فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران/ سال سیزدهم/ شماره ۳۸/ بهار ۱۳۸۸/ صفحات ۲۹-۱

برآورد نرخ تنزیل مبتنی بر نرخ خطر برای ایران و چند کشور منتخب

دکترقهرمان عبدلی*
حسن حیدری

تاریخ ارسال: ۱۳۸۶/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۲۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین مباحث در تجزیه و تحلیل فایده ـ هزینه پروژه‌های عمومی به عامل تنزیل مربوط می‌شود. به طور معمول برای تنزیل منافع و هزینه‌های هر پروژه بخش عمومی از نرخ تنزیل ثابت و به دنبال آن از عامل تنزیل نمایی (نزولی) استفاده می‌شود. این عامل تنزیل به دلایل زیر دقیق نیست: ۱. عوامل مؤثر و شدت تأثیر آنها برمنافع و هزینه‌های پروژه از زمانی به زمان دیگر متفاوت است، ۲. مطالعات تجربی[1] و آزمایشگاهی[2] نشان می‌دهند که افراد و گروه‌ها در عمل نرخ تنزیلی را که برای زمان‌های دورتر به کار می‌برند، کمتر از زمان‌های نزدیک است، ۳. اگر نااطمینانی نسبت به نرخ تنزیل وجود داشته باشد، می‌توان ثابت کرد که نرخ تنزیلی که از حل این سیستم به دست می‌آید تابع نزولی از زمان است. در این پژوهش نشان می‌دهیم که می‌توان مشکلات یادشده را از طریق ارتباط‌دادن عامل تنزیل به نرخ خطر حل‌نمود. بدین منظور،ضروری است توزیع احتمال پروژه مورد نظر و یا نرخ مرگ و میر جمعیت بهره‌بردار از آن را به دست آورده، سپس با استفاده از رابطه بین نرخ خطر و عامل تنزیل، عامل تنزیل را برای تنزیل منافع و هزینه‌ها به دست آورد. در این پژوهش، برای انواع توزیع احتمال، عامل تنزیل متناظر را استخراج کرده و با استفاده از نتایج پژوهش‌های پیشین برای توزیع نمایی و یکنواخت عامل تنزیل و نرخ خطر، متوسط عمرپروژه‌ها برای کشورهای ایران، هند، آمریکا، ژاپن، آلمان و فرانسه را استخراج کرده‌ایم. یافته‌ها نشان می‌دهد که، نرخ خطر در کشورهای ایران و هند از کشورهای دیگر بیشتر بوده و عمر متوسط پروژه‌ها در ایران و هند از کشورهای دیگر کمتر است.

طبقه‌بندی JEL:: H43, I38, D61

واژگان کلیدی: تجزیه و تحلیل فایده ـ هزینه، نرخ خطر، نرخ تنزیل.

---

* به ترتیب استادیاردانشکده اقتصاد دانشگاه تهران، دانشجوی دکترای اقتصاد، دانشگاه تهران
Email :g_addoli@yahoo.com
Email : hassanheydari78@yahoo.com

1.empirical

2. experimental

مقدمه

امروزه استفاده از تحلیل فایده-هزینه یکی از ابزارهای اصلی در ارزیابی طرح‌های بخش عمومی و دولتی به حساب می‌آید. محدودیت منابع و امکانات مالی و فیزیکی اجازه اجرای تمام طرح‌ها را نمی‌دهد، بنابراین، باید امکانات محدود به صورت بهینه بین پروژه‌ها و طرح‌های اقتصادی توزیع‌شده و آن طرح‌هایی باید در اولویت قرارگیرند که منافع خالص بیشتری نسبت به طرح‌های دیگر دارد و یا در صورتی‌که یک طرح مدنظر است، باید منافع خالص داشته باشد.

در تجزیه و تحلیل فایده-هزینه سه مشکل اصلی وجود دارد : ۱. تعیین اینکه چه چیزهایی را هزینهٔ پروژه و چه چیزهایی را منافع پروژه در نظر بگیریم، ۲. با فرض حل کامل مشکل نخست، چگونگی ارزش‌یابی پولی آن نیز مشکل است، زیرا برای بسیاری از منافع و هزینه‌ها قیمت بازاری وجود ندارد تا بتوان آنها را به صورت مبالغ پولی بیان نمود. حتی با فرض وجود بازار، ممکن است در آن اختلال‌هایی (مانند اثرات خارجی، انحصار، مالیات و جز این‌ها) وجود داشته‌باشد که در این‌صورت قیمت‌های بازاری علامت خوبی از ترجیحات جامعه و کمیابی منابع نخواهد بود، ۳. مشکل سوم و اما مهم‌تر از آنها این است که منابع و هزینه‌های پروژه در زمان‌های مختلف اتفاق می‌افتند. یعنی افراد مختلف در زمان‌های مختلف به‌طور یکسان از منافع و هزینه‌های آن تأثیر نمی‌پذیرند. بنابراین، باید با نرخ تنزیل مناسب منافع و هزینه‌های دوره‌های مختلف را با هم قابل مقایسه نمود. تعیین این نرخ برای طرح‌های بخش عمومی بسیار مشکل بوده و رویکردهای مختلفی در این زمینه وجود دارد. موضوع اصلی این پژوهش درباره نرخ تنزیل اجتماعی مناسب برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های فایده_هزینه است.در این پژوهش به این موضوع می‌پردازیم که عامل تنزیل باید در برگیرنده - رخ خطر- باشد و یا از فرآیندی به‌دست آید که تأثیر نرخ خطر را در آن نشان‌دهد[1].

۱. نرخ‌های تنزیل در عمل

برخی نویسندگان و پژوهشگران به لحاظ نظری اثبات می‌کنند که برای تنزیل منافع و هزینه‌های یک پروژه باید نرخ‌های تنزیل متفاوتی را برای گروه‌های ذینفع مختلف در زمان‌های مختلف به‌کار برد[2]. هندرسن و باتمن[3] (۱۹۹۵) نشان‌می‌دهند که محاسبه یک نرخ تنزیل ثابت برای پروژه‌های مختلف و برای زمان‌های مختلف غیرممکن است، زیرا عواملی که روی هزینه‌ها و منافع پروژه‌ها اثر می‌گذارند از پروژه‌ای به پروژه دیگر و از زمانی به زمان دیگر متفاوت هستند.

اگر درباره نرخی که برای تنزیل زمان‌های مختلف مناسب است، نااطمینانی داشته‌باشیم، در این‌صورت باید توزیع احتمال آن‌را به‌دست آوریم. میانگین این توزیع به عنوان عامل تنزیل خواهدبود. وایزمن و همکاران او[4] (۱۹۹۹) ثابت‌می‌کنند که عامل تنزیلی که از این روش به‌دست می‌آید در طی زمان نزولی

1. Rambude, et al,(2005)
2. Price And Nair(1985)
3. Henderson & Bateman (1995)
4. Weitzman et al

است. یعنی هرچقدر زمان طولانی‌تر باشد، منافع زمان‌های آتی نسبت به زمان فعلی از قطعیت کمتری برخوردار بوده، بدین روی، باید با نرخ تنزیل کمتری (یا نرخ تنزیل نزدیک صفر) تنزیل شوند.

شواهد تجربی که روانشناسان از طریق مطالعات تجربی و آزمایشگاهی به‌دست آورده‌اند، نشان می‌دهد که افراد نرخ تنزیلی را که برای تنزیل زمان‌های دوردست به‌کار می‌برند، بسیار کمتر از زمان‌های نزدیک است (جدول ۱ و جدول ۲).

جدول-۱. نرخ تنزیل برای زمان‌های آتی (مطالعه کروپر ۱۹۹۲)

آینده	۵ سال	۱۰ سال	۲۵ سال	۵۰ سال	۱۰۰ سال
نرخ تنزیل	۰/۱۶۸	۰/۱۱۲	۰/۰۷۴	۰/۰۴۸	۰/۰۳۸

جدول-۲. نرخ تنزیل برای زمان‌های آتی (مطالعه پنزیون ۱۹۶۹)

آینده	۶ ماهه	۱ سال	۲ سال	۴ سال
نرخ تنزیل	۰/۴۲۸	۰/۲۵۵	۰/۲۳۰	۰/۱۹۵

دلیل دیگر این است که ممکن‌است عواملی در آینده رخ بدهند که روی منافع و هزینه‌های پروژه در آن زمان تأثیر به‌سزایی بگذارند. در این‌صورت نرخ تنزیل آن زمان‌ها باید متفاوت از نرخ تنزیل زمان‌های دیگر باشد. به طور مثال فرض‌کنیم در ۱۰ سال دیگر ساختن سد توسط سازمان‌های بین‌المللی به دلیل شورشدن آب دریاها و دریاچه‌ها ممنوع شود، در این‌صورت سدی که اکنون ساخته می‌شود آیا منافع و هزینه‌های ۱۰ سال بعد را باید با همان نرخ تنزیل قبل از ۱۰ سال، تنزیل کند. طبیعی است جواب منفی بوده، زیرا آن منافع و هزینه‌ها اهمیت بیشتری در زمان حال داشته، لذا عامل تنزیل آنها باید به‌طور کامل نزدیک به یک و حتی برابر یک باشد.

در عمل، بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه نرخ‌های تنزیل متفاوتی را برای زمان‌های مختلف به‌کار می‌برند[1]. با این‌حال در بسیاری از کشورها از جمله ایران در ارزیابی طرح‌ها و پروژه‌های ملی و منطقه‌ای و بخش عمومی از نرخ‌های تنزیل یکسان استفاده‌کرده که با توجه به شواهد و دلایل یادشده، چنین عملی منطقی به‌نظر نمی‌رسد و لزوم به‌کارگیری نرخ‌های تنزیل متفاوت را ضروری می‌سازد.

