



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری

دوره ۱۴ / شماره ۱ (پیاپی ۵۳) / بهار ۱۴۰۴

صفحه ۶۸۷ تا ۷۱۶

ارایه الگوی مناسب منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی با تکیه بر مدلهای نلسون سیگل و اسونسون در بازار مالی ایران

سعید مسعودی

دانشجوی دکتری مهندسی مالی، گروه مدیریت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
s.masoudi1399@gmail.com

غلامرضا محفوظی

استادیار، گروه اقتصاد و حسابداری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (نویسنده مسئول)
gholamrezamahfoofi@yahoo.com

سید مظفر میر برگ کار

استادیار، گروه مدیریت بازرگانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
mirbargkar@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷

چکیده

یکی از شاخص‌های بسیار مهم و مبنای تصمیم‌گیری در اکثر بازارهای مالی کشورها، منحنی بازده اسناد خزانه می‌باشد. متغیرهای اقتصاد کلان کشورها معمولاً متأثر از ویژگی‌های رفتاری مصرف‌کنندگان همان کشور است، به عبارت دیگر منحنی بازده هر کشوری با داده‌های اقتصادی و مشخصات اوراق با درآمد ثابت همان کشور برازش و ترسیم می‌شود. هدف از این پژوهش معرفی مدل مناسب منحنی بازده اسناد خزانه در ایران با تکیه بر مدل‌های صرفه‌جویانه نلسون سیگل (۱۹۸۷) و اسونسون (۱۹۹۴) می‌باشد. تراکنش‌های ۷۳ روز معاملاتی حایز شرایط معیارهای این پژوهش به عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند، پارامترهای دو مدل پس از تلخیص داده‌ها از طریق رگرسیون خطی و با استفاده از روش حداقل مجموع مربعات (OLS) برآورد و بهینه‌سازی شدند. نمودارهای منحنی بازده نرخ نقدی^۱ اسناد خزانه اسلامی (فاقد کوپن) با داده‌های یکسان هر دو مدل برازش و ترسیم شدند. به منظور ارزیابی میزان دقت هر مدل در تخمین پارامترهای منحنی روزانه از ضریب تعیین R^2 ، مربع میانگین خطای پیش‌بینی و قدرمطلق میانگین خطای پیش‌بینی استفاده شد. برای مقایسه عملکرد مدل‌ها از تفاوت یا اسپرد جذر میانگین خطای پیش‌بینی روزانه و آزمون دایبولد ماریانو (۱۹۹۵) برای کل دوره پژوهش استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد مدل اسونسون در پیش‌بینی پارامترها و برازش منحنی اسناد خزانه اسلامی با سطح ۹۵ درصد اطمینان از مدل نلسون سیگل بهتر است. **واژه‌های کلیدی:** منحنی بازده، اسناد خزانه اسلامی، مدل نلسون سیگل، مدل اسونسون

1 Spot rate

۱- مقدمه

در آخرین طبقه بندی و تعاریفی که در آئین نامه اجرایی مصوب مورخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۷ هیات وزیران در ایران از اوراق مالی اسلامی و اجزای آن ارایه شده است. اسناد خزانه اسلامی، اوراق مالی اسلامی است که در چهارچوب عقود اسلامی و مطابق با ابلاغ اعتبار و تخصیص های صادر شده توسط سازمان برنامه و بودجه و به قیمت اسمی مشخص برای مدت معین برای تأدیه مطالبات قطعی شده و قراردادی نظیر پیش‌پرداخت تعهد شده طبق قراردادهای منعقد شده توسط دستگاه های اجرایی واگذار می‌شوند. این اوراق مشمول مالیات به نرخ صفر می باشد و بازپرداخت اصل در سررسید، در اولویت تخصیص و پرداخت است و خزانه‌داری کل کشور موظف است در صورت عدم دریافت تخصیص در موعد مقرر، نسبت به تأمین و پرداخت مبالغ مربوط از محل تنخواه‌گردان خزانه اقدام کند. این حکم تا زمان تسویه اوراق یادشده به قوت خود باقی است.

اسناد خزانه از مهمترین ابزارهایی هستند که در کشورهای گوناگون توسط دولت‌ها و بانک‌های مرکزی جهت اعمال سیاست‌های اقتصادی و تنظیم بازارهای پول و سرمایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، اسناد خزانه اصلی‌ترین اوراق مورد استفاده در بازار بدهی به حساب می‌آیند و عملاً بازار بدهی بر اساس این ابزار قوام می‌یابد. از منظر حقوقی، اسناد خزانه متعارف سند بدهی است که صرفاً بر اساس اعتبار دولت منتشر شده و در بازار اوراق بهادار تنزیل می‌شود. (ذاکرنیا، ۱۳۹۵). پس از تصویب قانون بازار اوراق بهادار جمهوری اسلامی ایران در ۱۳۸۴، برای رفع موانع غیر شرعی و ماهیت ربوی اوراق قرضه و اسناد خزانه متعارف در دنیا، کمیته فقهی سازمان بورس و اوراق بهادار تشکیل و انواع صکوک را به عنوان اوراق بهادار اسلامی جایگزین اوراق قرضه و اسناد خزانه اسلامی را بر مبنای بیع دین جایگزین اسناد خزانه متعارف نمود. در ایران نیز اسناد خزانه اسلامی از سال ۱۳۹۳ با سررسید یک ساله به بازار بدهی عمومی وارد و با توسعه و رونق بازار حجم انتشار و دوره سررسید آن نیز افزایش یافت.

از مهمترین تحقیقات داخلی که تاکنون در مورد اسناد خزانه انجام شده عبارت است از: امکان سنجی فقهی طراحی اسناد خزانه اسلامی در بازارهای مالی اسلامی توسط موسویان، نظریور و خزایی (۱۳۸۹)، مدل عملیاتی جهت انتشار اسناد خزانه اسلامی به پشتوانه بدهی های دولت به طلبکاران توسط خادم الحسینی و موسویان (۱۳۹۱)، ذاکر نیا و حبیب الهی در سال ۱۳۹۵ مدل قیمت گذاری اسناد خزانه اسلامی مبتنی بر چارچوب اوراق بهادار سازی پیشنهاد دادند. فیاضی و نظر پور (۱۳۹۴) اسناد خزانه اسلامی کوتاه مدت را برای خرید و فروش بدهی ها مسجل طراحی کردند. بیات و کرمی (۱۳۹۶) آسیب شناسی بازار اسناد خزانه اسلامی را انجام دادند. پیمانی و هوشنگی (۱۳۹۶) تخمین و مقایسه مدلهای تعادلی نرخ سود کوتاه مدت اسناد خزانه اسلامی را انجام دادند. نظریور و صدراپی (۱۳۹۶) به شناسایی و رتبه بندی ریسک های اسناد خزانه اسلامی در بازار اوراق بهادار ایران پرداختند. کیان پور و همکاران (۱۳۹۹) ساختار زمانی نرخ بهره در چارچوب یک مدل نئوکینزنی را مورد مطالعه قرار دادند. صدراپی و دیگران (۱۳۹۹) تأثیر انتشار اسناد خزانه اسلامی بر پایداری مالی دولت ایران با رویکرد مدل تعادل عمومی پویای تصادفی را مورد بررسی قرار دادند. خردیار و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه ای کارکرد اسناد خزانه در بازار مالی ایران را مورد بررسی قرار دادند.

