

# مقادیر بهینه کارمزد و سهم سپرده‌ها در بانکداری اسلامی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۸

تاریخ تأیید: ۱۳۹۵/۱۲/۱۳

\_\_\_\_\_ **یعقوب محمودیان \* اصغر ابوالحسنی هستیانی \***  
**محمدحسین پور کاظمی \*\*\* کامران ندری \*\*\***

## چکیده

بررسی عمل‌کرد نظام بانکی در قالب مدل‌های دقیق و منسجم ریاضی به ما این امکان را می‌دهد که برداشت دقیق‌تری از عمل‌کرد نظام بانکی و اظهارنظرهای تخصصی‌تری در این زمینه داشته باشیم. پرسش مهمی که در این زمینه مطرح می‌شود این است که آیا می‌توان با وجود پیچیدگی‌های فنی و حقوقی در الگوی اسلامی تجهیز منابع، آن را با استفاده از روش‌های بهینه‌یابی پویای تصادفی، مدل‌سازی نمود؟ پژوهش پیش رو با این فرضیه که می‌توان با وجود پیچیدگی موجود در الگوی اسلامی، آن را در قالب یک مدل ریاضی پویای تصادفی بیان نمود، در نظر دارد با وارد کردن نظریه‌های بانکداری اسلامی در تابع هدف و قیود مسئله بهینه‌سازی در تجهیز منابع یک بانک اسلامی، برای نخستین بار گامی در راستای توسعه مدل‌های کمی در این زمینه بردارد.

**واژگان کلیدی:** تجهیز منابع، کارمزد، حق‌الوکاله، بهینه‌یابی تصادفی.

**طبقه‌بندی JEL:** G34, G21, E42.

\*. عضو هیئت علمی اقتصاد دانشگاه پیام نور (نویسنده مسئول). Email: mahmodian61@gmail.com.

\*\*\*. دانشیار اقتصاد دانشگاه پیام نور. Email: abolhasani@pnu.ac.ir.

\*\*\*. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی. Email: h\_pourkazemi@yahoo.com.au.

\*\*\*. استادیار اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع). Email: k.nadri@gmail.com.

## مقدمه

بررسی چالش‌ها و مشکل‌های اجرایی بانکداری اسلامی نشان از باور پژوهشگران به عدم کامیابی کامل بانکداری اسلامی در مقام اجرا دارد. در ایران هم پس از تحول اساسی در نظام بانکی و اجرای نظام بانکداری بدون ربا در سال ۱۳۶۳ گروهی از پژوهشگران بر این باورند که پس از گذشت بیش از ۳۳ سال، اجرای بانکداری اسلامی به شکل کامل کامیاب نبوده و با چالش‌ها و مشکلاتی همراه است؛ ولی همین پژوهشگران درباره اینکه این چالش‌ها بیشتر مربوط به کدام قسمت از فرایند عملیات بانکی می‌شود و چگونه می‌توان آنها را برطرف کرد اختلاف نظر دارند. نکته قابل توجه درباره پژوهش‌های صورت گرفته در این باره این است که در بیشتر موارد، این ارزیابی عمل کرد به صورت توصیفی انجام شده و تاکنون هیچ مدل‌سازی ریاضی کاملی در این باره صورت نگرفته است.

بررسی عمل کرد نظام بانکی در قالب مدل‌های دقیق و منسجم ریاضی به ما این امکان را می‌دهد که برداشت دقیق‌تری از عمل کرد نظام بانکی و اظهارنظرهای تخصصی‌تری در این زمینه داشته باشیم. با توجه به ماهیت تصادفی متغیرهای مهم بانکی مانند تسهیلات و سپرده - به دلیل اینکه بخشی از تغییرات آنها قابل پیش‌بینی بوده و بخشی دیگر تابع شرایط اقتصاد کلان می‌باشد که ماهیت تصادفی داشته و غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد - به نظر می‌رسد مدل‌های تصادفی ریاضی در این زمینه دارای دقت و تطابق بیشتری می‌باشند. از آنجاکه ادبیات ریاضی در مدل‌های بهینه‌یابی تصادفی شامل مشتقات جزئی و معادلات دیفرانسیل تصادفی پیچیده می‌باشد، پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت نگرفته و این نوع مدل‌سازی کمتر مورد اقبال پژوهشگران قرار گرفته است.

پرسش مهمی که در زمینه مدل‌سازی در حیطه بانکداری اسلامی مطرح می‌شود این است که آیا می‌توان با وجود پیچیدگی‌های فنی و حقوقی در بانکداری اسلامی، آن را با استفاده از روش‌های بهینه‌یابی پویای تصادفی (Dynamic Stochastic Optimization) مدل‌سازی نمود؟ این پژوهش با این فرضیه که می‌توان با وجود پیچیدگی موجود در الگوی اسلامی، آن را در قالب یک مدل ریاضی پویای تصادفی بیان نمود، در نظر دارد با وارد کردن نظریه‌های بانکداری اسلامی در تابع هدف و قیود مسئله بهینه‌سازی در تجهیز منابع یک بانک اسلامی، برای نخستین بار گامی در راستای توسعه مدل‌های کمی در این

زمینه بردارد. طراحی مدل پیش رو، این امکان را می‌دهد که بتوانیم پس از اجرای الگوی پیشنهادی، ارزیابی دقیق‌تری از آن داشته باشیم و بتوانیم با زبان ریاضی این الگو را در مجامع بین‌المللی ارائه و از آن دفاع نماییم؛ چراکه باور نویسندگان قویاً بر این است که این الگو قابلیت ارائه در کشورهای غیر اسلامی را نیز دارد و می‌تواند با الگوهای رقیب در مقام اجرا و سودآوری رقابت نماید.

### پیشینه تحقیق

کیایی و دیگران (۱۳۹۲) در مقاله «مقایسه عمل‌کرد بهینه در بانکداری اسلامی و بانکداری متعارف: استفاده از فرایند تصادفی پرش-انتشار» به بررسی رفتار بانک در قالب یک مدل بهینه‌یابی تصادفی پویا پرداخته‌اند؛ این مقاله که برگرفته از رساله دکتری ایشان می‌باشد، تقریباً جزو نخستین پژوهش‌هایی است که در زمینه مدل‌سازی تصادفی در حوزه بانکی صورت گرفته است. در این مقاله، مسئله بهینه‌یابی تصادفی پویا برای یک بانک متعارف - مبتنی بر بهره - به صورت رابطه یک تعریف شده است:

$$\max_{D_t} V(t, L_t) = \int_0^T e^{-\beta t} (r^L L_t + r^T T_t - r^D D_t - (a_0 + a_1 D_t + a_2 D_t^2 + b_1 L_t + b_2 L_t^2)) dt$$

$$s.t. \quad dL_t = (C_t + D_t - T_t - R_t) dt + \sigma_t L_t dW_t - v_t L_t dP_t \quad (1)$$

در این مسئله میزان سپرده به عنوان متغیر کنترل (Control Variable) و میزان تسهیلات پرداختی به عنوان متغیر وضعیت (State Variable) است. برای حل این مسئله تصادفی از روش هامیلتون - ژاکوبی - بلمن (Hamilton-Jacobi-Belman) استفاده شده و با استفاده از این روش مسیر بهینه متغیرهای کنترل و وضعیت استخراج شده است. کیایی برای حل معادله دیفرانسیل تصادفی متغیر وضعیت از روش شبیه‌سازی اولر- ماریویاما (Euler-Maruyama (EM) Simulations method) استفاده کرده و سرانجام با ایجاد سه تغییر اساسی مسئله بهینه‌یابی تصادفی برای یک بانک اسلامی را ارائه می‌کند؛ این سه تغییر شامل اضافه‌نمودن تابع پایانی به مسئله، تقسیم وام‌های اعطایی به دو دسته مبادله‌ای و مشارکتی و حذف سرمایه از ترازنامه بانک می‌باشد.

موسویان و دیگران (۱۳۹۳) هم در مقاله «تعیین سهم بهینه عقود مبادله‌ای و مشارکتی در بانکداری بدون ربا» به بررسی رفتار بانک در قالب مدل بهینه‌یابی تصادفی پویا پرداخته‌اند. با توجه به غیر قطعی بودن سود سپرده‌ها و عدم قطعیت در سود عقود مشارکتی در بانکداری بدون ربا بحث حساب تصادفی در ریاضیات، کاربرد فراوانی در مدل‌سازی رفتار بانک دارد؛ از این رو در مقاله پیش رو با استفاده از تکنیک کنترل بهینه تصادفی، رفتار بانک بدون ربا در قالب تابع هدف بررسی شده است و سهمی از عقود مبادله‌ای و مشارکتی که عایدی بانک اسلامی را حداکثر می‌کند در قالب یک الگوی نظری مشخص شده است. در این پژوهش از یک تابع منفعت برای مدل استفاده شده است که تابعی است از سه نوع سپرده قرض‌الحسنه، سرمایه‌گذاری و پس‌انداز. قید بودجه و درآمد بانک در این پژوهش نیز مطابق قانون بانکداری بدون ربا از راه انواع سپرده‌گذاری‌های تصریح شده در قانون به اضافه درآمد ناشی از خدمات بانکی است. با توجه به مطالب فوق مسئله بهینه‌یابی پژوهش به صورت رابطه دو ارائه شده است:

$$\begin{aligned} \max_{F, \theta} E_0 \left[ \int_0^T u(F(t)) dt \right] \\ dG(t) = [(\theta(t)\mu G(t))dt + \theta(t)\sigma G(t)dw(t) \\ + r(1 - \theta(t))G(t) + y(t)d(t) - \rho F(t)] \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن  $F(t)$  کل سپرده‌ها،  $\theta(t)$  سهم تسهیلات مشارکتی از کل تسهیلات،  $G(t)$  کل سپرده به غیر از سپرده قرض‌الحسنه (سپرده انتفاعی)،  $\mu$  نرخ انتظاری سود تسهیلات مشارکتی،  $\sigma$  ریسک ناشی از عقود مشارکتی،  $w(t)$  حرکت براونی (Brownian Motion) (بخش تصادفی تغییرات)،  $r$  نرخ تسهیلات مبادله‌ای،  $\rho$  نرخ انتظاری پرداختی بانک به سپرده‌گذاران و  $y(t)$  درآمد ناشی از خدمات بانکی است.

موسویان و همکاران با استفاده از روش هامیلتون - ژاکوبی - بلمن به این نتیجه رسیدند که میان نرخ سود عقود مبادله‌ای و سهم این عقود در سبد تسهیلات بانک رابطه مستقیم و بین نرخ انتظاری سود تسهیلات مشارکتی و سهم این عقود در سبد تسهیلات هم رابطه مثبت وجود دارد و سرانجام اینکه میان ریسک عقود مشارکتی و سهم این عقود در سبد تسهیلات رابطه منفی وجود دارد. در این مقاله سرانجام به بررسی سهم بهینه

عقدهای مبادله‌ای و مشارکتی نسبت به تغییرهای نرخ عقدهای مبادله‌ای و نرخ انتظاری عقدهای مشارکتی پرداخته و سهم بهینه عقدها در سبد تسهیلات بانک نسبت به تغییر نرخ سود این عقدها و کشش سهم بهینه عقدها نسبت به تغییر نرخ سود آنها را بررسی کرده است.