۲. نرخ تنزیل مبتنی بر نرخ خطر

وقتی که نرخ تنزیل ثابت باشد، عامل تنزیلی که برای تنزیل و تبدیل منافع و هزینه‌های آتی به ارزش حال به‌کار می‌رود، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

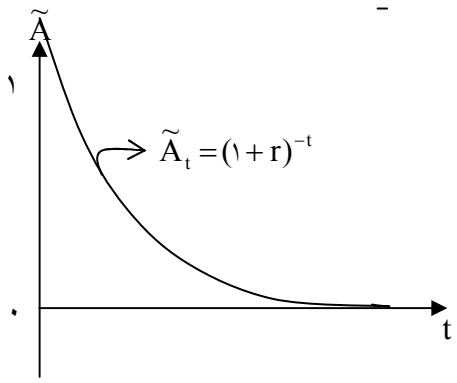
$$\tilde{A}_t = \frac{1}{(1+r)^t} = (1+r)^{-t} \qquad t = 0, 1, \ldots, T \qquad (1)$$

در این رابطه، r نرخ تنزیل ثابت و $\tilde{A}_t$ مقدار تنزیل‌شده یک ریالی است که پس از t زمان (تأخیر) به‌دست می‌آید. r نشان‌دهنده نرخ کاهش ارزش یک ریال تا زمان t نیز هست. هر چقدر r بزرگتر باشد سرعت کاهش

1. Rambuad et al 2005

ارزش یک ریال با افزایش t بیشتر می‌شود. $\widetilde{A}_t$ یک تابع نمایی نزولی بوده و با این فرض به‌دست می‌آید که با افزایش یک واحد زمان اضافی انتظار برای رسیدن به یک ریال، احتمال ثابتی وجود دارد که برخی وقایع رخ دهند و مانع رسیدن به یک ریال در آینده شوند. هر چقدر r بزرگتر باشد مفهوم آن این است که آن ریسک (احتمال وقوع حادثه) بالاتر است و یا فرد ریسک گریزتر است. $\widetilde{A}_t$ به‌صورت تابعی از زمان به‌صورت نمودار ۱، خواهد بود که تابع نمایی نزولی بوده و در زمان $t = 0$ برابر یک بوده و وقتی $t \to \infty$ A_t به صفر میل می‌کند، هر چقدر r بزرگتر باشد شیب $\widetilde{A}_t$ تندتر خواهد بود.

نمودار-۱. عامل تنزیل (۱)

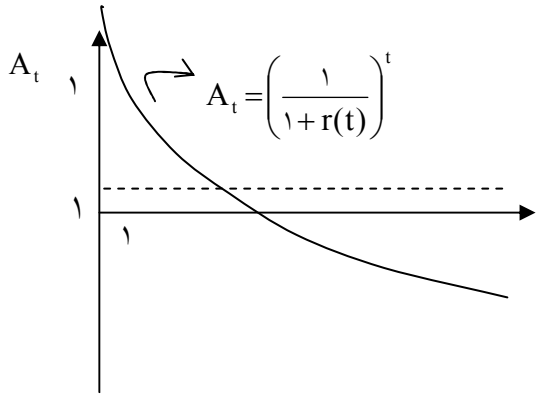


وقتی که نرخ تنزیل در طی زمان متغیر و تابعی نزولی از زمان باشد، در این‌صورت عامل تنزیل آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود که نمودار آن به‌صورت نمودار ۲ خواهدبود.

$$A_t = \left(\frac{۱}{۱+r(t)}\right)^t = (۱+r(t))^{-t} \qquad t = ۰, ۱, \ldots, T \qquad (۲)$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = r'(t) < ۰$$

نمودار-۲. عامل تنزیل (۲)



A_t یک تابع هذلولی با مجانب افقی یک است و با این فرض به‌دست می‌آید که با افزایش یک واحد زمان اضافی برای رسیدن به یک ریال احتمال نزولی (نه ثابت) وجود دارد که برخی وقایع رخ‌دهند و مانع رسیدن به یک ریال در آینده شوند. یعنی ابتدا (در زمان‌های اولیه) با افزایش یک واحد زمان اضافی احتمال اینکه حوادثی رخ داده و مانع شوند تا فرد به یک ریال آینده برسد بیشتر است ولی با گذشت زمان این احتمال کاهش پیدا می‌کند.

این تفاوت ریسک در تابع هذلولی و نمایی را می‌توان از طریق مراجعه به تابع خطر آنها مورد بررسی قرار داد. به اعتقاد کولا[1] (۱۹۸۴) هر جامعه‌ای مطلوبیت مصرف آتی و بهره‌مندی از منافع پروژه را با احتمال زنده‌ماندن برای بهره‌مندی از آن، تنزیل می‌کند. بنابراین، عامل تنزیلی که پیشنهاد می‌شود باید - نرخ خطر-[2] کالا یا محصولی که روی آن سرمایه‌گذاری می‌شود یا شدت مرگ‌ومیر جمعیتی را که از آن محصول بهره‌مند می‌شوند، در نظر بگیرد[3]. لذا هر سرمایه‌گذاری که جمعیت بیشتری از آن بهره‌مندی شوند باید بیشتر ارزشگذاری شده، یعنی عامل تنزیل آن نزدیک به یک باشد.

از نظر منطق ریاضی یک تابع خطر نشان می‌دهد که افزایش در زمان انتظار چه تأثیری بر ریسک وقوع برخی حوادث داشته که مانع وقوع حادثه مطلوب می‌شوند. و در چارچوب تنزیل، نشان‌دهنده این است که افزایش زمان انتظار برای رسیدن به یک ریال در آینده چقدر بر ریسک (احتمال وقوع) وقوع برخی حوادث که مانع دستیابی به یک ریال در آینده می‌شوند، تأثیر می‌گذارد. به بیان دیگر، تابع خطر نشان‌دهنده نسبت احتمال وقوع حادثه‌ای در زمان t (که این حادثه مانع دستیابی به یک ریال در آینده خواهدشد)، به احتمال این‌است که تا زمان t این حادثه رخ ندهد.

می‌توان نرخ خط را به‌صورت ریاضی به شکل زیر به‌دست آورد. فرض می‌کنیم T یک متغیر تصادفی بوده و به طورمثال، نشان‌دهنده عمر یک فرد است، در نتیجه، T برای فرد محدود خواهدبود. همچنین، فرض می‌کنیم که تابع توزیع T به‌صورت زیر باشد :

$$F(t) = P(T \leq t) \quad , \quad F'(t) = f(t) \qquad (۳)$$

$f(t)$ ، نشان‌دهنده احتمال مرگ فرد در فاصله $t + dt$ است (به طور مثال، احتمال مردن فرد در ۲۵ سالگی). احتمال اینکه عمر فرد بیشتر از t باشد به‌صورت زیر خواهدبود:

$$P(T \rangle t) = 1 - F(t) = R(t) \qquad t \rangle 0 \qquad (۴)$$

می‌توان نرخ خطر را به‌صورت زیر تعریف‌کرد:

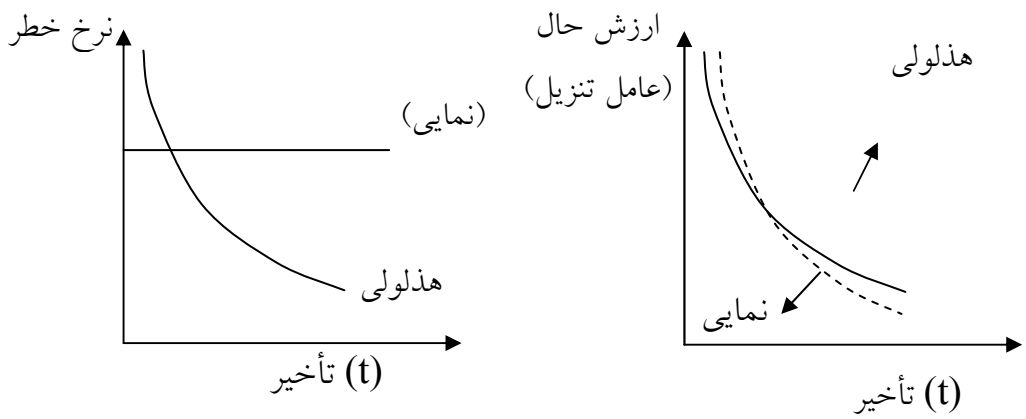
$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad (۵)$$

1. Kula 1984
2. Hazard Rate

۳.در ادامه، در بخش‌های بعدی تعریف نرخ خطر و ارتباط آن با نرخ تنزیل را ارائه کرده‌ایم.

در تابع تنزیل (عامل تنزیل) نمایی $h(t) = a$ مقدار ثابتی است. یعنی با افزایش زمان احتمال وقوع حادثه‌ای که باعث عدم دستیابی به یک ریال آینده می‌شود، ثابت است. ولی در حالت تابع تنزیل هذلولی فرض‌می‌شود که با افزایش زمان نسبت احتمال وقوع حادثه‌ای که باعث عدم دستیابی به یک ریال آینده می‌شود، کاهش پیدا می‌کند (نمودار ۳).

نمودار-۳. توابع تنزیل و خطر برای مدل هذلولی و نمایی



۳. تعریف مدل تنزیل

فرض‌می‌کنیم که دولت می‌خواهد یک کالای عمومی - مانند ساختن یک سد بزرگ در رودخانه‌ای - را مدنظر قراردهد. اگر نرخ خطر این پروژه برای دوره‌هایی از زمان کوچک باشد، منافع حاصل از پروژهٔ موردنظر در آن دوره‌ها باید در هنگام ارزیابی اولیهٔ پروژه پررنگ‌تر دیده شوند. بنابراین، نرخ تنزیل برای این دورهٔ زمانی باید بسیار کوچک و عامل تنزیل آن نزدیک یک باشد. می‌توان این موضوع را به یک متغیر تصادفی که نشان‌دهندهٔ عمر یک جمعیت است نیز تعمیم داد[1]، زیرا سرمایه‌گذاری در یک کالای عمومی تنها زمانی معنا دارد که جمعیتی بتوانند از آن «منتفع» شوند. لذا، در چنین مواردی به (میزان مرگ و میر)[2] نیاز داریم. در ،پژوهشی که توسط کروپر و همکاران او انجام شد[3] دو برنامهٔ مختلف به افراد پیشنهاد شد: نجات افراد در حال حاضر یا نجات آنها در X سال بعد . دو نتیجهٔ جالب توجه از این آزمایش به‌دست‌آمد : اوّلاً شواهد نشان داد که افراد یک نرخ تنزیل ثابت نداشته و ثانیاً افراد در تنزیل پروژه‌ها احتمال زنده‌بودن یا نبودن خانوادهٔ خود در زمان اجرای پروژه را لحاظ می‌کنند. بنابراین، کروپر و همکاران از نرخ مرگ‌ومیر جمعیت موردنظر برای

1. Henderson and Langford (1998)
2. Mortality
3. Cropper et al (1992)

محاسبهٔ نرخ تنزیل استفاده کردند. به همین دلیل توزیع احتمال مرگ‌ومیر گروه موردنظر که پروژه برای آنها انجام می‌شود یک عامل مهم است. به طریق مشابه هندرسن و لانگ‌فورد[1] یک تابع توزیع را برای عمر n فرد استخراج کردند. این تابع، یک جمعی‌سازی[2] از توزیع عمر تک‌تک افراد بود. به‌بیان دیگر، این تابع تقریبی از توزیع مشترک عمر افراد مختلف بود، که با کمک آن نرخ تنزیل اجتماعی محاسبه می‌شد.