اکثر تحقیقات انجام شده داخلی در زمینه های اهداف و ساختار اوراق مالی اسلامی، احکام شرعی، ریسک و بازده اوراق و فرآیندهای صدور و انتشار آن در بازارهای مالی به انجام رسیده است. گرچه سازمان فرابورس در یکسال گذشته نمایش سری زمانی نمودار اسناد خزانه اسلامی را به نمایش می گذارد اما تا زمان شروع و انتشار این تحقیق، تحقیقات علمی در زمینه تشکیل منحنی بازده روزانه اسناد خزانه اسلامی با داده های معاملات بازار سرمایه ایران با تکیه بر مدل‌های مختلف و مقایسه مدل‌ها و ارایه یک مدل مناسب به بازار مالی ایران انجام نگرفته است.

امروزه نمودار منحنی بازده اسناد خزانه توسط خزانه داری و بانکهای مرکزی برخی از کشورهای توسعه یافته به صورت روزانه منتشر می شود. این کشورها برای نمایش و برازش منحنی از ابزار ها و مدل های متفاوتی استفاده می نمایند. بیش از ۸ دهه از ورود محققان و دانشمندان به موضوع منحنی بازده و نقش آن در تحلیل اقتصادی و پیش بینی رشدها و رکودهای آتی اقتصاد می گذرد. این سابقه طولانی به دلیل اهمیت بازار بدهی و سابقه بیش از یک قرن استفاده از اوراق با درآمد ثابت در بازار سرمایه برخی از کشورهای مذکور بر می گردد. باتوجه به گذشت یک دهه از ورود ابزار بدهی به بازار سرمایه ایران، لزوم بررسی همه ابعاد آن از جمله نقش آن در تامین سرمایه بخش خصوصی تا کسری بودجه دولت و اجرای سیاستهای پولی و بانکی، نقش شاخص های آن در تحلیل وضعیت اقتصادی می تواند مبنای تحقیقات علمی گسترده ای باشد. فقدان تحقیقات علمی برای معرفی روش های ترسیم و برازش منحنی بازده روزانه، معرفی یک مدل بهینه مناسب برای برازش منحنی اسناد خزانه، انواع منحنی بازده و روش های تحلیل هر کدام و کاربرد منحنی بازده موضوعاتی است که در این تحقیق به دنبال تشریح و بررسی علمی آنان هستیم.

هدف اصلی این پژوهش معرفی مدل مناسب و بهینه منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی در ایران از بین مدل های صرفه جویانه نلسون سیگل (۱۹۸۷) و اسونسون (۱۹۹۴)^۱ می باشد. بررسی ساختار و فرآیند صدور اسناد خزانه اسلامی در ایران، الگوها و مدل ها و انواع منحنی بازده اسناد خزانه و تشکیل روزانه منحنی اسناد خزانه در ایران از اهداف فرعی این تحقیق می باشد. در این پژوهش به سئوالات زیر پاسخ می دهیم.

- (۱) مفهوم، ساختار، اهداف و فرآیند انتشار اسناد خزانه اسلامی در ایران چگونه است؟
- (۲) اسناد خزانه اسلامی با اسناد خزانه متعارف در بازارهای مالی خارجی چه تفاوت هایی دارند؟
- (۳) آیا با داده های معاملاتی در بازار مالی ایران امکان تشکیل منحنی روزانه بازده اسناد خزانه اسلامی وجود دارد؟
- (۴) مدل صرفه جویانه چیست و کدام مدل صرفه جویانه برازش بهتری از منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی نمایش می دهد؟

در این مقاله، از مفاهیم مدل سازی برای منحنی بازده که در مطالعات و پژوهش های قبلی توسط بانک های مرکزی و خزانه داری تعدادی از کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه مورد بررسی و آزمون قرار گرفته بود، استفاده شد. تراکنش های معاملات نمادهای اسناد خزانه روزانه نمونه پژوهش (روزهای منتخب در بازار ابزار های نوین

1 Charles R. Nelson & Andrew F. Siegel

فراپورس ایران) از سال ۱۳۹۴ لغایت پایان نیمه اول سال ۱۴۰۱ مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. پارامترهای دو مدل بر اساس داده‌های معاملاتی یکسان با استفاده از رگرسیون خطی تخمین و باروش حداقل مربعات معمولی (OLS) بهینه‌سازی شد. مقادیر پارامترها و میزان خطای هر مدل مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت فرضیه قدرت پیش‌بینی یکسان دو مدل با استفاده از متغیر تفاوت (اسپرد) خطای RMSE دو مدل با روش دیبولد و ماریانو (۱۹۹۵) مورد آزمون قرار گرفت. فرضیه آزمون در سطح ۹۵ درصد اطمینان رد شد. چون اکثر اسپردهای خطا (di) بزرگتر از صفر و مثبت هستند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خطاهای مدل نلسون سیگل در تخمین پارامترهای منحنی اسنادخزانه اسلامی بیشتر از مدل اسونسون است و با داده‌های نمونه تحقیق مدل اسونسون برازش بهینه‌ای از منحنی نرخ نقدی اسناد خزانه اسلامی در بازار مالی ایران به نمایش می‌گذارد.

مروری بر پیشینه پژوهش

پیشنهاد برازش منحنی تنزیل مبتنی بر ساختار زمانی اوراق قرضه توسط چند جمله‌ای اسپلاین^۱ را نخستین بار هستون مک‌کلوج^۲ (۱۹۷۱-۱۹۷۵) مبتنی بر داده‌های قیمتی پیشنهاد کرد. گری شی^۳ (۱۹۸۲، ۱۹۸۵) نشان داد که منحنی تابع بازده به دست آمده به شدت به سمت انتهای محدوده سررسید در نمونه خم می‌شود. سایر محققان مدل‌های پارامتری مختلفی را برای برازش منحنی‌ها پیشنهاد داده‌اند، از جمله کوهن، کرامر و واو (۱۹۶۶)، فیشر (۱۹۶۶)، اکولز و الیوت (۱۹۷۶)، دابسون (۱۹۷۸)، هلر و خان (۱۹۷۹)، و چمبرز، کارلتون و والدمن (۱۹۸۴).^۴ برخی از اینها مبتنی بر رگرسیون چند جمله‌ای بودند و همه آنها شامل حداقل یک عبارت خطی هستند (نلسون و سیگل، ۱۹۸۷).