بلک و شولز (Black and Scholes, 1973) در مقاله «قیمت‌گذاری اختیارات و بدهی‌های شرکتی» تئوری قیمت‌گذاری اختیار معامله در بازار سهام را مطرح کردند. آنها قیمت سهام را در قالب معادله دیفرانسیل تصادفی حرکت براونی هندسی مدل‌سازی کردند. این مدل بیشترین کاربرد را در مهندسی مالی دارد. مدل بلک و شولز برای یک سبد دارایی طراحی شده است که شامل دو نوع دارایی بدون ریسک با قیمت  $B(t)$  و ریسکی با قیمت  $S(t)$  می‌باشد که در آن به منظور حداکثر نمودن تابع هدف (سود)، مسیر بهینه  $S(t)$  را به صورت رابطه سه به دست می‌آورد.

$$dS(t) = S(t)[\mu dt + \sigma dw(t)] \quad (3)$$

که در آن  $\mu$  بیانگر میزان بازدهی ثابت سهام و  $\sigma$  بیانگر نوسانات قیمت سهام می‌باشد. مرتون (Merton, 1973) هم همزمان با بلک و شولز در مقاله خود با عنوان «نظریه عقلایی قیمت‌گذاری اختیارات» قیمت سهام را بر اساس معادله دیفرانسیل تصادفی با حرکت براونی هندسی مدل‌سازی کرده است.

موکودم پترسن و پترسن (Mukuddem-Petersen & Petersen, 2006) در مقاله خود با عنوان «مدیریت بانک از طریق کنترل بهینه تصادفی» از مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی به منظور بهینه‌سازی رفتار بانک استفاده نموده‌اند. ایشان از این روش برای حداقل کردن ریسک بازار و ریسک کفایت سرمایه بانک استفاده کرده‌اند و یک سبد بهینه برای وام‌های اعطایی بانک پیشنهاد داده‌اند. برای این کار از رابطه ترازنامه‌ای یک بانک متعارف به صورت رابطه چهار استفاده شده است:

$$R(t) + L(t) + S(t) = D(t) + B(t) + C(t) \quad (4)$$

که سمت چپ آن بیانگر دارایی و سمت راست آن بیانگر بدهی ترازنامه‌ای بانک است. با تعریف هر یک از اجزای این معادله ترازنامه‌ای به صورت یک رابطه مشخص و در قالب این هدف که باید ریسک بازار و ریسک کفایت سرمایه (Capital Adequacy Risk) حداقل شود، آنها مسیر بهینه اعطای وام و میزان سرمایه را به صورت رابطه پنج تعریف نموده‌اند.

$$dL(t) = L(t)[(r^L(t) - c^L)dt + \sigma_L(t)dw(t)] \quad (5)$$

$$dC(t) = c(t)dt + \sigma_c dw_c(t)$$

سیگاوک و دیگران (Sigauke & et al., 2012) در مقاله «مدل‌سازی مدیریت نقدینگی بانک‌های تجاری با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی» مدلی برای مدیریت نقدینگی ارائه نموده‌اند که ترکیبی یکپارچه از دارایی‌های مختلف را به‌طور مطلوب و کارآمد در خود جای داده است. به‌کارگیری این مدل به تصمیم‌گیری‌های بهتر در مورد نقدینگی منجر می‌شود؛ نقش عدم قطعیت و کمی‌سازی ریسک در این مدل در نظر گرفته شده است. مقاله پیش رو نسبت به مقالات قبلی انجام‌شده در این زمینه دارای نوآوری‌هایی می‌باشد که مهم‌ترین آنها موارد زیر می‌باشد:

- بیشتر ادبیات موجود در زمینه بانکداری اسلامی به صورت توصیفی می‌باشد و استفاده از مدل‌های بهینه‌یابی تصادفی در این زمینه بسیار محدود و نادر می‌باشد؛ به‌نحوی که در مطالعات داخلی مواردی که با استفاده از مدل‌های بهینه‌یابی ریاضی به ارزیابی بانکداری اسلامی پرداخته شده باشد به کمتر از انگشتان یک دست می‌رسد؛ به همین دلیل وجود مقالاتی مانند مقاله پیش رو سبب هرچه پربارتر شدن ادبیات کمی داخلی در زمینه بانکداری اسلامی می‌شود.
- برای نخستین بار است - چه در مطالعات داخلی و چه خارجی - که مقاله‌ای به‌طور تخصصی، تجهیز منابع بانک را با بیان دقیق جزئیات - انواع مختلف سپرده و نحوه به‌کارگیری آنها - و با نگاه عملیاتی با استفاده از دقیق‌ترین و بروزترین ابزار ریاضی یعنی مدل‌های بهینه‌یابی پویای تصادفی، مدل‌سازی نموده است.

- در مطالعات مشابه خارجی عمل‌کرد یک بانک مبتنی بر بهره مدل‌سازی شده است و الزامات شرعی مورد نظر اسلام در مدل وارد نشده است. مطالعات محدود داخلی صورت‌پذیرفته در این زمینه هم زیاد وارد جزئیات مسائل بانکداری اسلامی نشده‌اند و به‌طور کلی تنها نظام فعلی بانکداری بدون ربا را مدل‌سازی نموده‌اند. این در حالی است که مقاله پیش رو با لحاظ نمودن تمامی الزامات قانونی و شرعی در مدل، الگویی را مدل‌سازی نموده است که تا اندازه ممکن مشکلات کنونی بانکداری بدون ربا در آن برطرف شده و قابلیت رقابت با الگوهای مبتنی بر بهره را هم داشته باشد.
- بر خلاف مدل‌های قبلی که بسیط و ساده طراحی شده‌اند و تنها دارای یک متغیر کنترل و یک متغیر وضعیت می‌باشند، مدل استفاده‌شده در این مقاله دارای سه متغیر کنترل و سه متغیر وضعیت می‌باشد. تعدد متغیرها در مدل به دلیل وجود عقود متعدد و وجود الزامات شرعی و قانونی موجود در نظام بانکی ایران می‌باشد. طراحی یک مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی - چه در حوزه بانک و چه در دیگر حوزه‌های اقتصادی - که دارای همزمان سه متغیر کنترل و سه متغیر وضعیت باشد و مقادیر بهینه آنها هم استخراج شده باشد تاکنون در ادبیات داخلی سابقه نداشته و این مقاله می‌تواند در این زمینه منبع بسیاری از مقالات دیگر باشد.

## مبانی نظری

بهینه‌یابی در تحلیل‌های اقتصادی موضوع مهم و برجسته‌ای است و در بیشتر تکنیک‌های جدید برنامه‌ریزی ریاضی جایگاه مهمی دارد. در مسئله بهینه‌یابی پویا این پرسش مطرح می‌شود که مقدار بهینه متغیر انتخابی برای هر دوره زمانی در طول دوره برنامه‌ریزی (حالت زمان گسسته) یا در هر نقطه از یک فاصله زمانی معین، مثلاً  $[0, T]$  (حالت زمان پیوسته) چقدر است؟ پاسخ مسئله بهینه پویا به ازای هر متغیر انتخابی به شکل یک مسیر زمانی بهینه خواهد بود که بهترین مقدار این متغیر را تا پایان دوره برنامه‌ریزی مشخص می‌کند (چیانگ، ۱۳۸۷، ص ۳).

در نظریه کنترل بهینه، مسئله بهینه‌یابی به جای دو متغیر، دارای سه نوع متغیر است؛ یعنی علاوه بر متغیر زمان  $t$  و متغیر وضعیت  $x(t)$  متغیر کنترل  $u(t)$  نیز مورد توجه قرار

گرفته است؛ در واقع همین متغیر سوم است که عنوان کنترل را به این مسئله داده است و در حل مسئله بهینه‌یابی نقش اساسی دارد. مسئله کنترل، گسترش مدرن حساب تغییرات می‌باشد. مهم‌ترین هدف نظریه کنترل بهینه، تعیین مسیر زمانی بهینه برای متغیر کنترل است؛ البته هنگامی که مسیر متغیر کنترل بهینه شد می‌توان مسیر بهینه متغیر وضعیت را نیز پیدا نمود؛ بنابراین حضور متغیر کنترل به عنوان بازیگر اصلی، جهت‌دهی اساسی مسئله بهینه‌یابی پویا را تغییر می‌دهد (پورکاظمی، ۱۳۹۳، ص ۲۴۴).

### بیان صوری مسئله کنترل بهینه

در مسئله کنترل بهینه پویا عوامل زیر وجود دارد (همان، ص ۲۸):

۱. متغیر زمان: این متغیر را که به طور پیوسته در فاصله  $t_0 \leq t \leq T$  تغییر می‌کند به  $t$  نشان می‌دهیم؛  $t_0$  زمان اولیه و  $T$  زمان انتهایی است.
۲. متغیر وضعیت: این متغیر را به صورت  $X(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$  نشان داده که در آن  $x_i(t)$ ،  $i = 1$  تا  $n$  تابعی پیوسته از زمان است.
۳. فضای ممکن: متغیر وضعیت  $X$  به یک فضای ممکن تعلق دارد که آن را با  $A$  نشان می‌دهیم،  $X \in A$  و  $A \subset \mathbb{R}^n$ .
۴. متغیر کنترل: متغیری است که به وسیله آن بر متغیر وضعیت اثر می‌گذاریم؛ این متغیر را به صورت  $U(u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t))$  نشان می‌دهیم.
۵. معادله حرکت (Motion Equation): اگر  $X(t)$  متغیر وضعیت و  $U(t)$  متغیر کنترل باشد، رابطه میان متغیر وضعیت و متغیر کنترل به صورت رابطه برداری زیر است؛  $\dot{X}$  مشتق بردار  $X(t)$  بر حسب  $t$  می‌باشد.

$$\dot{X}(t) = f(t, U(t), X(t))$$

۶. تابعی هدف (Objective Function): در مسئله کنترل، تابعی هدف به صورت زیر است:

$$V[U] = \int_{t_0}^T I(t, X(t), U(t)) dt + F(X(T), T)$$

انتگرالده  $I$  موسوم به تابع میانی (Intermediate Function) و تابع  $F$  موسوم به تابع انتهایی (Final Function) است.



۷. مسئله کنترل: مسئله عبارت است از تعیین متغیر کنترل بهینه  $U^*(t)$  و به واسطه آن تعیین متغیر وضعیت بهینه  $X^*(t)$  است تا تابعی هدف نسبت به معادله حرکت، بیشینه یا کمینه باشد؛ یعنی داریم:

$$\text{Max یا Min } V[U] = \int_{t_0}^T I(t, X(t), U(t)) dt + F(X(T), T)$$

$$\text{s. t. } \dot{X}(t) = f(t, U(t), X(t))$$

مسئله کنترل اگر به صورت معادله بالا باشد، مسئله کنترل بولزا (Bolza) نامیده می‌شود (اینتریلیگیتور، ۱۳۸۷، ص ۱۸۵).

