده از رابطه‌ی زیر بهبود می‌یابند:

$$t_{h+1}^* = \begin{cases} \text{round}[t_h^* + a_1 \exp(-\alpha h)], & \text{if DM stops} \\ \text{round}\{t_h^*[1 - a_2 \exp(-\alpha h)]\}, & \text{if balloon explodes} \end{cases} \quad (16)$$

که در آن  $a_1, a_2, \alpha > 0$ . پس مدل هدف دارای ۵ پارامتر آزاد است،  $t_1^*$  و  $a_1, a_2, \alpha, \beta$ .

## پیوست ۲

فرض می‌کنیم که فرد، نظر خود را به صورت بهینه (توسط قانون بیز) به‌روز می‌کند. پس توزیع پیشین بتا را به این صورت به‌روز می‌کنیم:  $m_0$  را در هر بادکنک به تعداد باد کردن‌ها و  $a_0$  را به تعداد بادهایی که باعث ترکیدن نشده‌اند، افزایش می‌دهیم. پس تخمین به‌روز شده  $q$  بعد از بادکنک اول با فرض این که فرد  $m_1$  بار بادکنک را باد کرده است، اگر بادکنک ترکیده باشد:

$$q_2 = \frac{a_0 + m_1}{m_0 + m_1} \quad (17)$$

و اگر ترکیده باشد:

$$q_2 = \frac{a_0 + m_1 - 1}{m_0 + m_1} \quad (18)$$

خواهد شد. به‌طور کلی تخمین فرد از  $q$  بعد از  $h$  بادکنک را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q_2 = \frac{a_0 + \sum_{h'=1}^{h-1} (m_{h'} - d_{h'})}{m_0 + \sum_{h'=1}^{h-1} m_{h'}} \quad (19)$$

که در آن:

$$d_{h'} = \begin{cases} 1 & \text{if balloon } h' \text{ exploded} \\ 0 & \text{if balloon } h' \text{ did not exploded} \end{cases} \quad (20)$$

## پیوست ۳

در اینجا ما یک توزیع پیشین برای  $n$ ،  $p(n)$ ، در نظر گرفته و سپس آن را با استفاده از قانون بیز به‌روز می‌کنیم. در واقع می‌خواهیم  $p(n|m_1, d_1, \dots)$  را به‌دست آوریم که در آن  $m_i$  تعداد باد کردن بادکنک  $i$ ام و  $d_i$  نشان می‌دهد که بادکنک  $i$ ام ترکیده است یا نه و از رابطه‌ی ۲۰ به دست می‌آید. طبق قانون بیز داریم:



$$p(n | m_1, d_1, \dots, m_h, d_h) = \frac{p(m_1, d_1, \dots, m_h, d_h | n) p(n)}{p(m_1, d_1, \dots, m_h, d_h)} \quad (21)$$

اما با توجه به این که

$$P_{h,i} = \frac{1}{n-i+1} \quad (22)$$

و:

$$q_{h,i} = 1 - P_{h,i} = \frac{n-i}{n-i+1} \quad (23)$$

خواهیم داشت:

$$p(m \text{ pumps ending with an explosion} | n) = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{n-2}{n-1} \dots \frac{n-m+1}{n-m+2} \cdot \frac{1}{n-m+1} = \frac{1}{n} \quad (24)$$

و همچنین:

$$p(m \text{ pumps ending without an explosion} | n) = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{n-2}{n-1} \dots \frac{n-m+1}{n-m+2} \cdot \frac{n-m}{n-m+1} = \frac{n-m}{n} \quad (25)$$

با شرط  $n \geq m$ . پس در مجموع خواهیم داشت:

$$p(m_1, d_1, \dots, m_h, d_h | n) = \prod_{h'=1}^h \frac{s_{h'}(n-m_{h'})^{(1-d_{h'})}}{n^{h'}} \quad (26)$$

که در آن:

$$s_{h'} = \begin{cases} 0 & \text{if } n < m^* \\ 1 & \text{if } n \geq m^* \end{cases} \quad (27)$$

با  $m^* = \max(m_1, \dots, m_h)$ . حال می‌توان نوشت:

$$p(n | m_1, d_1, \dots, m_h, d_h) = \frac{\prod_{h'=1}^h s_{h'}(n-m_{h'})^{(1-d_{h'})} p(n) / n^{h'}}{\sum_{n'=1}^{\infty} \prod_{h'=1}^h [s_{h'}(n'-m_{h'})^{(1-d_{h'})} p(n') / n'^{h'}]} \quad (28)$$