پژوهش‌های زیادی در اقتصاد مالی به مدل‌سازی و پیش‌بینی نرخ بهره و ساختار زمانی آن اختصاص یافته است. رویکردهای نظری رایج برای مدل‌سازی ساختار زمانی، مدل‌های تعادلی هستند که توسط واسچیک (۱۹۷۷)، کاکس، اینگرسول، و راس (۱۹۸۵)، دافی و کان (۱۹۹۶)، دای و سینگلتن (۲۰۰۲) یا دافی (۲۰۰۲) و مدل بدون آربیتراژ در راستای نظر هال و وایت (۱۹۹۰) یا هیث، جارو و مورتون (۱۹۹۲)^۵ پیشنهاد شده‌اند. گرچه این رویکردها در به تصویر کشیدن ساختار زمانی در سطح مقطع سررسیده موفق هستند، اما معمولاً هنگامی که برای پیش‌بینی پویای نرخ‌های بهره آتی استفاده می‌شوند، عملکرد نسبتاً محدودی را نشان می‌دهند (هاتسچ، نیکولاس^۶، ۲۰۰۸). فاماوبلیس^۷ (۱۹۸۷) روش دیگری را برای برازش منحنی بازده پیشنهاد کردند آنها بازده‌ها را از روی نرخ‌های آتی محاسبه کردند. یکی از فرم‌های تابع پارامتری که به طور گسترده در تخمین منحنی بازده مورد استفاده قرار

1 Polynomial spline

2 Huston McCulloch

3 Gary Shea

4 including Cohen, Kramer, and Waugh (1966), Fisher (1966), Echols and Elliott (1976), Dobson (1978), Heller and Khan (1979), and Chambers, Carleton, and Waldman (1984).

5 Vasicek (1977), Cox, Ingersoll, Ross (1985), Duffie and Kan (1996), Dai and Singleton (2002), Duffee (2002) Hull and White (1990), Heath, Jarrow, and Morton (1992)

6 Nikolaus Hautsch

7 FAMA, E.F. and BLISS, R.R

می گیرد توسط نلسون و سیگل (۱۹۸۷) پیشنهاد شد. مدلی که به اندازه کافی انعطاف پذیر است و می تواند منحنی های اشکال مختلف را نشان دهد. در این مدل، پارامترها با نرخ بهره بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت مرتبط هستند. اساساً این فرم منحنی بازده را از طریق سه عامل سطح، شیب و انحنا توصیف می کنند و عامل دیگری که نشان دهنده یک مقیاس زمانی است تفسیر می شود. آنها از شکل تابعی لاگر که از حاصل ضرب بین یک چندجمله ای و اگر و یک عبارت ثابت فروپاشی نمایی تشکیل شده است، استفاده کردند (کال دری یا^۸، ۲۰۱۰). بازده و منحنی بازده به عنوان یک دغدغه نظری و تجربی مهم در اقتصاد، از زمان پژوهش ایروینگ فیشر به اوایل قرن بیستم بر می گردد. به گفته زالوم^۹ (۲۰۰۹) بازده و منحنی بازده اواسط قرن بیستم بود که در دنیای مالی مدرن نفوذ کردند و گسترش یافتند، زیرا تجزیه و تحلیل منحنی بازده با توجه به سیاست و پیامدهای سرمایه گذاری آن برجسته شد. (کسار^{۱۰}، ۲۰۲۱). برازش منحنی های بازده با داده های سررسید شده حداقل به تلاش های پیشگام دیوید دوراند^{۱۱} (۱۹۴۲) برمی گردد که برای نخستین بار با استفاده از پراکنش داده ها، منحنی مناسبی برازش نمود (نلسون و سیگل، ۱۹۸۷). در واقع ظهور منحنی بازده از طرف سرمایه گذاران برای اوراق با سررسیدهای طولانی مدت از اواسط سال ۱۹۴۲ آغاز شد و خزانه داری و فدرال رزرو (بانک مرکزی آمریکا) با تعیین نرخ بهره بر روی اسناد خزانه کوتاه مدت و محدود کردن نرخ های اوراق بهادار بلندمدت خزانه داری، سعی در مدیریت و کنترل منحنی بازده در تمام سررسیدها را به عنوان یک کل نشان دادند این شیوه کنترل تا سال ۱۹۵۱ ادامه داشت (رز، جانانان^۱، ۲۰۲۱). منحنی بازده در پی فروپاشی سیستم نرخ ارز ثابت برتون وودز برجسته شد. نرخ های ارز شناور، رشد سریع اعتبار و افزایش تورم ناشی از آن، تجارت اوراق قرضه را بسیار دشوارتر کرد، در اواسط دهه ۱۹۷۰، مارتین لیوویت^۲ از موسسه تحقیقاتی سالومون برادرز شروع به تشویق معامله گران شرکت کرد تا به بازده اوراق قرضه به عنوان یک پیوستار فکر کنند. آنها به جای اینکه هر سررسید (اوراق قرضه ده ساله، پنج ساله و غیره) را به عنوان یک بازار جداگانه در نظر بگیرند، شروع به ترسیم منحنی در تمام دوره بازده خود کردند. نزدیک ترین زمان به زمان حال در این منحنی به انتهای کوتاه معروف شد و بازده اوراق قرضه بازمان طولانی تر، طبیعتاً به انتهای بلند منحنی معروف شد. (تام اکت^۳، ۲۰۲۱).

بسیاری از بانک های مرکزی از مدل های مبتنی بر داده ها برای درون یابی منحنی های بازده و ارزیابی اقدامات سیاست پولی استفاده می کنند (بیس^۴، ۲۰۰۵). در واقع، چنین مدل هایی تفسیر اقتصادی مناسبی از ساختار زمانی بازده یا قیمت های مشاهده شده، برای ابزارهای با درآمد ثابت ارائه می دهند. همچنین آنها مبنای ایده آلی برای اندازه گیری ریسک در پرتفوی های با درآمد ثابت هستند (کال دریا و همکاران، ۲۰۱۵). مدل صرفه جویانه نلسون-سیگل (۱۹۸۷) و الحاقات آن توسط اسونسون (۱۹۹۴، ۱۹۹۵) و بلیس (۱۹۹۷) از یک تابع نمایی واحد

8 Caldeira, J. F., Moura, Guilherme V., & Portugal, Marce

9 Zaloom, C. 2009

10 Cassar, Dylan

11 David Durand

1 Rose, Jonathan

2 Martin L. Leibowitz

3 Eckett, Tom

4 BIS, 2005

در کل محدوده سررسید استفاده می‌کنند. محبوبیت این مدل‌ها از این واقعیت ناشی می‌شود که بر خلاف مدل اسپلاین، آنها یک تقریب ساده از منحنی بازده ارائه و تنها از تعداد کمی از پارامترها استفاده می‌کنند، اما به اندازه کافی انعطاف‌پذیر هستند تا طیفی از اشکال یکنواخت، منحنی (کوهان دار) و از نوع ~ را در داده‌های بازده به تصویر بکشند (دی پوتر^۵، ۲۰۰۷). (رانیک راین^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به نوظهور بودن بازار اسناد خزانه در ایران به جز مطالعات داخلی شرکت فرابورس به شماره گزارش ۹۷-۰۷، پژوهش‌های مستقلی از طرف دانشگاه‌ها و سایر مراکز علمی در خصوص منحنی بازده اسناد خزانه ایران (البته تا تاریخ نگارش این پژوهش) انجام نشده است. اگرچه در خصوص معرفی، امکان سنجی فقهی، چگونگی استفاده، ارزیابی عملکرد و ریسک‌های اسناد خزانه اسلامی مطالعاتی انجام شد.