### تعریف مسئله کنترل بهینه تصادفی

اگر در مسئله کنترل بولزا متغیرهای ما از جمله متغیر وضعیت  $x(t)$  و یا متغیر کنترل  $u(t)$  متغیرهای تصادفی باشند، ما با مسئله کنترل تصادفی روبه‌رو هستیم که به صورت زیر بیان می‌شود:

فرض می‌کنیم  $S$  فضای نمونه و  $F$  ساختار اطلاعاتی و  $F_t$  ساختار اطلاعاتی فیلترشده و  $P$  اندازه احتمال باشد. در فضای احتمالی  $(S, F, F_t, P)$ ، فرایند تصادفی و  $w(t)$  حرکت براونی استاندارد است. مسئله‌ای به صورت رابطه شش یک مسئله کنترل تصادفی است:

$$\text{Max } Z = E \left[ \int_{t_0}^T I(t, x, u) dt + F(x(T), T) \right] \quad (6)$$

$$\text{s. t. } dx = f(t, x, u) dt + \sigma(t, x, u) dw$$

$$x(t_0) = x_0$$

$$z(T, x(T)) = F(x(T), T)$$

در رابطه بالا  $x(t)$  متغیر وضعیت،  $u(t)$  متغیر کنترل و  $w(t)$  فرایند براونی هستند (Bertsekas, 2003, p.49).

### حل مسئله کنترل بهینه تصادفی

اساس حل مسئله کنترل بهینه غیر تصادفی مبتنی بر معادلات دیفرانسیل معمولی می‌باشد. سه روش حساب تغییرات، اصل ماکزیمم و برنامه‌ریزی پویا (معادله بلمن) برای حل مسئله

کنترل وجود دارد که از میان این سه روش، تنها روش سوم یعنی برنامه‌ریزی پویا و معادله بلمن قابل استفاده برای حل مسائل کنترل بهینه تصادفی می‌باشد؛ بنابراین برای حل این‌گونه مسائل از معادله بلمن استفاده می‌شود (پورکاظمی، ۱۳۹۳، ص ۳۷۳).

برای به‌دست آوردن معادله بلمن از اصل بهینگی استفاده نموده و بر اساس این اصل اگر نقطه شروع را هر نقطه‌ای جز  $(x_0, t_0)$  نیز در نظر بگیریم، مسیر باقیمانده هم با انتخاب مثلاً  $(x_0 + \Delta x, t_0 + \Delta t)$  به عنوان نقطه شروع، باز این مسیر بهینه است. با استفاده از این اصل و محاسبه مشتقات جزئی و دیفرانسیل متغیر وضعیت یعنی  $dx$  و ساده‌سازی - مانند حذف جملات شامل  $dw$  چرا که  $E[dw]$  برابر صفر است - به معادله اساسی برای حل مسائل کنترل بهینه تصادفی می‌رسیم که موسوم به معادله تصادفی بلمن است که به صورت زیر نمایش داده می‌شود (Bertsekas, 2003, p.55):

$$-z_t(t, x) = \text{Max}_u \left[ I(t, x, u) + z_x(t, x) f(t, x, u) + \frac{1}{2} \sigma^2 z_{xx}(t, x) \right] \quad (7)$$

### مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی تجهیز منابع در بانکداری اسلامی

در این قسمت از پژوهش به ارائه مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی تجهیز منابع در بانکداری اسلامی می‌پردازیم؛ بر این مبنا که می‌توان یک مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی برای توضیح عملکرد یک بانک اسلامی در بخش تجهیز منابع ارائه نمود؛ به‌نحوی که از طریق آن بتوان مسیر بهینه تجهیز منابع را در هر لحظه از زمان مشخص و عملکرد بانک را منطبق با آن تنظیم نمود. مدلی که در ادامه به بیان آن می‌پردازیم تاکنون در ادبیات داخلی مطرح نشده و دارای نوآوری‌های ویژه خود می‌باشد؛ به‌نحوی که قابلیت تبیین عملکرد یک بانک اسلامی در بخش تجهیز منابع را با حداکثر دقت داشته باشد.

### فروض به‌کارگرفته‌شده در مدل پیشنهادی

**فرض نخست:** الگوی مورد استفاده در تجهیز منابع از الگوی تفکیک در وظایف بانک پیروی می‌کند. میرجلیلی (۱۳۸۳)، داوودی و صمصامی (۱۳۸۷)، داوودی و بیدار (۱۳۹۰) و محقق‌نیا (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) به این منظور دو بخش پولی و سرمایه‌ای بانکداری را از هم جدا کرده و برای هر کدام الگو و عملکرد متناسب با آن بخش را پیشنهاد کرده‌اند. به منظور

فراهم نمودن سپرده‌گذاری برای همه سلاقی و انگیزه‌های مشتریان در یک مجموعه مالی واحد به نام بانک، طراحی این دو بخش به نوعی صورت می‌پذیرد که در یک مجموعه واحد به نام بانک قابل اجرا باشد.

**فرض دوم:** بر اساس الگوی تفکیک شش نوع سپرده با کارکردهای ویژه خود جهت پوشش همه نیازها و سلاقی مشتریان طراحی شده است که در ادامه به بیان مختصر ویژگی‌های هر یک از آنها می‌پردازیم:

۱. **سپرده جاری:** با اقتباس از الگوی بانکداری محدود و بانکداری دوجاهه‌ای، این سپرده دارای ماهیت قرض بوده و هیچ‌گونه سودی به آن تعلق نمی‌گیرد و تمامی مانده آن جهت کنترل پول‌آفرینی بانک‌ها ذخیره می‌شود (Khan, 1986/ Khan & Mirakhor, 1987) (داوودی و محقق‌نیا، ۱۳۸۷).

۲. **سپرده پس‌انداز:** این سپرده بر اساس وکالت در قرض شکل می‌گیرد و هدف از طراحی آن احیای سنت قرض‌الحسنه می‌باشد و بانک ملزم است تمامی وجوه ناشی از این نوع سپرده را صرف تسهیلات قرض نماید و در قبال انجام این خدمت کارمزد خود را دریافت می‌کند.

۳. **سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در عقود با بازدهی ثابت:** منابع حاصل از این نوع سپرده‌ها در بخش تخصیص منابع توسط عقود با بازدهی ثابت به کار گرفته می‌شوند و دارای بازدهی انتظاری معینی هستند و سود مورد انتظار با سود تحقق‌یافته خیلی با هم تفاوت ندارند؛ مانند مرابحه، فروش اقساطی، خرید دین، سلف، اجاره به شرط تملیک و جعاله؛ برای این نوع از سپرده اوراق صادر نمی‌شود و سود علی‌الحساب پرداخت می‌شود و در پایان سال مالی نیز مابه‌التفاوت سود تسویه می‌شود.

۴. **سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در مشارکت:** برای این نوع از سپرده گواهی سپرده با سررسید معین در اختیار سپرده‌گذاران قرار داده می‌شود؛ این اوراق خاصیت انتقال‌پذیری دارند؛ یعنی می‌توانند در بازار ثانویه معامله شوند و با توجه به عمل‌کرد نهاد مشارکت بانک و سود مورد انتظار پروژه‌های نهاد مشارکت، سود اوراق خود را در هر لحظه دریافت نموده و اوراق را منتقل نمایند؛ به همین دلیل دیگر نیازی به پرداخت سود علی‌الحساب توسط بانک وجود ندارد.

۵. **سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در مضاربه:** این نوع سپرده هم ویژگی‌های سپرده بالا را دارد با این تفاوت که منابع آن صرفاً در قالب عقد مضاربه در تجارت به کار می‌رود.
۶. **سپرده سرمایه‌گذاری وکالت عام:** بانک می‌تواند وجوه جمع‌آوری شده بر اساس این سپرده را در تمام عقود موجود در بخش سرمایه‌ای به کار گیرد. در پایان سال مالی بانک بر اساس میزان وجوه استفاده‌شده از این حساب در هر نهاد، سود ترکیبی این سپرده‌ها را مشخص نموده و به مشتریان پرداخت می‌نماید؛ بانک به صاحبان این سپرده‌ها سود علی‌الحساب پرداخت می‌نماید.
- الگوی معرفی شده دارای سه تفاوت اساسی با الگوی کنونی بانکداری بدون ربای ایران است که به شرح زیر می‌باشد:
۱. در این الگو به منظور کنترل خلق پول و جلوگیری از اثرات مخرب آن بر اقتصاد، بر اساس الگوی بانکداری محدود سپرده جاری دارای ذخیره صد درصدی می‌باشد و بانک در مورد این وجوه هیچ‌گونه حق انتقال به غیر در قالب تسهیلات را ندارد؛ بنابراین در مدل ریاضی این بخش از سپرده در تابع درآمد بانک وارد نمی‌شود.
  ۲. برخلاف الگوی کنونی که سپرده پس‌انداز بر اساس عقد قرض می‌باشد، در الگوی مقاله این سپرده بر اساس عقد وکالت در قرض تعریف شده تا هم صد درصد این منابع در تسهیلات قرض مصرف شود و سنت حسنه قرض احیا شود و هم شبهه‌ای در مورد دریافت کارمزد بانک در اعطای تسهیلات قرض وجود نداشته باشد.
  ۳. در الگوی کنونی تمامی سپرده‌های سرمایه‌گذاری بر اساس عقد وکالت عام صورت می‌پذیرد؛ در صورتی که در الگوی مقاله به منظور پوشش همه سلیقه‌ها و فراهم‌نمودن شرایط متفاوت ریسک و بازدهی برای مشتریان، سپرده‌ها بر اساس عقد وکالت خاص (سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در عقود با بازدهی ثابت، سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در مشارکت، سپرده سرمایه‌گذاری وکالت در مضاربه و سپرده سرمایه‌گذاری وکالت عام) صورت می‌پذیرد که به‌کارگیری این سپرده‌ها در نهادهای تخصصی بانک و فقط در همان زمینه صورت می‌پذیرد و هر یک از این نهادها با عمل‌کرد مثبت خود و افزایش بازدهی سپرده‌ها می‌توانند سهم بیشتری از سپرده را به خود اختصاص دهند و کارمزد بیشتری بابت خدمات خود دریافت نمایند.