از سوی دیگر، می‌دانیم که مطلوبیت نهایی درآمد سرانه تابع نزولی از درآمد است. می‌توان نشان داد که یک چنین مطلوبیتی نشانگر نرخ خطر واحدهای پولی از یک سطح درآمد نیز می‌باشد. وقتی درآمد صفر است، مطلوبیت نهایی یک واحد پولی درآمد برابر ارزش پولی آن است. با افزایش درآمد، مطلوبیت نهایی کاهش می‌یابد. درواقع، این تابع واحدهای پولی را که با افزایش درآمد از دست‌می‌روند (یعنی کاهش در مطلوبیت برحسب مقادیر پولی به ازای افزایش یک واحدی درآمد) نشان‌می‌دهد.

اگر از رابطه رمزی[3] (Ramsey 1928) برای تعیین نرخ تنزیل اجتماعی استفاده‌کنیم:

$$S = \rho + \mu g \qquad (۶)$$

که در آن، S نرخ تنزیل اجتماعی و ρ نرخ خالص ترجیح زمانی یا همان نرخی است که افراد با آن مطلوبیت را در طول زمان تنزیل می‌کنند (درواقع، این نرخ میزان بی‌صبری افراد را نشان می‌دهد)، μ کشش مطلوبیت نهایی حاصل از درآمد (یا مصرف) و g نرخ رشد متوسط درآمد انتظاری (یا مصرف انتظاری) است، با توجه به اینکه :

$$\mu = -\frac{\Delta u}{u}\left(\frac{I}{u}\right) \quad , \quad g = \frac{\Delta I}{\Delta t}.\left(\frac{I}{t}\right) \qquad (۷)$$

که در آن، u مطلوبیت و I درآمد سرانه است، در این صورت می‌توان نوشت :

$$\mu g = -\frac{\Delta u}{\Delta I}.\frac{I}{u}.\frac{\Delta I}{\Delta t}.\frac{1}{t} = -\frac{\frac{\Delta u}{u}}{\Delta t} \qquad (۸)$$

اگر Δt و Δu بسیار کوچک باشد، آنگاه خواهیم داشت :

$$\mu g = -\frac{d \ln u}{dt} \qquad (۹)$$

در واقع، در این حالت تابع خطر با $-\mu g$ بیان می‌شود و نرخ تنزیل $\left(\frac{d \ln u}{dt}\right)$ یعنی اجتماعی که از این رابطه به‌دست می‌آید، با تابع خطر موردنظر رابطه‌ای منفی دارد. البته باید توجه داشت که در حالت کلی و با فرض مثبت‌بودن رشد درآمد، g μ کاهش یافته، لذا با گذشت زمان S افزایش می‌یابد، اگر

1. Henderson and Langford (1998), op, Cit
2. aggregation
3. Ramsey 1928

μg ثابت نباشد می‌توان حالت‌های مختلفی را برای تغییر آن در نظر گرفت، مانند اینکه μg تا صفر کاهش‌یافته و یا به یک مقداری میل کند. این حالت‌ها باید با توجه به شواهد تجربی آزمون شوند.

در حالت کلی، اگر نرخ خطر یک متغیر تصادفی مانند T (به عنوان مثال، عمر پروژه یا عمر افراد منتفع از پروژه) در فاصلهٔ $[p, +\infty)$ را برابر نرخ لحظه‌ای یک تابع تنزیل از d تا $d + t$ $(t \geq 0)$ در نظر بگیریم، در آن صورت، عامل تنزیل به این صورت تعریف می‌شود[1]:

$$A(d,t) = \frac{1 - F(d+t)}{1 - F(d)} \qquad (10)$$

که در آن، تابع A عامل تنزیل و F تابع توزیع تجمعی برای متغیر T است (همان‌طور که در بخش پیشین معرفی شد). اگر d به سمت صفر میل کند، با توجه به اینکه $F(0)=0$ است (یعنی احتمال اینکه عمر پروژه یا عمر افراد در لحظهٔ شروع تمام شود، برابر صفر است)، در این صورت عامل تنزیل به شکل ساده زیر تبدیل می‌شود[2,3]:

$$A(0,t) = A(t) = 1 - F(t) = R(t), t \geq 0 \qquad (11)$$

۴-تابع خطر و عامل تنزیل

در این قسمت، برخی توابع مختلف خطر را مرور کرده و عامل تنزیل متناظر با آن را معرفی‌می‌کنیم. گفتنی است که اثبات روابط مربوط به این بخش را در ضمیمه ۱ ارائه کرده‌ایم.

۴-۱. اگر نرخ خطر ثابت باشد، در این صورت تابع توزیع متناظر با آن یک تابع توزیع نمایی با توان منفی است که از آن عامل تنزیل مرکب به‌دست می‌آید. اگر τ از یک فرآیند تصادفی با تابع چگالی زیر تبعیت کند:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0, \ \lambda \geq 0 \qquad (12)$$

یعنی اگر τ یک تابع خطر نمایی منفی داشته باشد، در این صورت عامل تنزیل مرتبط با آن یک عامل تنزیل مرکب با نرخ بهرهٔ i خواهد بود که نرخ خطر لحظه‌ای آن با نرخ خطر یک سیستمی که عمر اجزای آن از یک تابع توزیع نمایی با توان منفی تبعیت می‌کنند برابر بوده و پارامتر λ در آن حالت عبارتست از :

[4] $\lambda = \ln(1+i)$

بنابراین، تابع تنزیل عبارت‌است از $A(t) = \frac{1}{(1+i)^t}$ و i نرخ تنزیل است (اثبات در ضمیمه ۱ مقاله).

---

1 .Cruz, (1995 a).

۲.رجوع کنید به Maravall, 1970

۳.همین‌طور برای توضیح بیشتر می‌توانید مراجعه کنید به Courier (2002a, b, op. at).

۴.رجوع کنید به Cruz(1995 b).

۴-۲. مورد مهمی که نشان‌دهندهٔ نرخ خطر صعودی یا نزولی است را می‌توان با کمک یک متغیر تصادفی نشان داد که از یک توزیع و یبول[1] با رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$h(t) = \alpha\ \beta t^{\beta-1}\ ,\ \alpha\ ,\ \beta\ ,\ t\ \rangle\ 0 \qquad (۱۳)$$

در توزیع یکنواخت، نرخ خطر نزولی است. اگر τ از یک توزیع یکنواخت در فاصلهٔ [b و ۰] تبعیت کند، در این صورت تابع تنزیل مرتبط با آن عبارت‌است از :

$$A(t) = 1 - it \qquad (۱۴)$$

که در آن، $i = \frac{۱}{b}$ بوده که همان نرخ تنزیل ساده است.

۴-۳. اگر متغیر تصادفی τ از یک توزیع لوماکس[2] با تابع چگالی f(t) تبعیت‌کند، در آن f(t) عبارت‌است از :

$$\left(f(t) = \frac{q}{\lambda\,(1+\left(\frac{t}{\lambda}\right))^{q+1}} \right) \qquad (۱۵)$$

در آن صورت، تابع تنزیل عبارت‌است از :

$$A(t) = (1+\alpha t)^{-\frac{\beta}{\alpha}} \quad ,\quad \alpha\ ,\beta\ \rangle\ 0\ ) \qquad (۱۶)$$

که در آن، $\alpha = \frac{۱}{\lambda}$, $\frac{\beta}{\alpha} = q$ است[3].

۴-۴. می‌توان نشان داد اگر τ از یک توزیع پرتو با پارامترهای C, α_2 تبعیت‌کند، تابع چگالی آن به این صورت خواهد بود:

$$f(t) = \alpha_2 t^{-(\alpha_2+1)}\ C^{\alpha_2}\ \text{براي}\qquad t\ \rangle\ C \quad , \qquad (۱۷)$$

در این صورت، اگر $\alpha_۲ = C = ۱$ باشد، آنگاه:

$$A(t) = \frac{1}{t} \qquad (۱۸)$$

خواهد بود.

۴-۵. اگر رفتار متغیر تصادفی τ از یک توزیع فسیک[4] تبعیت کند، تابع چگالی آن عبارت‌است از:

1. Weibull Function
2. LOMAX
۳.برای اثبات رجوع کنید به Prelec, 1989, op cit and Lowensten and Prelec, 1992, OPcit
4. Fisk distribution

$$f(t) = \frac{at^{a-1}}{b^{a}\left[1+\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{a}\right]^{2}} \qquad (۱۹)$$

در این صورت، اگر $a = b = 1$ و $\alpha = \frac{۱}{\lambda}$ باشد، آنگاه عامل تنزیل عبارت است از:

$$A(t) = \frac{1}{(1+\alpha t)} \qquad (۲۰)$$

در ادبیات موضوع به موارد متعدّدی اشاره‌شده که به دلیل پرهیز از طولانی‌شدن بحث از بیان آنها خودداری‌می‌کنیم (برای مطالعهٔ بیشتر به منابع مقاله مراجعه کنید).