منحنی‌های بازده معمولاً با استفاده از بازده اوراق تنزیل سالانه برآورد می‌شوند و با استفاده از روش نرخ بهره مرکب پیوسته محاسبه می‌شوند. در صورت عدم وجود اوراق تنزیل با تاریخ سررسید پایدار، منحنی بازده تشکیل نمی‌شود. در نتیجه، منحنی بازده معمولاً با استفاده از روش ساختار زمانی اوراق قرضه‌ای تشکیل می‌شود که دارای کوپن (یا فاقد کوپن) با سررسیدهای مختلف است. چهار نظریه (فابوزی، ۲۰۱۶؛ بریگام و هیوستون، ۲۰۱۶؛ التون و همکاران، ۲۰۱۴)^۷ وجود دارد که شکل‌گیری منحنی بازده را توضیح می‌دهد (سانتوسا^۸، ۲۰۲۱).

در تحقیقاتی که برای درک پیش‌بینی‌های رکود ایالات متحده انجام شد تفاوت (اسپرد) بازده ۱۰ ساله و ۳ ماهه به عنوان بهترین پیش‌بینی‌کننده رکود اقتصادی ایالات متحده تشخیص داده شد. محققان برای تجزیه و تحلیل تجربی خود، یک نمونه ماهانه از نرخ‌های بهره ثابت خزانه داری در ۹ سررسید مختلف (۳ ماهه تا ۲۰ ساله) از ژانویه ۱۹۶۹ تا نوامبر ۲۰۲۰ از داده‌های اقتصادی فدرال رزرو جمع‌آوری و به کار گرفتند و برای تفسیر و مقایسه از الگوریتم‌های جایگزین با روش‌های جنگل تصادفی و یادگیری ماشین استفاده شد. (دلگادو و همکاران^۱، ۲۰۲۲).

گیتیماداس کریشنا، بیسواجیت ناگ^۱ (۲۰۲۲) قدرت پیش‌بینی منحنی بازده - شواهدی از هندوستان هدف این مقاله بررسی این موضوع است که آیا منحنی بازده در بازار درآمد ثابت دولتی می‌تواند فعالیت‌های اقتصادی آتی در هند را پیش‌بینی کند یا خیر. تلاش شده است تا قدرت پیش‌بینی یک شاخص ترکیبی تخمینی پیشرو (CILI)^۲ با شیب منحنی بازده مقایسه شود. این مقاله نتیجه می‌گیرد که شیب منحنی بازده قدرت پیش‌بینی بسیار بهتری نسبت به CILI دارد.

5 De Pooter⁺

6 Ranik Raaen Wahlström

7 Fabozzi, 2016; Brigham & Houston, 2016; Elton et al., 2014

8 Perdana Wahyu SANTOSA

1 Pedro Cadahia Delgado & et al

1 Das Krishna Geetima, Nag Biswajit

2 Composite Index Of Lead Indicators

مبانی نظری پژوهش

تغییرات در قیمت‌ها و حجم ابزارهای مالی بر ثروت اقتصادی تأثیر می‌گذارد و ثروت اقتصادی از طریق کانال احساسات اقتصادی بر تصمیمات مخارج داخلی کشورها تأثیر می‌گذارد. تغییرات قیمت ابزارهای مالی نیز نشان دهنده تغییرات در انتظارات بخش خصوصی در مورد چشم انداز اقتصادی است. به طور خاص، منحنی‌های بازده تخمین زده می‌شوند تا یک نمایش گرافیکی از رابطه بین بازده و شرایط تا سررسید اوراق بدهی در هر زمان معین ارائه کنند. محتوای اطلاعاتی منحنی بازده منعکس کننده فرآیند قیمت گذاری دارایی در بازارهای مالی است. هنگام خرید و فروش اوراق قرضه، سرمایه گذاران انتظارات خود را از تورم آینده و نرخ‌های بهره واقعی و ارزیابی ریسک‌ها در نظر می‌گیرند. سرمایه گذار قیمت اوراق قرضه را با تنزیل جریان‌های نقدی مورد انتظار آتی محاسبه می‌کند. معمولاً اصطلاح "منحنی بازده" به ساختار زمانی نرخ بهره اوراق قرضه باکوپن صفر و بدون ریسک نکول اشاره دارد. نظریه‌های زیربنای ساختار زمانی نرخ بهره را می‌توان به طور خلاصه به شرح زیر بیان کرد: (اندرسن^۱، ۲۰۱۸)

نظریه رجحان نقدینگی: این نظریه نشان می‌دهد که سرمایه گذاران ریسک‌گریز هستند و برای نگهداری اوراق بهادار با سررسید طولانی‌تر، صرف ریسک (پاداش) بیشتری را طلب می‌کنند. این یعنی اینکه سرمایه گذاران در شرایط عدم اطمینان دسترسی به وجه نقد در امروز را بر مقید نمودن پول نقد برای تحویل یک محصول در آینده ترجیح می‌دهند. در صورت مساوی بودن همه شرایط دیگر، می‌توان انتظار داشت که شیب منحنی بازده افزایشی خواهد بود.

فرضیه انتظارات محض: طبق این نظریه، نرخ‌های آتی بر منحنی حاکم است. اینها صرفاً انتظارات نرخ‌های آتی هستند و صرف ریسک را در نظر نمی‌گیرند. به عبارت دیگر، این فرضیه نشان می‌دهد که نرخ‌های بهره بلندمدت می‌توانند به عنوان پیش‌بینی‌کننده نرخ‌های بهره کوتاه‌مدت آتی عمل کنند. به جای خرید یک اوراق قرضه بلندمدت، یک سرمایه‌گذار می‌تواند سرمایه‌گذاری در اوراق قرضه کوتاه‌مدت را در دوره‌ای به همان طول باقی‌مانده سررسید اوراق بلندمدت در نظر بگیرد. بدون توجه به ملاحظات ریسک، کل بازده سرمایه‌گذاری در اوراق قرضه بلندمدت باید برابر با بازده تجمعی مورد انتظار سرمایه‌گذاری در مجموعه‌ای از اوراق قرضه دوره‌های کوتاه مدت باشد. این همچنین نشان می‌دهد که متوسط نرخ بهره کوتاه مدت آینده مورد انتظار در افق سرمایه‌گذاری باید با نرخ بهره بلند مدت برابر باشد. به عنوان مثال، یک منحنی بازده شیب دار به سمت بالا، که دارای نرخ‌های بهره بلندمدت بالاتر از نرخ‌های بهره کوتاه مدت است، افزایش مورد انتظار در نرخ‌های کوتاه مدت را نشان می‌دهد. شواهد تجربی نشان می‌دهد که این فرضیه اغلب نرخ‌های بهره کوتاه‌مدت آتی را بیش از حد نشان می‌دهد، که ممکن است ناشی از صرف ریسک باقی‌مانده باشد. بنابراین، به منظور استخراج انتظارات بازار در مورد نرخ‌های بهره کوتاه مدت آتی از منحنی بازده، صرف ریسک باید برآورد شود. با این حال، این کار به ویژه به دلیل این واقعیت که صرف ریسک در طول زمان در نوسان است، پیچیده است. با این وجود، به نظر می‌رسد که فرضیه

1 Per Nyman-Andersen

انتظارات هنوز نقطه شروع معقولی برای سنجش انتظارات نرخ بهره از منحنی بازده باشد. لازم به ذکر است، برای افق‌های کوتاه‌تر، صرف ریسک در شرایط عادی بازار نسبتاً پایین و پایدار است.