**فرض سوم:** درآمدهای بانک شامل درآمدهای کارمزدی و خدماتی در بخش پولی و حق‌الوکاله در بخش سرمایه‌ای است که به صورت رابطه هشت تعیین می‌شود:

$$\text{Total Income: } y_s(t) + y_c(t) + r^{Dm}D_m(t) + r^{Dif}D_{if}(t) + r^{Div}D_{iv}(t) \quad (8)$$

که در آن  $y_s$  درآمد حاصل از ارائه خدمات بانکی،  $y_c$  درآمد ناشی از سرمایه بانک،  $D_m$  سپرده‌های اختصاص‌یافته در زمینه قرض،  $D_{if}$  سپرده‌های اختصاص‌یافته در زمینه عقود با بازدهی ثابت و  $D_{iv}$  سپرده‌های اختصاص‌یافته در زمینه عقود مشارکتی می‌باشد. همچنین  $r^{Dm}$  کارمزد ارائه خدمات قرض‌الحسنه،  $r^{Dif}$  حق‌الوکاله به‌کارگیری سپرده‌ها در عقود با بازدهی ثابت و  $r^{Div}$  حق‌الوکاله به‌کارگیری سپرده‌ها در عقود مشارکتی می‌باشد. از آنجاکه بانک با استفاده از سرمایه خود در انواع مختلف سپرده‌گذاری ورود نموده و کسب سود می‌نماید، می‌توان درآمد حاصل از سرمایه بانک را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$y_c = \omega_1 r^{Dm^2} D_m(t) + \omega_2 r^{Dif^2} D_{if}(t) + \omega_3 r^{Div^2} D_{iv}(t)$$

توان دوم کارمزد انواع مختلف سپرده در معادله فوق به این دلیل است که چون بانک به وسیله سرمایه خود به تناوب به سپرده‌گذاری و واگذاری آن اقدام می‌نماید، هر چقدر نرخ کارمزد بالاتر باشد، به تناسب آن سود بانک نیز افزایشی خواهد بود.

**فرض چهارم:** هزینه‌های بانک به دو بخش هزینه‌های خود بانک و هزینه‌های نهادهای زیرمجموعه بانک تقسیم می‌گردد؛ هزینه‌های خود بانک در زمان  $t$  دارای یک فرم درجه دو از میزان کل سپرده‌ها (سپرده‌های بخش پولی و بخش سرمایه‌ای بانک) بوده و هزینه نهادهای زیرمجموعه بانک هم به عنوان یک متغیر جدا در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه هزینه بانک را می‌توان به صورت رابطه نه نشان داد:

$$\text{Cost of the Bank}(t) = a_0 + a_1 D(t) + a_2 D^2(t) + c_m D_m(t) + c_{if} D_{if}(t) + c_{iv} D_{iv}(t) \quad (9)$$

که در آن  $D$  مجموع کل سپرده‌های بانک،  $c_m$  هزینه نهایی تخصیص سپرده‌های قرض‌الحسنه،  $c_{if}$  هزینه نهایی تخصیص سپرده‌های عقود با بازدهی ثابت،  $c_{iv}$  هزینه نهایی

تخصیص سپرده‌های مشارکتی و  $[a_0, a_1, a_2]$  بردار پارامترهای ساختار هزینه‌ای بانک می‌باشد. در نظر گرفتن فرم درجه دو به این دلیل است که به دلیل وجود صرفه به مقیاس، معمولاً برای فعالیت بانک هزینه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری یکسانی در ابتدا مورد نیاز است و بنابراین با افزایش میزان سپرده، هزینه نهایی شکل نزولی دارد؛ ولی از یک سطح مشخص به بعد، جذب سپرده، نیاز به هزینه‌های بیشتر به منظور ارتقای زیرساخت‌ها در بانک مانند افزایش تعداد شعب یا ارتقای نرم‌افزارهای مورد استفاده را دارد که این امر سبب می‌شود افزایش هزینه فزاینده باشد و هزینه نهایی صعودی شود. تفکیک هزینه‌های تخصیص سپرده‌ها نیز به این دلیل است که ساختار هزینه‌ای تخصیص انواع سپرده کاملاً متفاوت از یکدیگر است.

**فرض پنجم:** تابع هدف بانک مانند هر مؤسسه خصوصی دیگر حداکثرسازی ارزش فعلی خالص سود است که از تفاضل ارزش فعلی درآمد و هزینه بانک به دست می‌آید.

**فرض ششم:** با توجه به غیر متعین بودن سپرده‌گذاری در هر لحظه از زمان، تغییرات سپرده‌گذاری در هر یک از انواع سپرده، از یک فرایند تصادفی تبعیت می‌کند.

**فرض هفتم:** اگر  $D_m(t)$  میزان سپرده پس‌انداز بر اساس عقد وکالت در قرض باشد، می‌توانیم تغییرات آن را به صورت زیر بیان نماییم:

$$dD_m(t)/D_m(t) = \mu_{D_m}(t)dt + \sigma_{D_m}(t)dW_{D_m}(t)$$

$dW_{D_m}(t)$  فرایند تصادفی براونی استاندارد سپرده پس‌انداز  $D_m(t)$  می‌باشد؛ مقدار میانگین انتظاری سپرده پس‌انداز را برابر تفاوت بازدهی نهایی حاصل از به‌کارگیری این سپرده با نرخ کارمزد آن در نظر می‌گیریم و از آنجاکه این نوع سپرده برای صاحبان آن بازدهی ندارد، لذا مقدار میانگین انتظاری را برابر  $-r^{Dm}$  (هزینه نهایی به‌کارگیری سپرده پس‌انداز) در نظر می‌گیریم. با این توجیه که هر چقدر مقدار هزینه به‌کارگیری سپرده‌های وکالت در قرض کمتر باشد، در نتیجه کارمزد کمتری توسط بانک بر مصرف این نوع از سپرده‌ها وضع می‌شود و در نتیجه مقدار این نوع از سپرده تغییرات مثبتی را شامل خواهد شد؛ بنابراین می‌توانیم تغییرات  $D_m(t)$  را به صورت رابطه ده بیان نماییم:

$$dD_m(t)/D_m(t) = -r^{Dm}dt + \sigma_{D_m}(t)dW_{D_m}(t) \quad (10)$$

**فرض هشتم:** اگر  $D_{if}(t)$  میزان سپرده به کارگرفته شده بر اساس عقود با بازدهی ثابت باشد، می توانیم تغییرات آن را به صورت زیر بیان نماییم:

$$dD_{if}(t)/D_{if}(t) = \mu_{D_{if}}(t)dt + \sigma_{D_{if}}(t)dw_{D_{if}}(t)$$

فرایند تصادفی براونی استاندارد سپرده  $D_{if}(t)$  می باشد؛ همان گونه که در فرض قبل بیان شد مقدار میانگین انتظاری سپرده به کارگرفته شده بر اساس عقود با بازدهی ثابت را برابر تفاوت بازدهی نهایی حاصل از به کارگیری این سپرده با نرخ کارمزد آن در نظر می گیریم. با توجه به اینکه در الگوی پیشنهادی مقاله میزان بازدهی این نوع از سپرده در پایان دوره مشخص می شود، لذا در اینجا از بازدهی انتظاری این نوع از سپرده استفاده می نماییم و آن را با  $\pi_{D_{if}}^e$  نشان می دهیم؛ بنابراین می توانیم تغییرات  $D_{if}(t)$  را به صورت رابطه یازده بیان نماییم:

$$dD_{if}(t)/D_{if}(t) = (\pi_{D_{if}}^e - r^{D_{if}})dt + \sigma_{D_{if}}(t)dw_{D_{if}}(t) \quad (11)$$

**فرض نهم:** اگر  $D_{iv}(t)$  میزان سپرده به کارگرفته شده بر اساس عقود مشارکتی باشد، می توانیم تغییرات آن را به صورت زیر بیان نماییم:

$$dD_{iv}(t)/D_{iv}(t) = \mu_{D_{iv}}(t)dt + \sigma_{D_{iv}}(t)dw_{D_{iv}}(t)$$

فرایند تصادفی براونی استاندارد سپرده به کارگرفته شده بر اساس عقود مشارکتی  $D_{iv}(t)$  می باشد؛ همانند فرض قبل مقدار میانگین انتظاری سپرده به کارگرفته شده بر اساس عقود مشارکتی را برابر تفاوت بازدهی نهایی حاصل از به کارگیری این سپرده با نرخ کارمزد آن در نظر می گیریم؛ در اینجا هم با توجه به اینکه در الگوی پیشنهادی مقاله میزان بازدهی این نوع از سپرده در پایان دوره مشخص می شود، از بازدهی انتظاری این نوع از سپرده استفاده می نماییم و آن را با  $\pi_{D_{iv}}^e$  نشان می دهیم؛ بنابراین می توانیم تغییرات  $D_{iv}(t)$  را به صورت رابطه دوازده بیان نماییم:

$$dD_{iv}(t)/D_{iv}(t) = (\pi_{D_{iv}}^e - r^{D_{iv}})dt + \sigma_{D_{iv}}(t)dw_{D_{iv}}(t) \quad (12)$$

**فرض دهم:** میان نوسانات سه نوع سپرده بالا یعنی  $D_m(t)$ ،  $D_{if}(t)$  و  $D_{iv}(t)$  همبستگی وجود دارد؛ ولی تنها در زمان های یکسان، نه در زمان های متفاوت؛ به بیان دیگر

میان این سه نوع سپرده، همبستگی سریالی (serially correlation) وجود ندارد؛ اگر برای این سه نوع سپرده، بازارهای مختلفی در نظر بگیریم، این فرض با فرضیه عمومی کارایی بازار فاما (Fama) و ساموئلسون (Samuelson) سازگاری دارد (Merton, 1992, p.220).

فرض یازدهم: مجموع کل سپرده‌های بانک  $D(t)$  تابعی از سه نوع سپرده بالا یعنی  $D_m(t)$ ،  $D_{if}(t)$  و  $D_{iv}(t)$  است؛ به نحوی که در زمان  $t$  برای کل سپرده‌های بانک داریم:

$$D(t) = F(t, D_m(t), D_{if}(t), D_{iv}(t)) \quad (۱۳)$$

در نتیجه بر اساس دیفرانسیل‌گیری تصادفی کلی و قضیه ایتو (Tsay, 2002, Allen, 2007, p.95/p.228) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} dD(t) &= dF(t, D_m(t), D_{if}(t), D_{iv}(t)) \\ &= F_t dt + F_{D_m} dD_m + F_{D_{if}} dD_{if} + F_{D_{iv}} dD_{iv} + \frac{1}{2} (F_{D_m D_m} (dD_m)^2 + \\ &2F_{D_m D_{if}} dD_m dD_{if} + 2F_{D_m D_{iv}} dD_m dD_{iv} + 2F_{D_{if} D_{iv}} dD_{if} dD_{iv} + \\ &F_{D_{if} D_{if}} (dD_{if})^2 + F_{D_{iv} D_{iv}} (dD_{iv})^2) \end{aligned}$$

در نتیجه می‌توانیم فرم فرایند براونی کل سپرده‌ها  $D(t)$  را به صورت رابطه چهارده

بنویسیم:

$$dD(t) = D(t) \left( \mu_D(t) dt + \sigma_{DD_m}(t) dw_{D_m}(t) + \sigma_{DD_{if}}(t) dw_{D_{if}}(t) + \sigma_{DD_{iv}}(t) dw_{D_{iv}}(t) \right) \quad (۱۴)$$

در معادله دیفرانسیلی بالا ضرایب به صورت زیر تعریف می‌شوند (Hanson, 2007, p.304):

$$\begin{aligned} D(t)\mu_D(t) &= F_t + \mu_{D_m} D_m F_{D_m} + \mu_{D_{if}} D_{if} F_{D_{if}} + \mu_{D_{iv}} D_{iv} F_{D_{iv}} + \\ &\frac{1}{2} \left( \sigma_{D_m}^2 D_m^2 F_{D_m D_m} + 2\rho_{D_m D_{if}} \cdot \sigma_{D_m} \sigma_{D_{if}} D_m D_{if} F_{D_m D_{if}} + \right. \\ &2\rho_{D_m D_{iv}} \cdot \sigma_{D_m} \sigma_{D_{iv}} D_m D_{iv} F_{D_m D_{iv}} + 2\rho_{D_{if} D_{iv}} \cdot \sigma_{D_{if}} \sigma_{D_{iv}} D_{if} D_{iv} F_{D_{if} D_{iv}} + \\ &\left. \sigma_{D_{if}}^2 D_{if}^2 F_{D_{if} D_{if}} + \sigma_{D_{iv}}^2 D_{iv}^2 F_{D_{iv} D_{iv}} \right) \end{aligned} \quad (۱۵)$$

$$D(t)\sigma_{DD_m}(t) = \sigma_{D_m} D_m F_{D_m} \quad (۱۶)$$

$$D(t)\sigma_{DD_{if}}(t) = \sigma_{D_{if}} D_{if} F_{D_{if}} \quad (۱۷)$$



$$D(t)\sigma_{DD_{iv}}(t) = \sigma_{D_{iv}}D_{iv}F_{D_{iv}} \quad (18)$$

به این صورت که عبارت اول ضرب  $dt$ ، عبارت دوم، سوم و چهارم هم به ترتیب ضرب  $dw_{D_m}$ ،  $dw_{D_{if}}$  و  $dw_{D_{iv}}$  می‌باشند. به این ترتیب معادله دیفرانسیل تصادفی کل سپرده‌ها که مستخرج از سه معادله دیفرانسیل تصادفی انواع سپرده‌ها می‌باشد با ذکر جزئیات و ضرایب به دست آمد.