۵. تابع تنزیل و تابع نرخ خطر برای چند کشور منتخب

در این قسمت تابع خطر و تابع تنزیل چند کشور منتخب از جمله ایران را مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به اینکه برای بررسی تابع تنزیل و تابع نرخ خطر که در قسمت قبل معرفی شدند، نیاز به شناسایی پارامترهای توابع توزیع $(F(t))$ خواهیم داشت، و با توجه به اینکه توابع $f(t)$ درواقع توزیع احتمال عمر پروژه و یا افراد منتفع از آن‌را نشان‌می‌دهد، لذا شناسایی این توابع در هر مورد نیازمند اطلاعات بیشتری دربارهٔ توزیع عمر پروژه‌ها و یا توزیع عمر افراد منتفع از آن است. با این حال، می‌توان تابع خطر و نیز تابع تنزیل برای موارد ۱ و توزیع یکنواخت در مورد ۲ را ترسیم‌کرد، زیرا تنها مجهولی که در این دو مورد نیاز به شناسایی آنها داریم، نرخ تنزیل ساده است. به‌طور مثال در مورد ۱ با داشتن i می‌توان $A(t), \lambda$ و نیز نرخ خطر متناظر با آن را (که در این حالت یک نرخ ثابت در طول زمان است) محاسبه کرد. در مورد ۲ نیز اگرچه b مجهول است، ولی می‌دانیم که $b = \frac{۱}{i}$ بوده، بنابراین، با داشتن i می‌توان به‌طور مستقیم تابع تنزیل و تابع نرخ خطر متناظر با آن‌را به سادگی ترسیم نماییم.

در این پژوهش، ابتدا از اطلاعات مربوط به نرخ تنزیل کشورهای ایران، هندوستان، آمریکا، ژاپن، آلمان و فرانسه براساس برآوردی که عبدلی (۱۳۸۶) در مورد آنها انجام داده، به عنوان اطلاعات پایه استفاده می‌کنیم، سپس با استفاده از این برآوردها، پارامتر مجهول b، روند نرخ خطر و نیز متوسط عمر پروژه‌ها را برآورد می‌کنیم.

۵-۱. تابع تنزیل و نرخ خطر آن براساس توزیع عمر نمایی

در قسمت پیشین نشان‌دادیم اگر توزیع عمر پروژه (و یا افراد منتفع از آن) از یک تابع چگالی نمایی با پارامتر λ تبعیت کند که در آن، $\lambda = \ln(۱+i)$ است، در این صورت تابع تنزیل متناظر با آن عبارت خواهد بود از:

$A(t)=\frac{۱}{(۱+i)^t}$. با توجه به تعریف تابع نرخ خطر در قسمت‌های پیشین، و با توجه به تعریف $A(t)$، لذا تابع نرخ خطر برای این حالت عبارت خواهد بود از:[۱]

$$h(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{f(t)}{1-F(t)}=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1-\int_0^t \lambda e^{-\lambda t}ds}=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1-\left[-e^{-\lambda t}\right]_0^t}=\lambda=\ln(1+i)$$

پس، نرخ خطر در این حالت ثابت و برابر با $\ln(۱+i)$ خواهدبود.

جدول ۳ ، نرخ‌های تنزیل کشورهای منتخب را که عبدلی (۱۳۸۶) برآورد کرده است، نشان می‌دهد:

جدول-۳. نرخ تنزیل اجتماعی کشورهای منتخب [۲]

نام کشور	ایران	هند	آمریکا	ژاپن	آلمان	فرانسه
نرخ تنزیل	۷/۲۳	۵/۲	۴/۴	۴/۴	۴/۰	۳/۷

تابع تنزیل این کشورها را در نمودار ۳، ترسیم کرده‌ایم. با توجه به اینکه نرخ تنزیل برای ایران در مقایسه با کشورهای دیگر در این گروه بالاتر است، لذا تابع تنزیل ترسیم‌شده برای ایران پایین‌تر از کشورهای دیگر قرار گرفته‌است. به همین ترتیب، تابع تنزیل برای هندوستان و پس از آن آمریکا و ژاپن پایین‌تر از آلمان و فرانسه قرار گرفته‌است. با توجه به ویژگی‌های تابع $A(t)$ که در این حالت یک هذلولی قائم است، در سال ۲۱۰۰ میلادی این توابع بسیار به یکدیگر نزدیک شده‌اند.

با توجه به اینکه تابع خطر عبارت‌است از $h(t)=\ln(۱+i)$، لذا نرخ خطر در طول زمان ثابت خواهدبود. در جدول ۴، نرخ خطر کشورهای مختلف را ارائه کرده‌ایم.

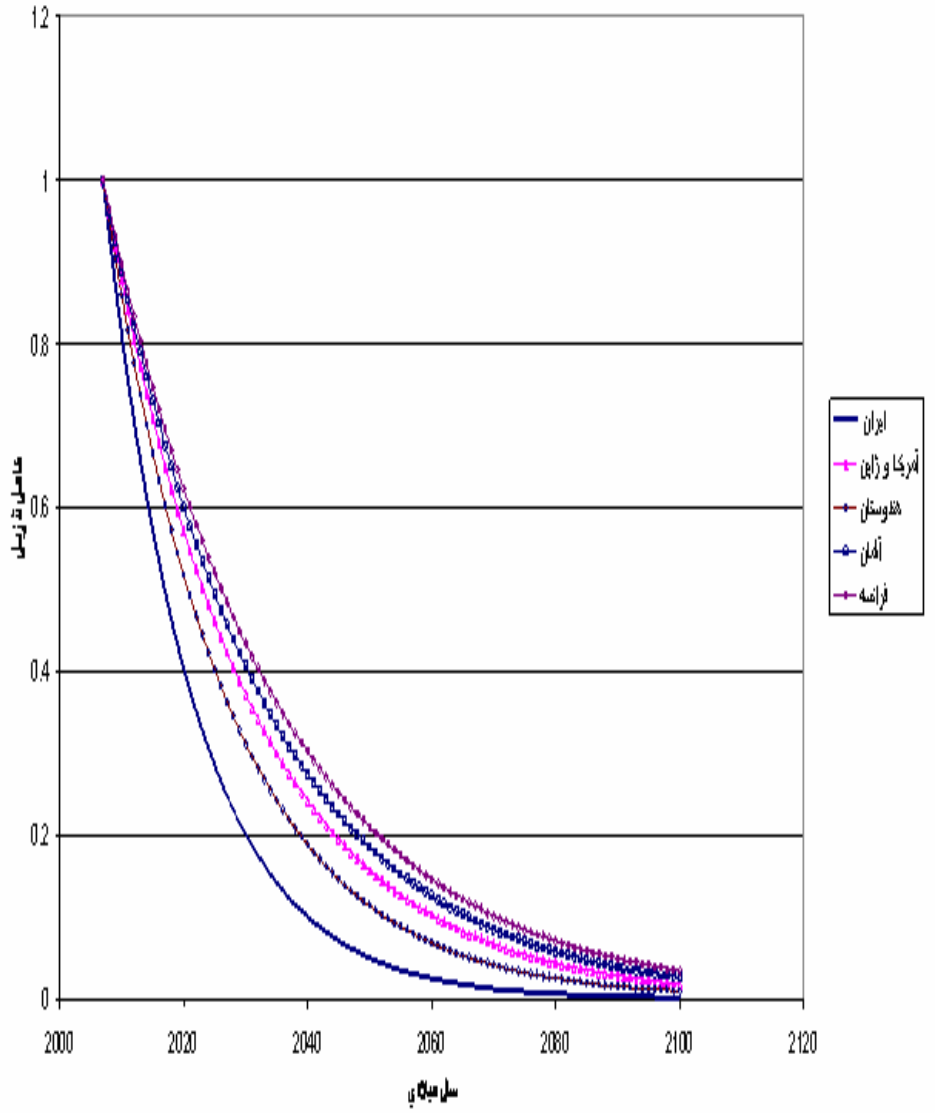
جدول-۴. نرخ خطر در زمان t برای کشورهای منتخب براساس توزیع عمر نمایی

نام کشور	ایران	هند	آمریکا	ژاپن	آلمان	فرانسه
λ	۰/۰۶۹	۰/۰۵۰	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۳۶

۱. رجوع کنید به Herrnstein(1981)op.cti

۲.ارقام به درصد است

نمودار-۳. عامل تنزیل با تابع عمر نمایی



نرخ خطر پروژه‌ها در ایران از کشورهای دیگر بالاتر است. این موضوع از مقایسهٔ شکل تابع تنزیل کشورها نیز قابل پیش‌بینی خواهدبود. با توجه به اینکه در توزیع نمایی با پارامتر λ، امید ریاضی برابر $\frac{1}{\lambda}$ است، لذا در این حالت $\frac{1}{\lambda}$، متوسط عمر پروژه‌ها است با فرض اینکه عمر پروژه‌های آنها از یک توزیع نمایی پیروی می‌کند.

با توجه به اینکه پارامتر λ در مورد پروژه‌ها در ایران از کشورهای دیگر بیشتر است، لذا متوسط عمر پروژه‌ها در ایران از کشورهای دیگر در این گروه کمتر خواهدبود.

جدول-۵. متوسط عمر پروژه‌ها در کشورهای منتخب[۱]

نام کشور	ایران	هند	آمریکا	ژاپن	آلمان	فرانسه
$\frac{1}{\lambda}$	۱۴/۳۲	۱۹/۷۲	۲۳/۲۲	۲۳/۲۲	۲۵/۴۹	۲۷/۵۲

تمامی این نتایج به این دلیل به دست آمده که نرخ تنزیل محاسبه‌شده در ایران نسبت به کشورهای دیگر بالاتر است.