فرضیه بازارهای تقسیم‌بندی شده: منحنی بازده به عرضه و تقاضا در بخش‌های مختلف بستگی دارد و هر بخش از منحنی بازده فقط به طور ضعیف با سایر بخش‌ها مرتبط است. این فرضیه مبتنی بر این باور است که هر بخش از بازار اوراق قرضه عمدتاً توسط سرمایه‌گذارانی پر شده است که ترجیح خاصی برای سرمایه‌گذاری در اوراق بهادار در آن چارچوب زمانی سررسید کوتاه‌مدت، میان‌مدت یا بلندمدت دارند. بنابراین منحنی بازده توسط عوامل عرضه و تقاضا در هر طول سررسید شکل می‌گیرد.

تئوری زیستگاه ترجیحی: طبق این نظریه، که به فرضیه بازارهای تقسیم‌بندی شده مربوط می‌شود، سرمایه‌گذاران نیز ممکن است ترجیح سررسید داشته باشند و اگر افزایش بازده برای جبران این تغییر کافی تلقی شود، به سررسید دیگری تغییر مکان خواهند داد.

میرکو آبریتی^۱ و دیگران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای عوامل جهانی در ساختار زمانی نرخ بهره را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان اثرات شوک‌های جهانی را که بطور اساسی در سطح بین‌الملل منتقل می‌شوند بر پویایی نرخ بهره مورد بررسی قرار دادند. به دنبال یکپارچگی مالی جهانی، مقدار قابل توجهی از بدهی‌های داخلی دولت‌ها توسط خارجی‌ها در جهان نگهداری می‌شود و بالعکس. این مقاله به این چالش پرداخته و نقش عوامل جهانی را در منحنی‌های بازده چندین کشور صنعتی بررسی می‌کند. در این مدل پیشنهادی، عوامل تعیین‌کننده سنتی منحنی‌های بازده شامل سطح، شیب و انحنا با مجموعه‌ای از عوامل جهانی همراه است که آنها را بر اساس قیاس - "سطح جهانی"، "شیب جهانی" و "انحنای جهانی" می‌نامند. در این پژوهش منحنی‌های بازده هفت اقتصاد باز شامل کانادا، بریتانیا، ژاپن، آلمان، استرالیا، نیوزیلند و سوئیس مورد پژوهش قرار گرفت. نتیجه اینکه عوامل جهانی محرک‌های نهایی منحنی بازده و پویایی صرف سررسید در سراسر کشورها هستند. علاوه بر این، عوامل جهانی تفسیر اقتصادی روشنی دارند. سطح تورم مورد انتظار جهانی است و شیب آن شبیه رشد جهانی است و مهم‌تر از همه، نقش کلیدی انحنای جهانی از نزدیک شبیه یک عامل ریسک بلندمدت و مربوط به بی‌ثباتی مالی و اقتصادی آتی است که انتظارات فوری از سیاست پولی انبساطی را برانگیخته است. چگونگی استفاده سرمایه‌گذاران از فرضیه‌های فوق برای تشریح ساختار زمانی نرخ‌های بهره و توضیح کامل منحنی بازده موضوع مطالعه‌ای است که میشل ریچارد^۲ (۲۰۲۰) تحت عنوان نظریه‌های منحنی بازده و کاربرد آنها در طول زمان انجام دادند.

1 Abbritti, Mirko

2 Michael Richard O'Donnell

اسناد خزانه اسلامی

۴-۱- مفهوم اسناد خزانه اسلامی³

اسناد خزانه اسلامی، اوراق بهادار با نامی است که در آن دولت متعهد می شود مبلغ اسمی این اوراق را که هر واحد آن برابر یک میلیون ریال است در تاریخ سررسید به دارنده آن پرداخت نماید. وجه تسمیه کلمه اسلامی در عبارت اسناد خزانه اسلامی، آن است که بر خلاف اسناد خزانه در کشورهای دیگر غیراسلامی که می تواند سند بدهی صرف باشد، اسناد خزانه اسلامی باید بر مبنای بدهی های ناشی از معاملات حقیقی اقتصادی و نه دیون صوری و غیر واقعی انتشار یابد. دولت اولویت پرداخت اسناد خزانه اسلامی را در تاریخ سررسید هم ردیف با پرداخت حقوق و مزایای کارکنان خود قرار داده و این نوع از بدهی های خود را به عنوان بدهی ممتاز دولت در نظر گرفته است. خزانه داری کل کشور نیز پرداخت مبلغ اسمی اسناد خزانه اسلامی را در سررسد اوراق تعهد کرده است. این تعهدنامه به امضای وزیر امور اقتصادی و دارایی رسیده و بازپرداخت آن در تاریخ سررسید تضمین شده است. بنابراین، در صورت ایفای کامل این تعهدات توسط دولت، اسناد خزانه اسلامی عاری از ریسک نکول خواهد شد و سبب کسب اعتبار توسط دولت می شود. هرچه اعتبار دولت در بازار اوراق بدهی دولتی افزایش یابد، می تواند کمک کند تا دولت حجم بیشتری از این اوراق را با هزینه مالی کمتر به فروش رساند (کرمی و بیات، ۱۳۹۶). اسناد خزانه اسلامی، ابزاری مالی است که مبتنی بر بدهی دولت به نظام بانکی، ذینفعان و تأمین کنندگان منابع بوده و به وسیله خزانه داری کل وزارت امور اقتصادی و دارایی منتشر می شود. این اسناد، اوراق بهادار بانام و یا بی نامی است که خزانه داری کل (وزارت امور اقتصادی و دارایی) با سررسید معین منتشر نموده و در برابر بدهیهای بخش دولتی به بانک مرکزی، شبکه بانکی و پیمانکاران طرف قرارداد در طرحهای تملک داراییهای سرمایه ای مورد نظر به بهای اسمی در اختیار بانک مرکزی، بانکهای بستانکار، پیمانکاران و سایر بستانکاران قرار می دهد. بازپرداخت اسناد خزانه در سررسید توسط وزارت امور اقتصادی و دارایی تضمین می شود و قبل از سررسید از قابلیت تنزیل در بازار ثانویه برخوردار است. دریافت کنندگان اسناد خزانه می توانند این اوراق را در بازار ابزارهای نوین مالی فرابورس ایران به فروش برسانند. اسنادخزانه از ابزارهای مالی دارای ماهیت بدهی هستند (خردیار و همکاران، ۱۳۹۹).