فرض دوازدهم: کل سپرده‌های بانک به صورت رابطه نوزده تعیین می‌شود:

$$D(t) = F(t, D_m(t), D_{if}(t), D_{iv}(t)) = D_m(t) + D_{if}(t) + D_{iv}(t) + D_c(t) \quad (19)$$

که در آن  $D_c$  بیانگر سپرده‌های جاری می‌باشد. از آنجاکه می‌توان این سپرده را بر اساس تفاضل کل سپرده‌ها با دیگر انواع سپرده‌ها نوشت، می‌توان به عنوان یک متغیر غیر مستقل آن را در محاسبات حذف نمود و به دلیل اینکه این نوع سپرده به‌طور مشخص و مستقیم در سودآوری بانک لحاظ نشده است و مهم‌ترین اثر این نوع سپرده حذف ذخیره قانونی از سایر سپرده‌ها می‌باشد، لذا در تابع هدف هم نیامده است.

در نتیجه اکنون می‌توانیم با استفاده از معادله شماره نوزده، معادله دیفرانسیل تصادفی شماره چهارده را بازنویسی نماییم. برای این منظور از معادلات پانزده تا هیجده هم استفاده شده است.

$$dD(t) = (\mu_{D_m}D_m + \mu_{D_{if}}D_{if} + \mu_{D_{iv}}D_{iv})dt + \sigma_{D_m}D_mdw_{D_m}(t) + \sigma_{D_{if}}D_{if}dw_{D_{if}}(t) + \sigma_{D_{iv}}D_{iv}dw_{D_{iv}}(t)$$

با جایگزین کردن مقادیر میانگین انتظاری سپرده‌ها بر اساس فروض ششم تا هشتم می‌توانیم معادله نهایی دیفرانسیل تصادفی کل سپرده‌ها را به صورت رابطه بیست بیان نماییم:

$$dD(t) = \left( -r^{D_m}D_m(t) + (\pi_{D_{if}}^e - r^{D_{if}})D_{if}(t) + (\pi_{D_{iv}}^e - r^{D_{iv}})D_{iv}(t) \right) dt + \sigma_{D_m}D_m(t)dw_{D_m}(t) + \sigma_{D_{if}}D_{if}(t)dw_{D_{if}}(t) + \sigma_{D_{iv}}D_{iv}(t)dw_{D_{iv}}(t) \quad (20)$$

فرض سیزدهم: رابطه انواع سپرده‌ها، سرمایه بانک و درآمد ناشی از ارائه خدمات بانک

با کل سپرده‌های بانک به صورت زیر تعریف شده است:

$$D_m(t) = \alpha(t) D(t) \quad (21)$$

$$D_{if}(t) = \lambda(t) D(t) \quad (22)$$

$$D_{iv}(t) = \gamma(t) D(t) \quad (23)$$

$$C(t) = \theta D(t) \quad (24)$$

$$y_s(t) = \delta D(t) \quad (25)$$

که در این روابط  $\alpha$ ،  $\lambda$  و  $\gamma$  به ترتیب سهم سپرده‌های وکالت در قرض، وکالت در عقود با بازدهی ثابت و وکالت در مشارکت از کل سپرده‌ها می‌باشند.  $\theta$  نسبت نقدینگی بانک می‌باشد که با توجه به شرایط ویژه بانک مانند نوع مشتریان، ترکیب سپرده‌ها، شرایط اقتصادی جامعه و دیگر شاخص‌های تأثیرگذار در نقدینگی تعیین می‌گردد. در نهایت  $\delta$  ضریب درآمدزایی خدماتی بانک می‌باشد. در اینجا فرض شده که درآمد ناشی از خدمات بانک با میزان کل سپرده‌های بانک ارتباط مستقیم دارد؛ منطق این فرض این است که با افزایش میزان سپرده‌های بانک، امکانات، تعداد شعب، کارکنان و خدمات‌دهی بانک نیز افزایش می‌یابد.  $\delta$  می‌تواند از طریق تخمین رگرسیونی داده‌های بانک مشخص شود؛ البته ممکن است رابطه درآمد ناشی از خدمات بانک و سپرده‌ها از نوع درجه دوم یا لگاریتمی باشد که در اینجا برای سادگی رابطه خطی فرض شده است.

اکنون با توجه به معادلات شماره ۲۱ تا ۲۵ می‌توانیم معادلات نوزده و بیست را به صورت زیر بازنویسی نماییم:

$$D(t) = \alpha(t) D(t) + \lambda(t) D(t) + \gamma(t) D(t) + (1 - \alpha(t) - \lambda(t) - \gamma(t)) D(t) \quad (26)$$

$$dD(t) = D(t) \left[ \left( -\alpha r^{D_m} + \lambda \left( \pi_{D_{if}}^e - r^{D_{if}} \right) + \gamma \left( \pi_{D_{iv}}^e - r^{D_{iv}} \right) \right) dt + \alpha(t) \sigma_{D_m} dw_{D_m}(t) + \lambda(t) \sigma_{D_{if}} dw_{D_{if}}(t) + \gamma(t) \sigma_{D_{iv}} dw_{D_{iv}}(t) \right] \quad (27)$$

## تشکیل مسئله بهینه‌یابی پویای تصادفی تجهیز منابع

حال که مشخصات مدل پیشنهادی تبیین و فروض به‌کارگرفته‌شده در مدل تعریف شدند، می‌توانیم مسئله اصلی یعنی مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی جهت الگوی پیشنهادی تجهیز منابع در بانکداری اسلامی را تبیین نماییم. همان‌گونه‌که در فرض پنجم ذکر شد، تابع هدف بانک مانند هر مؤسسه خصوصی دیگر حداکثرسازی ارزش فعلی خالص سود است که از تفاضل ارزش فعلی درآمد و هزینه بانک به دست می‌آید. این مسئله سه قید تصادفی دارد که شامل معادله دیفرانسیل تصادفی سه نوع سپرده یادشده در مدل یعنی  $D_m(t)$ ،  $D_{if}(t)$  و  $D_{iv}(t)$  می‌باشد. مشابه همین کار توسط مرتون (۱۹۷۳) صورت پذیرفته است؛ به این صورت که مرتون در فصل هشتم کتاب خود با عنوان نظریه قیمت‌گذاری عقلایی اختیارات، تغییر در قیمت سهام، اوراق قرضه و اختیارات را به صورت یک معادله دیفرانسیل تصادفی بیان نموده که تغییرات قیمت اختیارات در آن، تابعی از تغییرات قیمت در سهام و اوراق قرضه می‌باشد. با این توضیحات می‌توانیم مسئله بهینه‌یابی پویای تصادفی مورد نظرمان را به صورت رابطه ۲۸ بیان نماییم:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z(t, D_m(t), D_{if}(t), D_{iv}(t)) &= E \left[ \int_{t_0}^T e^{-\beta t} \left[ y_s(t) + \right. \right. \\ &\omega_1 r^{D_m} D_m(t) + \omega_2 r^{D_{if}^2} D_{if}(t) + \omega_3 r^{D_{iv}^2} D_{iv}(t) + r^{D_m} D_m(t) + \\ &r^{D_{if}} D_{if}(t) + r^{D_{iv}} D_{iv}(t) - (a_0 + a_1 D(t) + a_2 D^2(t) + c_m D_m(t) + \\ &\left. c_{if} D_{if}(t) + c_{iv} D_{iv}(t) \right) dt \Big] \quad (28) \\ \text{s. t. } &\left\{ \begin{aligned} dD_m(t) &= D_m(t) [\mu_{D_m}(t) dt + \sigma_{D_m}(t) dw_{D_m}(t)] \\ dD_{if}(t) &= D_{if}(t) [\mu_{D_{if}}(t) dt + \sigma_{D_{if}}(t) dw_{D_{if}}(t)] \\ dD_{iv}(t) &= D_{iv}(t) [\mu_{D_{iv}}(t) dt + \sigma_{D_{iv}}(t) dw_{D_{iv}}(t)] \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

که در آن  $\beta$  نرخ تنزیل استفاده‌شده برای محاسبه ارزش حال سوده‌های آینده بانک است؛ نکته‌ای که وجود دارد این است که مسئله بهینه‌سازی تصادفی بالا دارای سه متغیر کنترل  $r^{D_m}$ ،  $r^{D_{if}}$  و  $r^{D_{iv}}$  و سه متغیر وضعیت  $D_m(t)$ ،  $D_{if}(t)$  و  $D_{iv}(t)$  می‌باشد که معادله دیفرانسیل تصادفی هر یک به عنوان یک قید تصادفی در مدل وارد شده است.

وجود چند متغیر کنترل خیلی مدل را پیچیده نخواهد کرد؛ ولی افزایش تعداد متغیرهای وضعیت کار را برای محاسبه و حل مدل بسیار سخت‌تر می‌نماید. در حالت عادی یعنی

یک مدل بهینه‌یابی تصادفی با یک متغیر وضعیت و یک متغیر کنترل، شاهد پیچیدگی‌های قابل توجه در محاسبات هستیم که در مسئله فوق این پیچیدگی‌ها چند برابر خواهد شد؛ چراکه ما درگیر مشتقات جزئی پیچیده‌تر و معادلات دیفرانسیل متعدد خواهیم بود که از قابلیت فهم مدل می‌کاهد؛ یکی از نوآوری‌های مهم پژوهش پیش رو، ساده‌کردن مدل با حفظ اطلاعات اصلی آن است؛ به این صورت که با تعریف یک تابع شامل سه متغیر وضعیت مسئله و با استفاده از اطلاعات موجود در این سه متغیر وضعیت، یک متغیر وضعیت کلی تعریف می‌نماییم که اطلاعات موجود در این سه متغیر وضعیت را در خود داشته باشد؛ در این صورت توانسته‌ایم با حفظ اطلاعات اصلی مسئله، آن را به یک مسئله ساده‌تر با یک متغیر وضعیت تبدیل نماییم. تعریف یک تابع که شامل همه متغیرهای وضعیت باشد و به دست آوردن دیفرانسیل تصادفی از این تابع به‌طور کامل و با ذکر جزئیات در فرض شماره یازده بیان شده است. در این فرض صورت کلی تابع و جزئیات به‌گونه‌ای بیان شده است که برای استفاده در مسائل دیگر نیز قابل استفاده باشد.