درواقع، نرخ تنزیل اجتماعی ارزش نسبی آینده را از نگاه اجتماع نشان‌می‌دهد. هرچه نرخ تنزیل بالاتر باشد، زمان حال نسبت به آینده اهمیت بیشتری خواهدیافت. لذا پروژه‌هایی که هزینه‌های آنها در سال‌های دورتر و منافع آنها در سال‌های نزدیک‌تری متمرکزشده باشند، مطلوب‌ترند. درواقع، کشوری که نرخ تنزیل اجتماعی در آن بالاست، به پروژه‌هایی با عمر کوتاه‌تر بیشتر اهمیت می‌دهد تا پروژه‌هایی با عمر درازتر. بنابراین، بالابودن نرخ خطر در ایران و هند نسبت به کشورهای دیگر و نیز پایین‌بودن میانگین عمر پروژه‌ها در این دو کشور بازتابی از نرخ تنزیل بالاتر در این کشورهاست. این تحلیل با پایین‌تر بودن امید به زندگی در ایران و هند نسبت به کشورهای دیگر در گروه منتخب و یا بالاتربودن نرخ مرگ‌ومیر در آنها نیز هماهنگ است. بنابراین، اگر تابع توزیع عمر نمایی مبنای تحلیل قرارگیرد، این نتیجه به‌دست می‌آید که میزان نگاه به آینده در ایران و هند نسبت به آمریکا، ژاپن، آلمان و فرانسه پایین‌تر است.

۵-۲. تابع تنزیل و نرخ خطر آن براساس تابع توزیع یکنواخت

در قسمت‌های پیشین نشان‌دادیم اگر عمر پروژه (τ) از یک توزیع یکنواخت در فاصلهٔ [۰ و b] تبعیت کند، در این صورت تابع تنزیل متناظر با آن عبارت‌است از:

۱. سال

$$A(t) = 1 - i_t \qquad (22)$$

که در آن، $i = \frac{۱}{b}$ است. در این توزیع امید ریاضی عمر پروژه $\frac{b}{۲}$ است و احتمال اینکه عمر پروژه بیش از b باشد، صفر خواهدبود[۱]. با توجه به اطلاعات مربوط به نرخ تنزیل اجتماعی که در جدول ۳، ارائه کردیم، شکل تابع $A(t)$ برای کشورهای منتخب به‌صورت نمودار ۴ خواهدبود.

با توجه به اینکه نرخ تنزیل اجتماعی در ایران و هند از کشورهای دیگر بالاتر است، لذا تابع تنزیل این دو کشور نیز پایین‌تر از تابع تنزیل آمریکا و ژاپن، آلمان و فرانسه قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه تنها پارامتر توزیع یکنواخت به صورت $b = \frac{۱}{i}$ تعریف می‌شود، لذا متوسط عمر پروژه‌ها و نیز نقطهٔ انتهایی توزیع عمر برای این کشورها قابل محاسبه است.

جدول-۶. متوسط عمر پروژه‌ها و نقطهٔ انتهایی توزیع عمر[۲]

نام کشور	ایران	هند	آمریکا	ژاپن	آلمان	فرانسه
متوسط عمر پروژه $\left(\frac{b}{۲}\right)$	۶/۹۰	۹/۶۱	۱۱/۳۶	۱۱/۳۶	۱۲/۵	۱۳/۵۱
نقطهٔ انتهایی توزیع (b)	۱۳/۸۱	۱۹/۲۳	۲۲/۷۲	۲۲/۷۲	۲۵	۲۷/۰۲

با توجه به اینکه نرخ تنزیل اجتماعی در ایران و هند از کشورهای دیگر در این جدول بالاتر است، لذا متوسط عمر پروژه‌ها و نقطهٔ انتهایی توزیع عمر یکنواخت در ایران و هند از آمریکا، ژاپن، آلمان و فرانسه پایین‌تر است. با توجه به اینکه تابع چگالی در توزیع یکنواخت با پارامتر b عبارت است از[۳]:

$$f(t) = \frac{1}{b} = i \qquad (۲۳)$$

لذا، تابع نرخ خطر $h(t)$، عبارت‌است از:

---

۱. گفتنی است که حادثه‌ای با احتمال صفر غیرممکن نیست، اگرچه احتمال حادثهٔ غیرممکن صفر است. لذا امکان خواهد داشت که پروژه بیش از b عمر کند، ولی احتمال آن صفر است.

۲. سال

۳. در توزیع یکنواخت تابع توزیع احتمال، $F(t)$، عبارت‌است از $F(t) = P(T \le t) = \frac{۱}{b} t$ لذا $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{b}$.

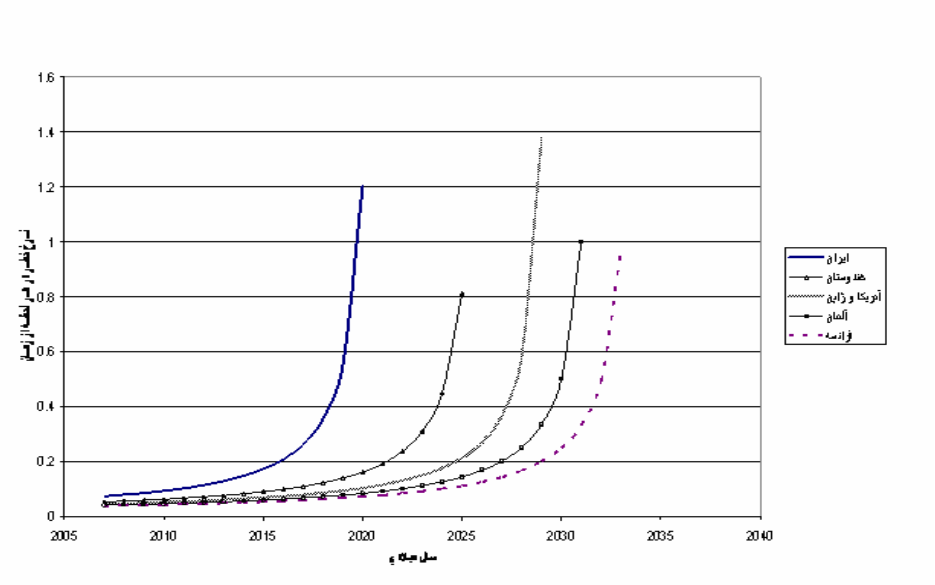
$$h(t)=\frac{f(t)}{1-F(t)}=\frac{i}{1-i_t} \qquad (۲۴)$$

به بیان دیگر، نرخ خطر در این حالت ثابت نبوده بلکه یک تابع صعودی خواهد بود. در نمودار ۴ شکل این تابع برای مقادیر $it\langle 1$ را ترسیم کرده‌ایم[۱]. همان‌طور که مشاهده‌می‌شود، در این حالت نرخ خطر برای همهٔ کشورها با گذشت زمان به دلیل تقعر مثبت تابع خطر با سرعت افزایش‌می‌یابد. به طور مثال، این نرخ برای ایران در حدود سال ۲۰۲۰ و برای هند در حدود سال ۲۰۲۵ به حداکثر خود می‌رسد. در اینجا نیز به دلیل اینکه نرخ تنزیل اجتماعی در هند و ایران بالاتر از کشورهای دیگر است، لذا نقاط اوج تابع خطر به ترتیب برای ایران و هند زودتر از کشورهای دیگر اتفاق می‌افتد. این نتایج نیز مشابه نتایج به‌دست آمده از تابع توزیع عمر نمایی است. البته این شباهت تنها به این دلیل است که تنها مجهول در این دو توزیع (که با آن پارامترهای دیگر توزیع قابل محاسبه است) نرخ تنزیل اجتماعی است. تفاوت دو حالت در تابع خطر آنها نمود پیدا کرده‌است. زیرا در توزیع نمایی نرخ خطر در هر لحظه از زمان ثابت بود. ولی در توزیع یکنواخت این نرخ به سرعت افزایش پیدا می‌کند.

بررسی توابع دیگر توزیع و نیز میزان تطابق آنها با شواهد تجربی در کشورها نیازمند شناسایی پارامترهای آنها با استفاده از برآوردهای تجربی است که فراتر از این مقاله خواهد بود.

۱. زیرا اگر $i_t=1$ در دامنهٔ h(t) قابل تعریف نیست و نیز برای $i_t\rangle 1$ نیز h(t) منفی می‌شود، که توجیه منطقی ندارد.

نمودار-۴. توابع نرخ خطر کشورهای منتخب



۶. برخی پرسش‌های مهم

در اینجا برخی پرسش‌هایی را که ممکن است در مورد این پژوهش برای خواننده مطرح شود، بررسی می‌کنیم.

پرسش اول این است که عامل تنزیل تعدیل‌شده برای ریسک[1] با عامل تنزیل مبتنی بر نرخ خطر چه ارتباطی دارد؟ نرخ تنزیل تعدیل‌شده با ریسک درواقع، عبارت‌است از نرخ تنزیل ساده بدون ریسک به علاوه یک حاشیه ریسک[2]. در این روش، حاشیه ریسک به نرخ تنزیل بدون ریسک اضافه می‌شود تا سرمایه‌گذاری بر اساس در نظرگرفتن شرایط ریسک انجام شود[3]. بنابراین نرخ تنزیل مبتنی بر ریسک تنها تعمیم نرخ تنزیل ساده برای لحاظ کردن ریسک است، بدین‌روی، در این روش هم نرخ خطر در طول زمان ثابت فرض می‌شود. با این تفسیر، در عامل تنزیل مبتنی بر نرخ تنزیل تعدیل‌شده برای ریسک از توابع خطری استفاده کرده‌ایم که نرخ خطر ثابتی در طول زمان تولید می‌کنند. با این تفسیر، ادبیات موجود به هیچ وجه نفی‌کننده عامل تنزیل تعدیل‌شده برای ریسک نبوده، بلکه تنها این اشکال وجود دارد که در توابع تنزیل مبتنی بر نرخ تنزیل تعدیل‌شده برای ریسک، نرخ خطر در طول زمان ثابت باشد، درحالی‌که توابع دیگری نیز

1. Risk Adjusted Discount Rate
2. Risk Premium
3. Fama, F. E., (1977), Risk-adjusted discount rates and capital budgeting under uncertainty, Journal of Financial Economics, Volume 5, Issue 1, August 1977, Pages 3-24

وجود دارند که نرخ خطر را ثابت درنظر نمی‌گیرند. لذا در برخی پروژه‌ها که خطرات آنها در طول زمان افزایشی یا کاهشی است، استفاده از روش‌های مبتنی بر نرخ خطر ثابت ممکن است گمراه‌کننده باشد.