۴-۲- اهداف اسناد خزانه اسلامی

اسناد خزانه از مهمترین ابزارهایی هستند که در کشورهای گوناگون توسط دولت‌ها و بانک‌های مرکزی جهت اعمال سیاست‌های اقتصادی و تنظیم بازارهای پول و سرمایه مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین، اسناد خزانه اصلی ترین اوراق مورد استفاده در بازار بدهی به حساب می آیند و عملاً بازار بدهی بر اساس این ابزار قوام می یابد. از منظر حقوقی، اسناد خزانه متعارف سند بدهی است که صرفاً بر اساس اعتبار دولت منتشر شده و در بازار اوراق بهادار تنزیل می شود. لذا، دولت که ناشر آن است، می تواند از منابع جمع آوری شده هر نوع استفاده ای داشته باشد (شامل تسویه بدهی های گذشته، تولید کالاها، ارائه خدمات، پرداخت حقوق کارمندان و غیره). بنابراین، نیازی به

3 Islamic treasury bills

اینکه دین از قبل وجود داشته باشد و دولت در عوض آن اسناد خزانه منتشر کند، وجود ندارد. از دیدگاه فقهی اسناد خزانه متعارف مصداق تنزیل دیون صوری دولت به غیردین نزد اشخاص ثالث هستند. به این معنی که دولت راسا اسناد خزانه را منتشر کرده و به اعتبار خود، آن‌ها را در بازار اوراق به فروش می‌رساند، هیچ الزامی هم وجود ندارد که این بدهی‌ها از فعالیت‌های واقعی (خرید و فروش کالاها و خدمات) نشأت گرفته باشد. به دلیل چالش ربا، اسناد خزانه متعارف در چارچوب اسلامی قابلیت کاربرد ندارد. با این حال می‌توان با استفاده از ظرفیت عقد بیع دین، صکوکی طراحی نمود که با چالش شرعی مواجه نبوده و تقریباً عمده کارکردهای اقتصادی اسناد خزانه متعارف را داشته باشد. این اوراق بدون کوپن، به صورت تنزیلی و بر اساس عقد بیع دین قابلیت انتشار دارد. دولت برای تأمین کسری بودجه و تأمین مخارج مصرفی، سرمایه‌گذاری و بازپرداخت بدهی‌های خود می‌تواند انواع اسناد خزانه را به صورت کوتاه مدت، میان مدت یا بلندمدت منتشر کند (ذاکرنیا، ۱۳۹۵). اگرچه دولت می‌تواند از این ابزار برای سیاست‌های اقتصادی و تنظیم بازارهای پول و سرمایه به ویژه سیاست بازار باز بانک مرکزی استفاده نماید.

جدول ۱- انواع، اهداف و دارایی پایه اسناد خزانه اسلامی در بازار بدهی ایران

نوع	اهداف سیاستی	دارایی پایه	ساز و کار انتشار
اول	خرید کالا	کالای سرمایه‌ای و مصرفی	انتشار اسناد خزانه اسلامی بابت خرید نسبی و با مبلغی بیش از قیمت نقد
دوم	خرید خدمت	طرح‌های خدماتی	انتشار اسناد خزانه مدت دار به ارزش اسمی بدهی‌ها بابت واگذاری خدمات
سوم	بدهی‌های دولت	طرح‌ها و پروژه‌های سرمایه‌ای	انتشار اسناد خزانه با سررسیدهای متنوع برای پرداخت بدهی متناسب با زمان بندی پیشرفت طرح‌ها
چهارم	تأمین وجوه	خدمات خاص (حقوق کارکنان -تادیه اقساط بانکی)	انتشار اسناد خزانه بر پایه یک دارایی سهل البیع مانند ذخایر طلای بانک مرکزی

۴-۳- فرآیند انتشار اسناد خزانه اسلامی

- دولت ابتدا تعهدات سالیانه بدهی خود را در لایحه بودجه پیش بینی و به تصویب مجلس شورای اسلامی می‌رساند.
- سازمان برنامه و بودجه میزان اعتبار هر طرح و پروژه را به تفکیک نقدی - اسناد خزانه به دستگاه‌های اجرایی ابلاغ و تخصیص می‌دهد.
- دستگاه‌های اجرایی مشخصات پیمانکاران و میزان مطالبات آنان را با اضافه نمودن حفظ قدرت خرید به وزارت امور اقتصادی و دارایی اعلام می‌نمایند.
- وزارت اقتصاد به نمایندگی از دولت فهرست مشخصات و میزان مطالبات پیمانکاران خصوصی را به بانک عامل (ناشر) معرفی می‌کند.

- ۵) پس از احراز هویت و دریافت اطلاعات لازم توسط بانک عامل (ناشر)، فهرست پیمانکاران به فرابورس ایران اعلام می شود.
- ۶) شرکت فرابورس ظرف ۱۱ روز کاری، میزان و نماد معاملاتی ورقه اسناد خزانه یک میلیون ریالی و مشخصات دارندگان اوراق را در سامانه معاملات ثبت و به وزارت اقتصاد اعلام می نماید.
- ۷) وزارت اقتصاد اوراق صادر شده را به دستگاههای اجرایی جهت تحویل به پیمانکاران ارایه می نماید.
- ۸) طلبکاران می توانند نسبت به عرضه و فروش اسناد خزانه اسلامی در بازار ثانویه فرابورس اقدام کنند.
- ۹) ناشر وجه اسمی اوراق اسناد خزانه را در پایان دوره سررسید به حساب دارندة اسناد واریز خواهد نمود.

۴-۴- تفاوت های اسناد خزانه اسلامی با اسناد خزانه متعارف

علیرغم شباهت‌های کارکردی اسناد خزانه اسلامی با اسناد خزانه متعارف، این دو نوع اوراق با یکدیگر تفاوت‌های شکلی و ماهوی دارند که مهمترین آنها به شرح زیر است.