با توجه به ساده‌سازی‌های انجام‌گرفته بر اساس فروض نهم و یازدهم و استفاده از معادله شماره ۲۷ به عنوان قید مسئله می‌توانیم مسئله بهینه‌سازی تصادفی در معادله ۲۸ را به صورت رابطه ۲۹ بازنویسی نماییم:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z(t, D(t)) = & E \left[ \int_{t_0}^T e^{-\beta t} \left[ (\delta + \omega_1 \alpha r^{D_m^2} + \omega_2 \lambda r^{D_{if}^2} + \omega_3 \gamma r^{D_{iv}^2} + \alpha r^{D_m} + \lambda r^{D_{if}} + \gamma r^{D_{iv}}) D(t) - (a_0 + a_1 D(t) + a_2 D^2(t) + c_m \alpha(t) D(t) + c_{if} \lambda(t) D(t) + c_{iv} \gamma(t) D(t)) \right] dt \right] \\ \text{s. t. } \{ & dD(t) = D(t) \left[ (-\alpha r^{D_m} + \lambda (\pi_{D_{if}}^e - r^{D_{if}}) + \gamma (\pi_{D_{iv}}^e - r^{D_{iv}})) dt + \alpha(t) \sigma_{D_m} dw_{D_m}(t) + \lambda(t) \sigma_{D_{if}} dw_{D_{if}}(t) + \gamma(t) \sigma_{D_{iv}} dw_{D_{iv}}(t) \right] \} \end{aligned} \quad (29)$$

بر خلاف رابطه ۲۸ که سه متغیر وضعیت داشتیم، در اینجا فقط یک متغیر وضعیت داریم که آن هم  $D(t)$  یعنی کل سپرده‌های بانک می‌باشد. نکته دیگری که در این مسئله وجود دارد این است که در قید این مسئله معادله دیفرانسیل متغیر وضعیت متأثر از سه نوع فرایند تصادفی براونی می‌باشد که مربوط به سه نوع متفاوت از سپرده‌های بانک می‌باشد.

## حل مسئله بهینه‌یابی پویای تصادفی تجهیز منابع

همان‌گونه‌که در مبانی نظری بیان شد، زمانی که مسئله بهینه‌یابی دارای قید به صورت معادله دیفرانسیلی باشد و این معادله شامل فرایند تصادفی براونی باشد، دیگر نمی‌توان این‌گونه مسائل را با استفاده از روش حساب تغییرات و اصل ماکزیمم حل نمود و باید از روش برنامه‌ریزی پویا استفاده کرد؛ بنابراین در اینجا هم چون مسئله نهایی بیان شده در معادله ۲۹ شامل قید تصادفی می‌باشد، باید از روش برنامه‌ریزی پویا که استفاده از معادله بلمن می‌باشد، استفاده نمود. نکته قابل توجه در مسئله نهایی مقاله که در معادله ۲۹ آمده است، وجود سه نوع فرایند تصادفی براونی در قید مسئله می‌باشد؛ در این حالت صورت کل مسئله به شکل رابطه زیر تغییر می‌یابد:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= E \left[ \int_{t_0}^T I(t, x, u) dt + F(x(T), T) \right] \\ \text{s.t. } dx &= f(t, x, u) dt + \sigma_1(t, x, u) dw_1 + \sigma_2(t, x, u) dw_2 + \sigma_3(t, x, u) dw_3 \end{aligned} \quad (30)$$

۱۷۹

اگر مسئله کلی بهینه‌یابی تصادفی به صورت بالا باشد، در معادله بلمن تغییر اساسی رخ خواهد داد. با توجه به اینکه این نوع مسئله و روش حل آن در کتاب‌های مرجع مسائل بهینه‌یابی تصادفی ذکر نگردیده است، نگارنده با رجوع به روش استخراج معادله بلمن و استفاده از اصل بهینگی، معادله بلمن متناسب با مسئله فوق را به صورت رابطه ۳۱ استخراج نموده است:

$$-z_t(t, x) = \text{Max}_u \left[ I(t, x, u) + z_x(t, x) f(t, x, u) + \frac{1}{2} z_{xx}(t, x) (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 + 2\rho_{13}\sigma_1\sigma_3 + 2\rho_{23}\sigma_2\sigma_3) \right] \quad (31)$$

که در آن  $\rho_{12}$ ،  $\rho_{13}$  و  $\rho_{23}$  ضریب همبستگی حرکت‌های براونی را با هم نشان می‌دهد؛ با مقایسه معادله ۳۰ با مسئله نهایی بیان‌شده در معادله ۲۹ خواهیم داشت:

$$f(t, x, u) = D(t) \left( -\alpha r^{Dm} + \lambda (\pi_{Dif}^e - r^{Dif}) + \gamma (\pi_{Div}^e - r^{Div}) \right)$$

$$\sigma_1(t, x, u) = \alpha(t) D(t) \sigma_{Dm}$$

$$\sigma_2(t, x, u) = \lambda(t) D(t) \sigma_{Dif}$$

$$\sigma_3(t, x, u) = \gamma(t) D(t) \sigma_{Div}$$

با قراردادن تابع اصلی و جایگزینی عبارات معادل  $f(t, x, u)$ ،  $\sigma_1(t, x, u)$ ،  $\sigma_2(t, x, u)$  و  $\sigma_3(t, x, u)$  در معادله بلمن یادشده در معادله ۳۱ به معادله بلمن متناسب با مسئله نهایی پژوهش دست خواهیم یافت که به صورت رابطه ۳۲ می‌باشد: (به منظور ساده‌تر شدن مدل، ضریب همبستگی متغیرهای تصادفی برابر صفر در نظر گرفته شده است).

$$-z_t(t, D) = \max_u \left[ e^{-\beta t} \left[ D \left( \delta + \omega_1 \alpha r^{Dm^2} + \omega_2 \lambda r^{Dif^2} + \omega_3 \gamma r^{Div^2} + \alpha r^{Dm} + \lambda r^{Dif} + \gamma r^{Div} \right) - \left( a_0 + a_1 D + a_2 D^2 + D(c_m \alpha + c_{if} \lambda + c_{iv} \gamma) \right) \right] + z_D(t, D) \cdot D \left( -\alpha r^{Dm} + \lambda \left( \pi_{Dif}^e - r^{Dif} \right) + \gamma \left( \pi_{Div}^e - r^{Div} \right) \right) + \frac{1}{2} z_{DD}(t, D) \cdot D^2 \left( \alpha^2 \sigma_{Dm}^2 + \lambda^2 \sigma_{Dif}^2 + \gamma^2 \sigma_{Div}^2 \right) \right] \quad (32)$$

برای حل معادله بالا می‌توان از روش‌های حل معادلات با مشتقات جزئی در حالت‌های خاص استفاده نمود (پورکاظمی، ۱۳۹۳، ص ۴۴۶-۴۵۸). یک روش برای حل معادله فوق با توجه به صورت معادله، استفاده از روش ضرایب نامعین می‌باشد؛ در این روش حل نخست جواب را با ضرایب نامعین حدس زده و این جواب را با ضرایب نامعین در معادله برده و از اتحاد طرفین، ضرایب نامعین را تعیین می‌کنیم (همان، ۴۵۲).

در صورتی که بخواهیم مسئله نسبت به متغیرهای کنترل ماکزیمم باشد، باید از رابطه فوق نسبت به این متغیرها مشتق جزئی بگیریم؛ سپس برابر صفر قرار داده و مقادیر به دست آمده را در معادله ۲۵ جایگزین نماییم؛ با جایگزینی مقدار بهینه متغیرهای کنترل در معادله بلمن شماره ۳۲ و حل این معادله با استفاده از روش ضرایب نامعین، مقادیر نهایی و بهینه متغیرهای کنترل به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$r^{Dm*} = \frac{A_1 + 2A_2 D - 1}{2\omega_1} \quad (33)$$

$$r^{Dif*} = \frac{A_1 + 2A_2 D - 1}{2\omega_2} \quad (34)$$

$$r^{Div*} = \frac{A_1 + 2A_2 D - 1}{2\omega_3} \quad (35)$$

با جایگذاری مقادیر بهینه به دست آمده برای متغیرهای کنترل در این معادله، به معادله حرکتی دست می‌یابیم که متغیرهای کنترل در آن بهینه می‌باشند و به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \frac{dD(t)}{D(t)} = & \left( \frac{-\alpha(A_1+2A_2D-1)}{2\omega_1} + \lambda \left( \pi_{Dif}^e - \frac{A_1+2A_2D-1}{2\omega_2} \right) + \gamma \left( \pi_{Div}^e - \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{A_1+2A_2D-1}{2\omega_3} \right) \right) dt + \alpha \sigma_{Dm} dw_{Dm}(t) + \lambda \sigma_{Dif} dw_{Dif}(t) + \\ & \gamma \sigma_{Div} dw_{Div}(t) \end{aligned} \quad (36)$$

سرانجام با استفاده از فرمول ایتو می‌توانیم مقدار بهینه متغیر وضعیت یعنی  $D(t)$  را در هر لحظه از زمان به دست آوریم (Hanson, 2007, p.250). نکته‌ای که در مورد معادله حرکت این مسئله وجود دارد این است که این معادله به جای یک نوع حرکت براونی شامل سه نوع حرکت براونی می‌باشد؛ بنابراین باید فرمول ایتو را برای این نوع از معادله حرکت، دوباره استخراج نمود. در بیشتر کتاب‌های مرجع فرمول مشخص و دقیقی برای این موارد ذکر نشده و صرفاً به بیان صورت برداری اکتفا نموده‌اند (Tsay, 2002, p.242)؛ به همین جهت با محاسبات نگارنده این فرمول به صورت زیر به دست آمده است:

$$dY = \left( F_t + F_x \alpha + \frac{1}{2} F_{xx} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2] \right) dt + F_x [\sigma_1 dw_1 + \sigma_2 dw_2 + \sigma_3 dw_3] \quad (37)$$

بر این اساس اگر طبق معادله شماره بیست، صورت کلی معادله حرکت به صورت زیر باشد:

$$\frac{dD}{D} = \left[ \alpha dt + \sigma_1 dw_{Dm} + \sigma_2 dw_{Dif} + \sigma_3 dw_{Div} \right]$$