پرسش دوم این است که آیا استفاده از این روش‌ها به دلیل تعدد نرخ‌ها و روش‌ها برای کشورهای درحال توسعه، کاربرد دارد؟ پاسخ مثبت است، زیرا کشورهای درحال توسعه درمقایسه با کشورهای صنعتی با کمبود منابع مالی بیشتری مواجه هستند، لذا در تخصیص منابع باید دقت بیشتری داشته‌باشند. افزون بر این، باید به این واقعیت نیز اشاره کرد که هر پروژه با مخاطرات و منافع متفاوتی در طول زمان مواجه است. بنابراین، استفاده از روش‌های ساده مبتنی بر یک نرخ تنزیل مشترک در مورد همه پروژه‌ها و عدم توجه به الگوی توزیع خطرات هر پروژه در طول زمان می‌تواند تخصیص ناکارآمد منابع را به دنبال داشته باشد. الگوی توزیع خطرات و منافع حاصل از یک پروژه در بخش کشاورزی در طول زمان با الگوی توزیع خطرات و منافع حاصل از یک پروژه در بخش بازرگانی متفاوت است و عدم توجه به این واقعیت تنها به دلیل ساده‌شدن محاسبات می‌تواند سرمایه‌های کمیاب کشورهای درحال‌توسعه را به هدر دهد.

و در نهایت، پرسش سوم این است که در شرایط ریسک و عدم اطمینان باید از کدامیک از توابع و شکل‌های ارائه‌شده در این قسمت استفاده کرد؟ براساس تعاریفی که در بخش ۳ این نوشته ارائه کردیم، نرخ خطر عبارت‌است از نسبت احتمال عدم دستیابی به منافع یک پروژه در زمان t به احتمال حادثه عکس آن (یعنی ادامه منافع پروژه). براساس شکل تابع خطر می‌توان شکل تابع تنزیل مناسب را نیز تعیین نمود. تصمیم‌گیری درمورد اینکه استفاده از کدامیک از شکل‌ها برای تابع خطر بهتر است به این بستگی دارد که آیا خطرات پیش روی یک پروژه معین در طول زمان ثابت، کاهنده یا فزاینده هستند. اگر خطرات در طول زمان ثابت باشند، در این صورت باید از تابع تنزیلی که متناظر با نرخ خطر ثابت است (مانند توزیع نمایی) استفاده کرد. برعکس، اگر ماهیت خطرات روبروی یک پروژه به گونه‌ای باشد که در طول زمان افزایشی بوده، در این صورت باید از تابع تنزیلی که متناظر با نرخ خطر صعودی است (مانند توزیع یکنواخت) استفاده کرد. بنابراین، شکل تابع تنزیل براساس ماهیت خطرات پیش روی یک پروژه تعیین شده و نمی‌توان برای همه پروژه‌ها یک نسخه کلی داد.

فرض می‌کنیم که یک سرمایه‌گذار در مرحله تصمیم‌گیری برای افتتاح یک سوپرمارکت در یک محله قرار دارد. همچنین فرض می‌کنیم که این سرمایه‌گذار یک افق ۲۰ ساله را در نظر گرفته‌است. احتمال ورشکستگی فروشگاه به دلیل فروش اندک در سال‌های اولیه بسیار بیشتر است، زیرا فروشگاه هنوز در بین مشتریان اعتبار کافی کسب نکرده و معروفیت و شهرت کافی به‌دست نیاورده است. ولی اگر این فروشگاه توانست ۱۰ سال پابرجا بماند، در این صورت خطرات به مراتب کمتری آن‌را تهدید می‌کنند. بنابراین، اگر $h(t)$ تابع خطر این فروشگاه باشد:

$$h(1)>h(2)>\ldots h(10)>\ldots.>h(20)$$

یعنی در شرایط یکسان، با گذشت زمان خطرات کاهش می‌یابند، لذا باید برای این پروژه از یک تابع تنزیل مبتنی بر نرخ خطر نزولی استفاده کرد.

حال، یک پروژه کشاورزی را در نظر می‌گیریم. به عنوان مثال، فرض می‌کنیم که یک مزرعه‌دار قرار است به مدت ۲۰ سال محصولات کشاورزی یک کشت و صنعت را تولید کرده و از هم‌اکنون با کشت و صنعت مورد نظر قرارداد بسته است. لذا از بابت فروش محصول نگرانی ندارد. تنها منبع ریسک مزرعه‌دار نوسانات اقلیمی است که از طریق بارندگی یا خشکسالی می‌توانند میزان محصول او را کم یا زیاد کنند. باتوجه به اینکه احتمال بارندگی یا خشکسالی در طول زمان تقریباً ثابت است، لذا در این مثال با نرخ خطر ثابت روبرو هستیم، زیرا:

$$h(1)=h(2)=...h(10)=...=h(20)$$

بنابراین، در اینجا باید از تابع تنزیلی استفاده کنیم که متناظر با نرخ خطر ثابت است.

۷. نتیجه‌گیری

استفاده از ابزار تحلیل فایده ـ هزینه یک ابزار کلیدی و اصلی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی است. یکی از اجزای این تجزیه و تحلیل تنزیل منافع و هزینه‌های پروژه بوده و برای این کار ضروری است که عامل تنزیل مناسب به‌کار برده شود. به‌طور معمول از عامل تنزیل نمایی که مبتنی بر نرخ تنزیل اجتماعی ثابت است، استفاده می‌شود ولی به دلایل زیر استفاده از عامل تنزیل نمایی دقیق نیست: ۱. بسیاری از پژوهشگران به‌لحاظ نظری ثابت می‌کنند که برای تنزیل منافع و هزینه‌های یک پروژه باید نرخ‌های تنزیل متفاوتی را برای گروه‌های ذینفع مختلف در زمان‌های مختلف به‌کار برد. ۲. عواملی که روی هزینه‌ها و منافع پروژه‌ها اثر می‌گذارند از پروژه‌ای به پروژه دیگر و از زمانی به زمان دیگر متفاوت هستند. ۳. اگر درباره نرخی که برای تنزیل منافع و هزینه‌های زمان‌های مختلف مناسب است، نااطمینانی داشته باشیم، در این صورت باید توزیع احتمال آن را به‌دست آوریم. میانگین این توزیع به عنوان عامل تنزیل بود. و نرخ تنزیلی که از این روش به‌دست می‌آید در طول زمان نزولی است. ۴. شواهد تجربی نشان می‌دهد که افراد در عمل نرخ تنزیلی نزولی از زمان را به‌کار می‌برند.

هر جامعه‌ای مطلوبیت مصرف آتی و بهره‌مندی از منافع پروژه را با احتمال زنده ماندن برای بهره‌مندی از آن، تنزیل می‌کند. بنابراین، عامل تنزیلی که پیشنهاد می‌شود باید نرخ خطر کالا یا محصولی را که روی آن سرمایه‌گذاری می‌شود ویا شدت مرگ‌ومیرجمعیتی که از آن محصول بهره‌مند می‌شوند، در نظر بگیرد. می‌توان با ارتباط‌دادن‌عامل تنزیل‌به نرخ‌خطر، برای برخی توابع توزیع (عمر پروژه، جمعیت و جز اینها) عامل تنزیل استخراج کرد که نرخ تنزیل آن با زمان رابطه نزولی داشته باشد، مهم‌ترین توابع توزیع از این نوع را در این مقاله مورد بررسی قرار دادیم.

در این مقاله، عامل تنزیل با رویکرد یادشده برای توابع توزیع نمایی و یکنواخت را برای کشورهای منتخب استخراج کردیم. در حالت توزیع عمر نمایی نرخ خطر برای کشورهای ایران و هند بیشتر از آمریکا، ژاپن، آلمان و فرانسه بوده و به دنبال آن عمر متوسط پروژه‌ها در ایران و هند نیز کمتر از کشورهای یادشده است. در حالت توزیع یکنواخت، عمر پروژه‌ها کمتر از توزیع نمایی است.

مهم‌ترین نتیجه این پژوهش این است که اولاً باید برای ارزیابی طرح‌ها و پروژه‌های اقتصادی، برای هر طرح عامل تنزیل آن بر اساس نرخ خطر آن استخراج و مورد استفاده قرارگیرد، ثانیاً به‌کارگیری نرخ تبدیل ثابت به منزلهٔ در نظر نگرفتن ۴ موردی است که در این قسمت به آن اشاره کردیم و این عوامل تأثیر کلیدی روی تنزیل ارزش منافع و هزینه‌های پروژه دارند.

منابع

Ainslie, G., (1975). Specious Reward: a Behavioral Theory of Impulsiveness and Impulse Control. Psychol. Bull. LXXXII, 463–509.

Azfar, O., (1999). Rationalizing Hyperbolic Discounting. J. Econ. Behav. Organ. 38, 245–252.

Baumol,W., (1968). On the Social Discount Rate. Am. Econ. Rev. 58, 788–802.

Benzion, U., Rapaport, A., Yagil, J., (1989). Discount Rates Inferred from Decisions: an Experimental Study. Manage. Sci. 35, 270–284.

Broome, J., (1991). Weighting Goods: Equality Uncertainty and Time. Blackwell, Oxford.

Chichilnisky, G., Heal, G., (1997). Social Choice with Infinite Populations: Construction of a Rule and Impossibility Results. Soc. Choice Welfare 14 (2), 303–319.

Cowell, F.A., Gardiner, K.A., (1999). Welfare Weights. OFT Economic Research Paper, 202.

Cropper, M., Aydede, S., Portney, P., (1992). Rates of Time Preference for Saving Lives. Am. Econ. Rev. 82 (2), 469–472 (Papers and Proceedings).

Cruz, S., (1995a). Leyes Financieras Procedentes de Funciones de Distribucio´n que se Concentran a la Izquierda o a la Derecha de un punto. Estudios de Economı´a Aplicada 4, 29–56.

Cruz, S., (1995b). Capitaux Financier-ale´atoires. Revista Europea de Direccio´n y. Economı´a de la Empresa 4 (1), 99–106.

Cruz, S., Mun˜oz, M.J., (2004). An Analysis of the Anomalies in Traditional Discounting Models. Int. J. Psychol. Psychol. Ther. 4 (1), 105–128.