- ۱) واقعی بودن دین مبنای انتشار اسناد خزانه اسلامی - وجود یک دارایی پایه برای ایجاد دین الزامی است. اسناد خزانه اسلامی باید حتما بر روی دیون واقعی (دیون حاصل از مبادله کالاها و خدمات) منتشر شود و دولت نمی‌تواند بدون در نظر گرفتن این مسئله و صرفاً بر روی اعتبار نسبت به انتشار اوراق اقدام نماید. این موضوع مانع توسعه بیش از اندازه بازار بدهی در چارچوب اسلامی شده و به نحوی بین بازار بدهی و بخش واقعی اقتصاد، تناسب ایجاد می‌کند.
- ۲) انتشار اسناد خزانه اسلامی با نام - اسناد خزانه اسلامی در ایران، اوراقی هستند که دولت برای پرداخت بدهی های خود مستقیماً" به افراد (طلبکاران) غیردولتی واگذار می‌کند.
- ۳) هر ورقه اسناد خزانه اسلامی با ارزش اسمی یک میلیون ریال و به نام طلبکاران صادر و تحویل می‌شود
- ۴) پرداخت رقمی بالاتر از میزان بدهی - دولت برای جبران نرخ تنزیل فروش این اوراق (توسط طلبکاران) در بازار ثانویه، مبلغی در سقف نرخ سود شورای پول و اعتبار (تحت عنوان "حفظ قدرت خرید) به اصل بدهی مسجل اضافه می‌نماید. برای مثال این نرخ برای سال ۱۴۰۰ به میزان ۱۵ درصد و در قانون بودجه ۱۴۰۱ به ۱۸ درصد افزایش یافته است.
- ۵) اسناد خزانه در سررسید غیر قابل تمدیداست. برخلاف اسناد خزانه متعارف، هیچ یک از مدل‌های اسناد خزانه اسلامی در سررسید قابلیت تمدید یا افزودن مبلغ اسمی اوراق را ندارد.
- ۶) اسناد خزانه متعارف معمولاً با سررسید یکساله است ولی اسناد خزانه اسلامی با سررسیدهای یک یا چند ساله منتشر می‌شود.

منحنی بازده

یکی از شاخص‌های بسیار مهم و مبنای تصمیم‌گیری در اکثر بازارهای مالی کشورها، منحنی بازده می‌باشد. منحنی بازده اوراق با درآمد ثابت، نموداری است که نرخ بازده اوراق با کیفیت اعتباری یکسان را در سررسیدهای

مختلف نمایش می‌دهد. متغیرهای اقتصاد کلان کشورها معمولاً متأثر از ویژگی‌های رفتاری مصرف‌کنندگان همان کشور است، به عبارت دیگر منحنی بازده هر کشوری با داده‌های اقتصادی و مشخصات اوراق با درآمد ثابت همان کشور برآزش و ترسیم می‌شود.

منحنی‌های بازده تخمین زده می‌شوند تا یک نمایش گرافیکی از رابطه بین بازده و شرایط تا سررسید اوراق بدهی در هر زمان معین ارائه کنند منحنی بازده، نرخ‌های بازده را با سررسیدهای باقی‌مانده متفاوت نشان می‌دهد. منحنی بازده به عنوان پاسخی مستقیم به حرکات بازار (شوگ) شکل آن تغییر می‌کند که می‌تواند به صورت سطح، شیب و انحنای روی منحنی نشان داده شود. اثر سطح توضیح می‌دهد که چگونه نرخ بهره برای همه سطوح سررسید به یک میزان تغییر می‌کند، در حالی که تغییرات شیب نشان‌دهنده موردی است که تغییرات نرخ کوتاه‌مدت یا بلندمدت نسبتاً نامتناسب با یکدیگر هستند. اثر اصلی انحنا به نرخ‌های بهره میان‌مدت مربوط می‌شود، جایی که منحنی بازده نسبت به قبل کوهانی تر می‌شود. (اندرسن، ۲۰۱۸).

منحنی بازده واحدی وجود ندارد که هزینه‌های ایجاد بدهی را برای همه اوراق توصیف کند. وضعیت اقتصادی کشورها عامل اصلی در تعیین منحنی بازده است. دولتها و موسسات مختلف بسته به اعتباری که دارند پول را با نرخ‌های متفاوت قرض می‌کنند. منحنی بازده مربوط به اوراق قرضه منتشر شده توسط دولت‌ها به واحد پولی خود را منحنی بازده اوراق دولتی (منحنی دولتی) می‌نامند. علاوه بر منحنی دولتی و منحنی استقراض پول بین بانکها (لایبور)، منحنی‌های شرکتی نیز وجود دارد. این منحنی‌ها از بازده اوراق قرضه صادر شده توسط شرکت‌ها ساخته می‌شوند. از آنجایی که شرکت‌ها نسبت به اکثر دولتها و اکثر بانک‌های بزرگ رتبه اعتبار کمتری دارند، این بازده‌ها معمولاً بالاتر هستند. این دسته بندی در ایران در حال حاضر تحت عناوین منحنی اسناد خزانه اسلامی، منحنی صکوک دولتی و منحنی صکوک شرکتی شناخته می‌شوند.

منحنی بازده، اوراق قرضه دولتی با کیفیت اعتباری یکسان، اما سررسیدهای متفاوت را با یکدیگر مقایسه می‌کند. منحنی بازده خزانه داری ایالات متحده رایج ترین منحنی بازده دولت است که در بازارهای مالی وجود دارد با توجه به توانایی آن در پیش‌بینی بازده اقتصادی بالقوه، منحنی بازده کاربرد وسیع‌تری دارد و همچنین به عنوان یک نرخ معیار برای وام‌دهی مصرف‌کننده یا وام‌های مسکن استفاده می‌شود. سرمایه‌گذاران توجه زیادی به منحنی بازده دارند زیرا این منحنی دارای قدرت پیش‌بینی تورم و وضعیت فعالیت اقتصادی است. منحنی اسناد خزانه، رایج ترین منحنی بازده دولت است که به آن ارجاع می‌شود. چهار شکل کلیدی برای منحنی بازده وجود دارد که عبارت است از معمولی، معکوس، مسطح و کوهان دار (کالین، ۲۰۲۲).

1- طبیعی (نرمال): منحنی بازده نرمال دارای شکل شیب دار به سمت بالا است، که نشان می‌دهد بازده اوراق قرضه با مدت زمان طولانی تر می‌تواند در واکنش به دوره‌های رشد فعالیت اقتصادی افزایش یابد. منحنی بازده نرمال به این معنی است که سرمایه‌گذاران مطمئن هستند که اقتصاد سریعتر رشد خواهد کرد. در عمل، وام‌های بلندمدت دارای نرخ بهره بالاتری نسبت به وام‌های کوتاه مدت خواهند بود.

۲- **تخت:** منحنی بازده صاف نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاران انتظار رشد آهسته‌تری دارند و در نتیجه نرخ بازده در کل پایین است. این منحنی معمولاً علایم ترکیبی در مورد بازده اقتصادی بالقوه نشان می‌دهد. منحنی بازده یکنواخت همچنین به این معنی است که تفاوت بین نرخ‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت ناچیز است.

۳- **منحنی بازده معکوس:** شیب نزولی دارد و نشانه رکود اقتصادی است. سرمایه‌گذاران معمولاً اعتماد کمی به اقتصاد دارند و بازده اوراق قرضه با مدت زمان کوتاه‌تر از اوراق با مدت زمان طولانی‌تر، بیشتر است.

۴- **کوهان دار(انحنای):** منحنی بازده کوهان دار که به عنوان منحنی بازده زنگوله نیز شناخته می‌شود، نوع نادری از منحنی بازده است که زمانی رخ می‌دهد که نرخ بهره اوراق بهادار با درآمد ثابت میان مدت بالاتر از نرخ ابزارهای بلندمدت و کوتاه مدت باشد. این منحنی نشان بی ثباتی مالی و اقتصادی در آینده است که انتظارات فوری از سیاست پولی انبساطی را برانگیخته است.