با تعریف  $Y = F(t, x) = \ln D$  و تشکیل فرمول ایتو طبق معادله ۳۷ بر اساس این

تابع، جواب معادله دیفرانسیل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} d \ln D &= \left( 0 + \frac{1}{D} \alpha D + \frac{-1}{2D^2} [\sigma_1^2 D^2 + \sigma_2^2 D^2 + \sigma_3^2 D^2] \right) dt + \frac{1}{D} \left[ \sigma_1 D dw_{Dm} + \right. \\ & \left. \sigma_2 D dw_{Dif} + \sigma_3 D dw_{Div} \right] \\ \Rightarrow d \ln D &= \left( \alpha - \frac{1}{2} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2] \right) dt + \left[ \sigma_1 dw_{Dm} + \sigma_2 dw_{Dif} + \sigma_3 dw_{Div} \right] \\ \Rightarrow \ln D &= \ln D_0 + \left( \alpha - \frac{1}{2} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2] \right) t + \sigma_1 w_{Dm} + \sigma_2 w_{Dif} + \sigma_3 w_{Div} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow D^* = D_0 e^{(\alpha - \frac{1}{2}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2])t + \sigma_1 w_{Dm} + \sigma_2 w_{Dif} + \sigma_3 w_{Div}} \quad (38)$$

در مرحله آخر با جایگذاری مقادیر معادل  $\alpha$ ،  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  به دست آمده از معادله حرکت ۳۶ می‌توانیم به مسیر بهینه متغیر وضعیت مسئله یعنی مقدار سپرده بانک دست یابیم.

$$\alpha = \left( \frac{-\alpha(A_1 + 2A_2 D - 1)}{2\omega_1} + \lambda \left( \pi_{Dif}^e - \frac{A_1 + 2A_2 D - 1}{2\omega_2} \right) + \gamma \left( \pi_{Div}^e - \frac{A_1 + 2A_2 D - 1}{2\omega_3} \right) \right)$$

$$\sigma_1 = \alpha \sigma_{Dm}$$

$$\sigma_2 = \lambda \sigma_{Dif}$$

$$\sigma_3 = \gamma \sigma_{Div}$$

به منظور به دست آوردن مسیر زمانی بهینه  $D^*$  به صورت عددی می‌توان از روش شبیه‌سازی اولر - مارویاما استفاده نمود؛ به این صورت که اگر صورت کلی معادله دیفرانسیل تصادفی به شکل زیر را در نظر بگیریم:

$$dx = \alpha(t, x)dt + \sigma(t, x)dw$$

فرایند تصادفی وینر  $w_t$  با استفاده از مجموعه‌ای تجمعی تغییرات افزایشی که از توزیع نرمال تولید می‌شوند، ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه تغییرات افزایشی فرایند  $x$  از زمان  $k$  تا زمان  $k+1$  یعنی  $\Delta x_k$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta x_k = x_{k+1} - x_k = \alpha(t_k, x_k)\Delta t + \sigma(t_k, x_k)\Delta w_k$$

که در آن  $\Delta P_k = P(t_{k+1}) - P(t_k)$ ،  $\Delta w_k = w(t_{k+1}) - w(t_k)$  و  $\Delta t$  یک بازه زمانی کوچک است. به این ترتیب برای شبیه‌سازی فرایند  $x_t$ ، مقادیر  $\Delta w_k$  را از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس  $\Delta t$  با استفاده از اعداد تصادفی از توزیع نرمال استاندارد بر اساس رابطه  $\Delta w_k = \sqrt{\Delta t} \times N(0,1)$  شبیه‌سازی می‌نماییم؛ بدین ترتیب اگر مقدار فرایند  $x$  در زمان  $t_0$  را داشته باشیم، مقدار فرایند در زمان  $k+1$  برای  $k = 1:N$  به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha(t_k, x_k)\Delta t + \sigma(t_k, x_k)\Delta w_k$$



که در آن  $t_{k+1} = k\Delta t$  می‌باشد؛ بنابراین با انجام این فرایند شبیه‌سازی به مسیر فرایند  $X_t$  بر بازه زمانی مورد علاقه می‌رسیم (Hanson, 2007, p.253؛ به نقل از کیایی و دیگران، ۱۳۹۲، ص ۱۳۰).

### تعیین و تحلیل میزان بهینه سهم هر یک از انواع سپرده

برای تعیین سهم بهینه هر یک از انواع سپرده باید از رابطه ۳۲ (معادله بلمن به دست آمده از مسئله نهایی مقاله) نسبت به هر یک از این سهم‌ها مشتق گرفته و مقدار به دست آمده را برابر صفر قرار دهیم؛ به این ترتیب مقدار بهینه سهم هر یک از انواع سپرده به صورت زیر خواهد بود:

$$\alpha^* = \frac{e^{-\beta t}(\omega_1 r^{Dm^2} + r^{Dm} - c_m) - r^{Dm} \cdot z_D}{z_{DD} \cdot D \sigma_{Dm}^2} \quad (39)$$

$$\lambda^* = \frac{e^{-\beta t}(\omega_2 r^{Dif^2} + r^{Dif} - c_{if}) + (\pi_{Dif}^e - r^{Dif}) \cdot z_D}{z_{DD} \cdot D \sigma_{Dif}^2} \quad (40)$$

$$\gamma^* = \frac{e^{-\beta t}(\omega_3 r^{Div^2} + r^{Div} - c_{iv}) + (\pi_{Div}^e - r^{Div}) \cdot z_D}{z_{DD} \cdot D \sigma_{Div}^2} \quad (41)$$

همان‌گونه که در روابط بالا مشخص است، سهم هر یک از انواع سپرده با افزایش هزینه نهایی به کارگیری سپرده کاهش می‌یابد؛ بنابراین در صورت کاهش هزینه به کارگیری هر یک از انواع سپرده، سهم آن سپرده نیز افزایش خواهد یافت؛ از سوی دیگر هر چقدر نوسانات مربوط به هر یک از انواع سپرده ( $\sigma$ ) کمتر باشد، سهم آن سپرده نیز افزایش می‌یابد؛ در نتیجه ثبات و عدم نوسان شدید در یک نوع از سپرده، اثر مثبت در میزان سهم آن سپرده خواهد داشت. عامل دیگری که سبب افزایش سهم یک نوع از سپرده می‌شود، افزایش بازدهی به کارگیری آن سپرده می‌باشد؛ به این معنی که اگر مثلاً نهاد مربوط به عقد مشارکت، با مدیریت صحیح و انتخاب طرح‌های پربازده و کم‌ریسک بتواند بازدهی سپرده‌های مشارکتی را بالا ببرد، این امر سپرده‌گذاران را ترغیب به افزایش سپرده مشارکتی نموده و سهم این نوع سپرده افزایش می‌یابد. اثر نرخ کارمزد هر نوع از سپرده بر میزان سهم آن نوع از سپرده مشخص نمی‌باشد؛ چراکه در روابط بالا هم به صورت مثبت و هم به صورت منفی وجود دارد؛ با افزایش کارمزد به کارگیری هر نوع از سپرده از سویی انگیزه

سپرده‌گذاران کاهش و از سوی دیگر انگیزه نهاد مربوط به آن نوع از سپرده را افزایش می‌دهد و از آنجاکه سود بانک در به‌کارگیری آن نوع از سپرده افزایش می‌یابد، طبیعتاً سپرده‌های با وکالت عام خود را به آن نوع خاص از سپرده اختصاص می‌دهد.

### مقایسه مدل مقاله با مدل مبتنی بر بهره

برای مقایسه مدل مقاله پیش رو با مدل مبتنی بر بهره در این قسمت از مدل بیان شده در مقاله کیایی و همکاران (۱۳۹۲) استفاده می‌نماییم. کیایی در مقاله خود مدل بهینه‌یابی تصادفی پویا برای یک بانک مبتنی بر بهره را به صورت زیر مدل‌سازی نموده است:

$$\max_{D_t} V(t, L_t) = \int_0^T e^{-\beta t} (r^L L_t + r^T T_t - r^D D_t - (a_0 + a_1 D_t + a_2 D_t^2 + b_1 L_t + b_2 L_t^2)) dt$$

$$s.t. \quad dL_t = (C_t + D_t - T_t - R_t) dt + \sigma_t L_t dW_t P_t$$

که در آن درآمدهای بانک شامل درآمد بهره‌ای اعطای وام ( $r^L L_t$ ) و درآمد ناشی از اوراق ( $r^T T_t$ ) می‌باشد و هزینه‌های آن شامل هزینه بهره‌ای سپرده ( $r^D D_t$ ) و هزینه عملیاتی بانک می‌باشد. ساختار مدل مبتنی بر بهره بسیار ساده و بسیط می‌باشد. بانک از سویی سپرده می‌پذیرد و درصد ثابتی بابت آن بهره می‌پردازد و از سوی دیگر با صرف این سپرده‌ها در اعطای وام و خرید اوراق درآمد مشخص و ثابتی به دست می‌آورد که سود بانک از مابه‌التفاوت آنها به دست می‌آید. با مقایسه این مدل با مدل ارائه‌شده مقاله در رابطه ۲۸ تفاوت‌های زیر قابل بیان است:

- در مدل مقاله سود به‌دست‌آمده از فعالیت بانک برخلاف نظام مبتنی بر بهره، متعلق به صاحبان سپرده بوده نه بانک؛ به همین جهت، حداکثر نمودن میزان حق‌الوکاله و کارمزد خدمات بانک، به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود که این امر منجر به نتایج مثبتی مانند افزایش انگیزه سپرده‌گذاری، بهبود توزیع سود و ریسک میان مشتری و بانک و ایجاد رقابت میان بانک‌ها می‌شود؛ بنابراین در الگوی اسلامی مقاله منافع صاحبان سپرده بیشتر تأمین می‌شود.
- بر خلاف مدل مبتنی بر بهره در جهت برآورده نمودن همه سلايق در سپرده‌گذاری، انواع مختلف سپرده با بازدهی و ریسک متفاوت (قرض، وکالت در عقود با بازدهی ثابت و عقود با بازدهی متغیر) در مدل مقاله در نظر گرفته شده است که هر یک از آنها

دارای نرخ حق‌الوکاله مخصوص به خود می‌باشند و در رابطه با بازدهی عمل کرد بانک می‌باشد. بانک می‌تواند در عقود با بازدهی متغیر با افزایش بازدهی خود، حق‌الوکاله بیشتری دریافت و سود خود را حداکثر نماید. این تنوع در سپرده‌گذاری سبب تخصصی شدن فعالیت بانک و افزایش بازدهی سپرده‌ها می‌شود و ارتباط بانک با بخش واقعی اقتصاد پررنگ‌تر می‌شود.

- در مدل مبتنی بر بهره، بانک از طریق افزایش نرخ سود تسهیلات، سود خود را حداکثر می‌نماید؛ در حالی که در مدل مقاله بانک به منظور حداکثر نمودن سود خود باید عمل کرد خود در بخش واقعی اقتصاد را بهبود ببخشد تا با افزایش بازدهی و کاهش هزینه بتواند سود بیشتری نصیب صاحبان سپرده نماید و از این طریق با افزایش رغبت سپرده‌گذاران قادر به جذب سپرده بیشتری شده و پیرو آن کارمزد و حق‌الوکاله بیشتری دریافت نماید و سود خود را حداکثر نماید.