Frederick, S., Loewenstein, G., O'Donoghue, T., (2002). Time Discounting and Time Preference: a Critical Review. J. Econ. Lit. 40, 351–401.

Gollier, C., (2002b). Discounting an Uncertain Future. J. Public Econ. 85, 149–166.

Green, L., Myerson, J., (1996). Exponential Versus Hyperbolic Discounting of Delayed Outcomes: Risk and Waiting Time. Am. Zoologist 36, 496–505.

Green, L., Myerson, J., Ostazewski, P., (1999). Discounting of Delayed Rewards Across the Life Span: Age Differences in Individual Discounting Functions. Behav. Proc. 46, 89–96.

Groom, B., Koundouri, P., Panopoulou, E., Pantelidis, T., (2003). Model Selection in Discounting the Distant Future. Mimeo. University College London/CSERGE and University of Piraeus.

Harvey, C.M., (1994). The Reasonableness of Non-constant Discounting. J. Public Econ. 53, 31–51.

Henderson, N., Bateman, I., (1995). Empirical and Public Choice Evidence for Hyperbolic Social Discount Rates and the Implications for Intergenerational Discounting. Environ. Res Econ. 5, 413–423.

Henderson, N., Langford, I., (1998). Cross-disciplinary Evidence for Hyperbolic Social Discount Rates. Manage. Sci. 44 (11), 1493–1500.

Howarth, R., Norgaard, R., (1993). Intergenerational Transfers and the Social Discount Rate. Environ. Res. Econ. 3, 337–358.

Kirby, K., (1997). Bidding on the Future: Evidence Against Normative Discounting of Delayed Rewards. J. Exp. Psychol.: Gen. 126 (1), 54–70.

Kula, E., (1984). Derivation of Social Time Preference Rates for the United States and Canada. Quart. J. Econ. XCIX (4), 873–882.

Kula, E., (1985). An Empirical Estimation on the Social Time Preference Rate for the United Kingdom. Environ. Plann. 17, 199–212.

Laibson, D., (1997). Golden Eggs and Hyperbolic Discounting. Quart. J. Econ. 112 (2), 443–477.

Li, C., Lo¨fgren, K., (2000). Renewable Resources and Economic Sustainability: a Dynamic Analysis with Heterogeneous TimeP references. J. Environ. Econ. Manage. 40, 236–250.

Lind, R., (1990). Reassessing the Government's Discount Rate Policy in Light of New Theory and Data in a World Economy with a High Degree of Capital Mobility. J. Environ. Econ. Manage. 18, S8–S28.

Lowenstein, G., Prelec, D., (1992). Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation. Quart. J. Econ. 2 (CVII), 575–597.

Luckert, M., Adamowicz,W., (1993). Empirical Measures of Factors Affecting Social Rates of Discount. Environ. Resour. Econ. 3 (1), 1–21.

Mazur, J., (1987). An Adjusting Procedure for Studying Delayed Reinforcement. In: Commons, M., Mazur, J., Nevin, J., Rachlin, H. (Eds.), S.C. 354 Rambaud, M.J.M. Torrecillas / Environmental Science & Policy 8 (2005) 343–355

Myerson, J., Green, L., (1995). Discounting of Delayed Rewards: Models of Individual Choice. J. Exp. Anal. Behav. 64 (3), 263–276.

Myerson, J., Green, L.,Warusawitharana, M., (2001). Area Under the Curve as a Measure of Discounting. J. Exp. Anal. Behav. 76 (2), 235–243.

Newell, R., Pizer, W., (2000). Discounting the Distant Future: How Much do Uncertain Rates Increase Valuations? Discussion paper 00-45. Resources for the Future, Washington, DC.

Nir, A., (2000). An Explanation of Hyperbolic Marginal Utility from Money. Working paper. School of Economics, Tel Aviv University.

Olson, M., Bailey, M., (1981). Positive Time Preference. J. Polit. Econ. 89 (1), 1–25.

Pearce, D., Groom, B., Hepburn, C., Koundouri, P., (2003). Valuing the Future: Recent Advances in Social Discounting. World Econ. 4 (2), 121–141

Pearce, D., Ulph, D.,(1999).A SocialDiscountRateforthe United KingdomIn: Pearce, D. (Ed.), Environmental Economics: Essays in Ecological Economics and Sustainable Development. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 268–285.

Price, C., (1989). Equity, Consistency, Efficiency and New Rules for Discounting. Project Appraisal 4, 58–65.

Price, C., Nair, C., (1985). Social Discounting and the Distribution of Project Benefits. J. Dev. Stud. 21, 525–532.

Salvador Cruz Rambaud , C. S, Torrecillas, M. J. M., (2005). Some Considerations on the Social Discount Rate. Environmental Science & Policy. 8 , 343–355

Ramsey, F., (1928). A Mathematical Theory of Saving. Econ. J. 38, 543–559.

Richards, J., Mitchell, S., De Wit, H., Seiden, L., (1997). Determination of Discount Functions in Rats with an Adjusting-amount Procedure. J. Exp. Anal. Behav. 67, 353–366.

Rubinstein, A.,(2003.) Economics and Psychology? The Case of Hyperbolic Discounting. Int. Econ. Rev. 44, 1207–1216.

Schmid,A.,(1989).Benefit-cost Analysis. WestviewPress,Boulder, Colorado.

Sozou, P., (1998). On Hyperbolic Discounting and Uncertain Rates. R. Soc. 265, 2015–2020.

Stern, N., (1977). The Marginal Valuation of Income. In: Artis, M., Nobay, R. (Eds.), Studies in Modern Economic Analysis. Blackwell, Oxford.

Stiglitz, J., (1982). The Rrate of Discount for Benefit-cost Analysis and the Theory of Second-best. In: Lind, R. (Ed.), Discounting for Time and Risk in Energy Policy. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Weitzman, M.L., (1994). On the Environmental Discount Rate. J. Environ. Econ. Manage. 26, 200–209.

Weitzman, M.L., (1998). Why the Far Distant Future Should be Discounted as its Lowest Possible Rate. J. Environ. Econ. Manage. 36, 201–208.

ضمیمهٔ ۱: اثبات نتایج مربوط به بخش ۴

مورد ۱: توزیع نمایی

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t}, \qquad t\geq 0 \qquad \lambda \geq 0$$

در این حالت، A(t) عبارت‌است از :

$$A(t)=1-F(t)=1-\int_o^t \lambda e^{-\lambda t}\,dt=1-\left[-e^{-\lambda t}\right]_0^t$$

$$\mathrm{A(t)=e^{-\lambda t}}$$

با توجه به اینکه $\lambda=\ln(1+i)$ تعریف شده است، لذا داریم :

$$A(t)=e^{-\ln(1+i)t}=\frac{1}{e^{\ln(1+i)t}}=\frac{1}{(1+i)^t}$$

مورد ۲: توزیع یکنواخت

تابع توزیع یکنواخت متغیر τ در بازهٔ $[.,b]$ به این صورت تعریف می‌شود :

$$F(t)=P(\tau\leq t)=\frac{1}{b}t$$

لذا، تابع چگالی آن عبارت‌است از :

$$f(t)=\frac{dF(t)}{dt}=\frac{1}{b}$$

پس، تابع تنزیل آن عبارت خواهد بود از :

$$\mathrm{A(t)=1-F(t)=1-\frac{1}{b}t}$$

و چون $\mathrm{i=\frac{1}{b}}$ است، پس:

$$A(t)=1-it$$

مورد ۳: توزیع لوماکس

تابع توزیع چگالی لوماکس عبارت‌است از :

$$f(t)=\frac{q}{\lambda\left(1+\left(\frac{t}{\lambda}\right)\right)^{q+1}}$$

اگر $\lambda=\frac{1}{\alpha}$ و $q=\frac{\beta}{\alpha}$ باشند، لذا تابع توزیع احتمال لوماکس عبارت‌است از :

$$F(t)=\int_o^t \frac{\frac{\beta}{\alpha}}{\frac{1}{\alpha}(1+\alpha t)^{\frac{\beta}{\alpha}+1}}dt=\frac{\beta}{\alpha}\int_o^t \frac{1}{\frac{1}{\alpha}(1+\alpha t)^{\frac{\beta}{\alpha}+1}}dt$$

لذا در نهایت، A(t) عبارت خواهد بود از :

$$A(t)=1-F(t)=(1+\alpha t)^{-\frac{\beta}{\alpha}}$$

مورد ۴: توزیع پرتو

تابع چگالی توزیع پرتو عبارت‌است از :

$$f(t)=\alpha_2 t^{-(\alpha_2+1)}C^{\alpha_2} \qquad \text{برای} \qquad t>C$$

اگر $\alpha_2=C=1$ باشد، داریم :

$$f(t)=t^{-2} \qquad \text{برای} \qquad t\rangle 1$$

پس، تابع توزیع احتمال این توزیع در این حالت عبارت‌است از :

$$F(t)=P(\tau\le t)=\int_o^t t^{-2}\,dt=\frac{1}{t}\Big|_1^t=\frac{1}{t}-1 \qquad t\rangle 1$$

بنابراین، تابع تنزیل عبارت‌است از :

$$A(t)=1-F(t)=\frac{1}{t}$$

مورد ۵: توزیع فیسک

تابع چگالی توزیع فیسک عبارت‌است از :

$$f(t)=\frac{at^{a-1}}{b^a\left[1+\left(\frac{t}{\lambda}\right)^a\right]^2}$$

اگر $a=b=1$ باشد و اگر تعریف کنیم $\alpha=\frac{1}{\lambda}$، لذا :

$$f(t)=\frac{1}{(1+\alpha t)^2}$$

در این صورت، تابع توزیع متناظر با آن عبارت‌است از:

$$F(t)=P(\tau\le t)=\int_o^t \frac{1}{(1+\alpha t)^2}dt=\frac{1}{(1+\alpha t)}\Big|_o^t=\frac{1}{(1+\alpha t)}-1$$