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تشکیل مسئله بهینه‌یابی تجهیز منابع بر اساس الگوی پیشنهادی و حل آن با استفاده از معادله بلمن استخراج شده توسط نگارنده و تعیین مسیر بهینه متغیرهای کنترل و وضعیت با استفاده از مدل بهینه‌یابی پویای تصادفی، مدل‌سازی شدند که البته با توجه به تعداد متغیرهای کنترل و وضعیت در این مدل، نیاز به تعریف توابع میانی و مشتقات جزئی متعدد بود که انجام شد و نتیجه نهایی به دست آمد.

یکی از نوآوری‌های پژوهش پیش رو در مدل‌سازی ریاضی بانکداری اسلامی، عدم اکتفا به الگوی رایج بانکداری بدون ربا می‌باشد. از آنجاکه الگوی کنونی بانکداری بدون ربا از جهات مختلف - نظری و عملی - دارای مشکلات متعددی می‌باشد، بنابراین لازم است در وهله نخست با معرفی یک الگوی جایگزین این مشکلات برطرف شده باشد، سپس این الگوی جایگزین مدل‌سازی شود؛ به این ترتیب توانسته‌ایم الگویی را مدل‌سازی ریاضی نماییم که در واقعیت اقتصاد قابلیت اجرا داشته باشد و امیدوار باشیم کارایی آن به مراتب از الگوی فعلی بیشتر است.

در مدل معرفی شده پارامترهای متعددی وجود دارد که برای تعیین مسیر بهینه متغیرهای کنترل و وضعیت باید مقادیر عددی آنها استخراج گردند. از آنجا که الگوی ارائه شده برای تجهیز منابع یک الگوی کاملاً جدید و متفاوت با الگوهای در حال اجرا می‌باشد، پس نمی‌توان بر اساس یک الگوی عملی اجرا شده مقادیر این پارامترها را به دست آورد. إن شاء الله با اقبال مسئولان و دست‌اندرکاران از این الگو و اجرای عملی آن، بتوان مقادیر واقعی این پارامترها را استخراج و مسیر بهینه متغیرهای کنترل و وضعیت را تعیین نمود.

با تعیین مقادیر بهینه نرخ کارمزد و حق‌الوکاله، بانک می‌تواند در هر لحظه از زمان نسبت به اصلاح قراردادهای خود در جهت اعمال این نرخ‌های بهینه اقدام نموده و سود خود را حداکثر نماید؛ از سوی دیگر با تعیین مقادیر بهینه سه متغیر  $\alpha(t)$ ،  $\lambda(t)$  و  $\gamma(t)$  به عنوان سهم هر یک از انواع سپرده، بانک می‌تواند با مقایسه این سهم‌های بهینه با مقادیر واقعی، مسیر حرکت خود در جهت رسیدن به سهم‌های بهینه را تغییر دهد. بانک با استفاده از ابزار در اختیار خود مانند تبلیغات و سپرده‌های وکالت عام می‌تواند این سهم‌ها را تغییر داده و مستقیماً میزان سودآوری خود را تغییر دهد.

در الگوی ارائه شده، بانک مانند هر مؤسسه مالی دیگر حداکثرکننده سود می‌باشد و مسیر بهینه متغیرهای کنترل و وضعیت نیز طوری استخراج شده‌اند که بانک را به حداکثر سود برسانند. با تعیین مسیر بهینه سپرده‌های بانک با استفاده از روابط ۲۱، ۲۲ و ۲۳ می‌توان مسیر بهینه هر یک از انواع سپرده‌ها را نیز استخراج نمود و با مقایسه این مقادیر با مقدار واقعی هر یک از این سپرده‌ها در عمل، مسیر حرکت خود را به سمت مقدار بهینه در جهت حداکثر نمودن سودآوری بانک تغییر داد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم الگوی ارائه شده در مقاله بسیط و قابل اجرا بودن این الگو در عمل می‌باشد؛ در واقع الگوی پژوهش به گونه‌ای طراحی شده است که تا اندازه‌ای هم پاسخگوی نیازهای واقعی جامعه باشد و هم تطابق صد در صدی با شرع داشته باشد و در عین حال به نظر می‌رسد نیازی به صوری‌سازی و استفاده از حیل‌های شرعی برای اجرای آن نباشد؛ چراکه نیازهای واقعی مشتریان در قالب‌های تأیید شده شرعی در این الگو برآورده می‌شود و در عمل نیازی به صوری‌سازی نمی‌باشد. درآمد اصلی بانک در این الگو از دریافت کارمزد و حق‌الوکاله به دست می‌آید که از قبل مشخص و شفاف می‌باشد؛ در

واقع در قرارداد میان مشتری و بانک، همه چیز از قبل مشخص و شفاف می‌باشد و بانک خود را درگیر تعهدات اضافه ننموده و طبق شرایط اقتصاد کلان جامعه و وضع بازار، میزان سود سپرده‌گذاران تعیین و به آنها پرداخت می‌شود. در این مدل انگیزه بانک برای کسب سودآوری بیشتر و ارائه سود بالاتر به مشتریان، کسب عمل‌کرد بهتر نسبت به رقبا و جذب مشتریان بیشتر می‌باشد؛ چراکه با افزایش مقدار سپرده‌های بانک، طبیعتاً میزان کارمزد و حق‌الوکاله بیشتری نصیب بانک شده و میزان سودآوری بانک را افزایش می‌دهد؛ به همین دلیل که بانک در یک شرایط رقابتی و بر اساس واقعیت‌های اقتصادی جامعه اقدام به فعالیت می‌کند، این الگو می‌تواند در کشورهای غیر اسلامی نیز اجرا و با آنها رقابت نماید. در پایان خاطر نشان می‌شود که این الگو و بیان آن با استفاده از دقیق‌ترین و جدیدترین ابزار ریاضی یک نقطه شروع در این زمینه می‌باشد و بی‌گمان با ورود دیگر پژوهشگران به این عرصه، این الگو جرح و تعدیل شده و ایرادات احتمالی آن مشخص و رفع می‌شود و سرانجام می‌تواند به عنوان الگویی جدید و مترقی مورد استفاده نظام بانکی کشور عزیزمان قرار گیرد و به عنوان نمادی از تمدن غنی ایرانی اسلامی فراروی دیگر کشورها قرار گرفته و مورد الگوبردای آنها قرار گیرد.

## منابع و مأخذ

۱. اینتریلیگیتور، ام.دی.؛ اصول بهینه‌یابی پویا؛ ترجمه محمدحسین پورکاظمی؛ چ ۲، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۷.
۲. پورکاظمی، محمدحسین؛ بهینه‌سازی پویا، کنترل بهینه و کاربردهای آن، چ ۱، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۳.
۳. چیانگ، آلفا.سی.؛ اصول بهینه‌یابی پویا؛ ترجمه عباس شاکری و فریدون اهرابی؛ چ ۱، تهران: انتشارات دانشگاه علامه طباطبایی، ۱۳۸۷.
۴. داوودی، پرویز و محمد بیدار؛ «بررسی الگوی تفکیک عقود در بانکداری اسلامی»؛ دوفصلنامه معرفت اقتصاد اسلامی، س ۳، ش ۵، ۱۳۹۰.
۵. داوودی، پرویز و محمدجواد محقق‌نیا؛ «بانکداری محدود»؛ دوفصلنامه علمی - پژوهشی جستارهای اقتصادی، س ۵، ش ۱۰، ۱۳۸۷.

۶. داودی، پرویز و حسین صمصامی؛ اقتصاد پول و بانکداری؛ تهران: دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۷.
۷. کیایی، حسن و دیگران؛ «مقایسه عمل‌کرد بهینه در بانکداری اسلامی و بانکداری متعارف: استفاده از فرایند تصادفی پرش - انتشار»؛ دوفصلنامه علمی پژوهشی مطالعات اقتصاد اسلامی، س ۶، ش ۱۱، ۱۳۹۲.
۸. محقق‌نیا، محمدجواد؛ الگوی بانکداری اسلامی؛ قم: مرکز بین‌المللی ترجمه و نشر المصطفی ص، ۱۳۹۳.
۹. \_\_\_\_\_؛ ساختار بانکداری اسلامی و ارائه الگویی برای بانکداری اسلامی در ایران؛ چ ۱، تهران: انتشارات دانشگاه علامه طباطبائی، ۱۳۹۲.
۱۰. موسویان، سیدعباس و دیگران؛ «تعیین سهم بهینه عقودهای مبادله‌ای و مشارکتی در بانکداری بدون ربا»؛ فصلنامه اقتصاد اسلامی، س ۱۴، ش ۵۳، ۱۳۹۳.
۱۱. میرجلیلی، سیدحسین؛ «الگویی برای سازماندهی مجدد نظام بانکی»؛ فصلنامه نامه مفید، ش ۴۲، ۱۳۸۳.
12. A Ahmad, Ausaf; "Structure of deposits in selected Islamic banks: implication for deposit mobilization, Islamic Research and Training Institute"; **Islamic Development Bank**, Jeddah, Saudi Arabia, 1997.
13. Allen, E.; **Modeling with Ito stochastic differential equations**; University of Texas, USA, published by springer, p.o. Box 17 , 3300 AA, 2007.
14. Bertsekas, Dimitri P.; **Dynamic Programing and Optimal Control**; volume 2, Athena Scientific, third edition, 2003.
15. Black F., Scholes M.J.; "The Pricing of Options and Corporate Liabilities"; **Journal of Political Economy**, Vol.81, No. 3, pp. 637-654, May - June 1973.
16. Bossone, Biagio.; "Should Banks Be Narrowed?"; **Working Paper**, No. 354, 2002.

17. Floyd B. Hanson; **Applied Stochastic Processes and Control for Jump-Diffusions: Modeling, Analysis and Computation**; University of Illinois, Chicago, USA, 2007.
18. Khan, M. S.; "Islamic Interest-Free Banking"; **IMF Staff Papers**, 1986.
19. Khan, Mohsin. S & Mirakhor, Abbas; "The Framework and Practice of Islamic Banking in Theoretical Studied in Islamic Banking and Finance"; edited by Mohsin S Khan. & Abbas Mirakhor (USA), **the institute for research and Islamic studies**, 1987.
20. Merton, R. C., & Samuelson, P. A; **Continuous-time finance**; 1992.
21. Mukuddem-Petersen J., Petersen M. A.; "Bank Management via Stochastic Optimal Control"; **Automatica**, vol. 42, No. 8, pp. 1395-1406, 2006.
22. R. C. Merton; **Theory of Rational Option Pricing**; Bell J. Econ. Mgmt. Sci., vol. 4, 1973 (Spring), pp. 141-183. (Reprinted in Merton [203, Chapter 8].), 1973.
23. Sigauke, C., Maposa, D., & Chagwiza, W.; "Modelling Commercial Banks Liquidity Management Using Stochastic Programming"; **International Journal of Business and Management**, 7(9), 49, 2012.
24. Tsay, R. S.; "Analysis of Financial Time Series"; University of Chicago, **the wiley-interscience publication**, 2002.