پس، A(t) عبارت‌است از :

$$A(t)=1-F(t)=\frac{1}{(1+\alpha t)}$$

ضمیمه ۲ : عوامل تنزیل و نرخ‌های خطر محاسبه‌شده برای کشورهای منتخب

عامل تنزیل مبتنی بر توزیع نمایی

سال میلادی	ایران	آمریکا و ژاپن	هندوستان	آلمان	فرانسه
2007	1	1	1	1	1
2008	0.932575	0.957854	0.95057	0.961538	0.96432
2009	0.869696	0.917485	0.903584	0.924556	0.929913
2010	0.811057	0.878816	0.85892	0.888996	0.896734
2011	0.756371	0.841778	0.816463	0.854803	0.864738
2012	0.705373	0.8063	0.776105	0.821926	0.833885
2013	0.657813	0.772318	0.737742	0.790313	0.804132
2014	0.61346	0.739768	0.701276	0.759916	0.77544
2015	0.572097	0.70859	0.666612	0.730688	0.747772
2016	0.533524	0.678725	0.633661	0.702584	0.721092
2017	0.497551	0.65012	0.602339	0.675561	0.695363
2018	0.464004	0.62272	0.572566	0.649578	0.670553
2019	0.432718	0.596475	0.544264	0.624594	0.646627
2020	0.403542	0.571336	0.517361	0.600571	0.623556
2021	0.376333	0.547256	0.491788	0.577471	0.601307
2022	0.350959	0.524191	0.467479	0.555261	0.579853
2023	0.327296	0.502099	0.444371	0.533904	0.559164
2024	0.305228	0.480937	0.422406	0.513369	0.539213
2025	0.284648	0.460668	0.401526	0.493624	0.519973
2026	0.265455	0.441253	0.381679	0.474638	0.501421
2027	0.247557	0.422656	0.362812	0.456383	0.48353
2028	0.230865	0.404842	0.344879	0.438829	0.466278
2029	0.215299	0.38778	0.327831	0.421951	0.449641
2030	0.200783	0.371436	0.311627	0.405722	0.433598
2031	0.187245	0.355782	0.296223	0.390117	0.418127
2032	0.17462	0.340787	0.281581	0.375112	0.403208
2033	0.162846	0.326424	0.267662	0.360685	0.388822
2034	0.151866	0.312667	0.254432	0.346812	0.374949
2035	0.141627	0.299489	0.241855	0.333473	0.36157
2036	0.132078	0.286867	0.2299	0.320647	0.34867

ادامه جدول ضمیمه ۲					
2037	0.123172	0.274777	0.218536	0.308314	0.336229
2038	0.114867	0.263196	0.207734	0.296456	0.324232
2039	0.107122	0.252103	0.197466	0.285054	0.312664
2040	0.0999	0.241478	0.187705	0.27409	0.301508
2041	0.093164	0.231301	0.178427	0.263548	0.29075
2042	0.086882	0.221552	0.169607	0.253411	0.280376
2043	0.081024	0.212215	0.161223	0.243665	0.270372
2044	0.075561	0.203271	0.153254	0.234293	0.260726
2045	0.070467	0.194704	0.145679	0.225281	0.251423
2046	0.065715	0.186498	0.138478	0.216617	0.242452
2047	0.061284	0.178638	0.131633	0.208285	0.233801
2048	0.057152	0.171109	0.125126	0.200274	0.225459
2049	0.053299	0.163897	0.118941	0.192571	0.217415
2050	0.049705	0.15699	0.113062	0.185164	0.209658
2051	0.046354	0.150373	0.107473	0.178043	0.202177
2052	0.043228	0.144035	0.102161	0.171195	0.194963
2053	0.040314	0.137965	0.097111	0.16461	0.188007
2054	0.037596	0.13215	0.092311	0.158279	0.181299
2055	0.035061	0.126581	0.087748	0.152191	0.17483
2056	0.032697	0.121246	0.083411	0.146338	0.168592
2057	0.030492	0.116136	0.079288	0.140709	0.162577
2058	0.028436	0.111241	0.075368	0.135297	0.156776
2059	0.026519	0.106553	0.071643	0.130094	0.151182
2060	0.024731	0.102062	0.068102	0.12509	0.145788
2061	0.023063	0.09776	0.064735	0.120279	0.140586
2062	0.021508	0.09364	0.061536	0.115653	0.13557
2063	0.020058	0.089694	0.058494	0.111204	0.130733
2064	0.018706	0.085913	0.055602	0.106927	0.126069
2065	0.017444	0.082293	0.052854	0.102815	0.12157
2066	0.016268	0.078824	0.050241	0.09886	0.117233
2067	0.015171	0.075502	0.047758	0.095058	0.11305
2068	0.014148	0.07232	0.045397	0.091402	0.109016
2069	0.013195	0.069272	0.043153	0.087886	0.105127

ادامه جدول ضمیمه ۲					
2070	0.012305	0.066352	0.04102	0.084506	0.101376
2071	0.011475	0.063556	0.038993	0.081256	0.097759
2072	0.010702	0.060877	0.037065	0.07813	0.094271
2073	0.00998	0.058312	0.035233	0.075125	0.090907
2074	0.009307	0.055854	0.033492	0.072236	0.087663
2075	0.00868	0.0535	0.031836	0.069457	0.084536
2076	0.008094	0.051245	0.030262	0.066786	0.081519
2077	0.007549	0.049085	0.028767	0.064217	0.078611
2078	0.00704	0.047017	0.027345	0.061747	0.075806
2079	0.006565	0.045035	0.025993	0.059372	0.073101
2080	0.006122	0.043137	0.024708	0.057089	0.070493
2081	0.00571	0.041319	0.023487	0.054893	0.067978
2082	0.005325	0.039578	0.022326	0.052782	0.065552
2083	0.004966	0.03791	0.021222	0.050752	0.063213
2084	0.004631	0.036312	0.020173	0.0488	0.060958
2085	0.004319	0.034781	0.019176	0.046923	0.058783
2086	0.004027	0.033315	0.018228	0.045118	0.056686
2087	0.003756	0.031911	0.017327	0.043383	0.054663
2088	0.003503	0.030566	0.016471	0.041714	0.052713
2089	0.003266	0.029278	0.015657	0.04011	0.050832
2090	0.003046	0.028044	0.014883	0.038567	0.049018
2091	0.002841	0.026862	0.014147	0.037084	0.047269
2092	0.002649	0.02573	0.013448	0.035657	0.045583
2093	0.002471	0.024646	0.012783	0.034286	0.043956
2094	0.002304	0.023607	0.012151	0.032967	0.042388
2095	0.002149	0.022612	0.011551	0.031699	0.040876
2096	0.002004	0.021659	0.01098	0.03048	0.039417
2097	0.001869	0.020746	0.010437	0.029308	0.038011
2098	0.001743	0.019872	0.009921	0.02818	0.036654
2099	0.001625	0.019034	0.009431	0.027097	0.035347
2100	0.001516	0.018232	0.008964	0.026054	0.034085

عامل تنزیل مبتنی بر توزیع یکنواخت

سال	ایران	هندوستان	آمریکا و ژاپن	آلمان	فرانسه
2007	1	1	1	1	1
2008	0.9277	0.948	0.956	0.96	0.963
2009	0.8554	0.896	0.912	0.92	0.926
2010	0.7831	0.844	0.868	0.88	0.889
2011	0.7108	0.792	0.824	0.84	0.852
2012	0.6385	0.74	0.78	0.8	0.815
2013	0.5662	0.688	0.736	0.76	0.778
2014	0.4939	0.636	0.692	0.72	0.741
2015	0.4216	0.584	0.648	0.68	0.704
2016	0.3493	0.532	0.604	0.64	0.667
2017	0.277	0.48	0.56	0.6	0.63
2018	0.2047	0.428	0.516	0.56	0.593
2019	0.1324	0.376	0.472	0.52	0.556
2020	0.0601	0.324	0.428	0.48	0.519
2021	*	0.272	0.384	0.44	0.482
2022	*	0.22	0.34	0.4	0.445
2023	*	0.168	0.296	0.36	0.408
2024	*	0.116	0.252	0.32	0.371
2025	*	0.064	0.208	0.28	0.334
2026	*	0.012	0.164	0.24	0.297
2027	*	*	0.12	0.2	0.26
2028	*	*	0.076	0.16	0.223
2029	*	*	0.032	0.12	0.186
2030	*	*	*	0.08	0.149
2031	*	*	*	0.04	0.112
2032	*	*	*	0	0.075
2033	*	*	*	*	0.038
2034	*	*	*	*	0.001

* اعداد منفی حذف شده‌اند.

نرخ خطر در حالت توزیع یکنواخت

سال	ایران	هندوستان	آمریکا و ژاپن	آلمان	فرانسه
2007	0.0723	0.052	0.044	0.04	0.037
2008	0.077935	0.054852	0.046025	0.041667	0.038422
2009	0.084522	0.058036	0.048246	0.043478	0.039957
2010	0.092325	0.061611	0.050691	0.045455	0.04162
2011	0.101716	0.065657	0.053398	0.047619	0.043427
2012	0.113234	0.07027	0.05641	0.05	0.045399
2013	0.127693	0.075581	0.059783	0.052632	0.047558
2014	0.146386	0.081761	0.063584	0.055556	0.049933
2015	0.17149	0.089041	0.067901	0.058824	0.052557
2016	0.206985	0.097744	0.072848	0.0625	0.055472
2017	0.261011	0.108333	0.078571	0.066667	0.05873
2018	0.3532	0.121495	0.085271	0.071429	0.062395
2019	0.546073	0.138298	0.09322	0.076923	0.066547
2020	1.202995	0.160494	0.102804	0.083333	0.071291
2021	*	0.191176	0.114583	0.090909	0.076763
2022	*	0.236364	0.129412	0.1	0.083146
2023	*	0.309524	0.148649	0.111111	0.090686
2024	*	0.448276	0.174603	0.125	0.09973
2025	*	0.8125	0.211538	0.142857	0.110778
2026	*	*	0.268293	0.166667	0.124579
2027	*	*	0.366667	0.2	0.142308
2028	*	*	0.578947	0.25	0.165919
2029	*	*	1.375	0.333333	0.198925
2030	*	*	*	0.5	0.248322
2031	*	*	*	1	0.330357
2032	*	*	*	*	0.493333
2033	*	*	*	*	0.973684

* اعداد منفی حذف شده‌اند.