نمودار ۱: اشکال مختلف منحنی بازده

[https://www.fe.training/free-resources\(2022\)](https://www.fe.training/free-resources(2022))

مدل‌ها، معیارها و آزمون‌های پژوهش

از بررسی تاریخی، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های زیادی برای تخمین ساختار زمانی نرخ بهره با استفاده از مدل‌های پارامتریک وجود دارد. تعیین اینکه کدام مدل برای اعمال و برازش منحنی اسناد خزانه ایران بهترین است دشوار است. انتخاب مدل بستگی به ویژگی‌های بازار و اهداف آنها دارد. یکی از مدل‌های مورد استفاده مدل‌های مبتنی بر اسپلاین^۱ است. مدل‌های مبتنی بر اسپلاین توسط (مک کلوچ، ۱۹۷۱) ارایه شد و عبارت است از روش‌هایی که در آن یک منحنی با استفاده از یک چندجمله‌ای مکعبی تکه‌ای، با قطعاتی که در نقاطی به عنوان گره به هم وصل شده‌اند، تخمین و مدل‌سازی می‌شود. مدل‌های تعادلی یکی دیگر از مدل‌های رایج است که بر مدل‌سازی پویای نرخ لحظه‌ای اوراق متمرکز است و از زمان واسیک (۱۹۷۷) هم چنان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیشنهاد پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد مدل‌های صرفه جویانه در مقایسه با مدل‌های اسپلاین و مدل‌های

1 Spline-based models

تعادلی در سالهای اخیر جزء پرکاربردترین مدل‌ها در بانک‌های مرکزی و خزانه‌داری کشورهای پیشرفته دنیا هستند. این مقاله تلاش می‌کند تا دو مدل از مدلهای صرفه جویانه را برای برازش منحنی‌های بازده کوپن صفر اسناد خزانه ایران بکارگیری نماید تا منحنی بازده هموار و پایدار را تولید کند.

۱-۶- مدل‌های صرفه جویانه: میلتن فریدمن^۲ (۱۹۷۷) نیاز به یک مدل صرفه جویانه از منحنی بازده را تشخیص داد. منظور از مدل صرفه جویانه مدلی است که بتواند کل ساختار زمانی بازده را به صورت فشرده‌تر با چند پارامتر توصیف کند. از ویژگی اصلی یک مدل ساده و مقرون‌به‌صرفه این است که به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد تا طیف اشکالی (نمودار ۱) را که عموماً با منحنی‌های بازده مرتبط هستند نشان دهد. توانایی مدل برای تناسب با بازده اسناد خزانه داری ایالات متحده و پیش‌بینی قیمت اوراق قرضه بلندمدت خزانه داری به ما نشان می‌دهد که مدل در هدف موفق است. دسته‌ای از توابع که به آسانی اشکال منحنی بازده معمولی را ترسیم می‌کنند، توابعی هستند که با حل دیفرانسیل یا معادلات دیفرانسیل مرتبط هستند. تئوری انتظارات ساختار زمانی نرخ‌های بهره، انگیزه اکتشافی را برای بررسی این طبقه فراهم می‌کند، زیرا اگر نرخ‌های نقدی توسط یک معادله دیفرانسیل ایجاد شوند، نرخ‌های آتی که پیش‌بینی می‌شوند، راه‌حل معادلات خواهند بود (نلسون و سیگل، ۱۹۸۷).
۱- مدل نلسون و سیگل در زمره مدلهای اقتصادسنجی با استفاده از رگرسیون چند جمله‌ای نمایی است. این مدل در گروهی از مدل‌های منحنی بازده پارامتری قرار می‌گیرد که بارزترین ویژگی آن تفسیر اقتصادی پارامترهای آن است. مدل نلسون-سیگل با گذشت بیش از سه دهه از ابداع آن همچنان به عنوان یک مدل محبوب و کارآمد مورد استفاده و استناد محققان و مراکز مالی قرار می‌گیرد. در آخرین پژوهش انجام شده توسط رانیک راین و همکاران (۲۰۲۱) در تطبیق و مقایسه مدل‌های منحنی بازده نلسون-سیگل، بلیس و اسونسون برای اوراق بهادار مشاهده‌شده خزانه‌داری ایالات متحده با سررسید تا ۳۰ سال روشن شد که تخمین‌های پارامترهای نلسون-سیگل پایدارتر هستند و تفسیر اقتصادی ذاتی خود را حفظ می‌کنند و در نتیجه این مناسب‌ترین مدل است. مدل نلسون سیگل منحنی نرخ رو به جلو با معادله زیر تعریف می‌شود (نلسون و سیگل، ۱۹۸۷):

$$f(n, \beta) = \beta_1 + \beta_2 e^{\left(\frac{-n}{\lambda}\right)} + \beta_3 \frac{n}{\lambda} e^{\left(\frac{-n}{\lambda}\right)}$$

که در آن $f(n, \beta)$ تابع منحنی بازده آتی را نشان می‌دهد که به سررسید n و پارامترهای λ ، β_1 ، β_2 و β_3 بستگی دارد. n زمان باقی مانده (فاصله) تا سررسید که یکی از ویژگی‌های هر ورقه ثابت است و پارامتر $\lambda > 0$ به عنوان یک ضریب ثابت در هر نمودار معرفی می‌شود. پارامتر β_1 نشان دهنده مجانب منحنی است در حالی که پارامترهای β_2 و β_3 تخمین اشکال مختلف منحنی بازده مجاز توسط مدل را امکان‌پذیر می‌کنند. با انتگرال‌گیری از معادله (۱) و تقسیم آن بر n می‌توان منحنی بازده کوپن صفر (یعنی منحنی بازده) را بدست آورد:

2 Milton Friedman

$$Z_n = \beta_1 + (\beta_2 + \beta_3) \left[\frac{1 - e^{-\frac{n}{\lambda}}}{\frac{n}{\lambda}} \right] - \beta_3 e^{-\left(\frac{n}{\lambda}\right)}$$

که در آن Z_n تابع منحنی بازده کوپن صفر و پارامترهای β نشان دهنده عوامل منحنی بازده است. از آنجایی که پارامترهای β در معادله (۲) را می‌توان به عنوان عوامل منحنی بازده شامل سطح (β_1)، شیب (β_2) و انحنای (β_3) منحنی کوپن صفر در نظر گرفت، معادله معمولاً به صورت زیر بازنویسی می‌شود. (زدراکویچ، 2010). که به مدل عاملی معروف است.

$$Z_n = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} - e^{-\lambda n} \right)$$

مدل اسونسون : دومین مدل مورد استفاده در این پژوهش مدل اسونسون است. مدل اسونسون توسعه مدل نلسون-سیگل است که تنظیم دقیق و کافی از شکل صاف و منحنی تناوبی را فراهم می‌کند. این مدل در اواسط دهه ۱۹۹۰ بسیار محبوب شد. از آن زمان، تعداد قابل توجهی از بانک‌ها مرکزی در سراسر جهان برای ارزیابی ساختار اوراق قرضه با یک کوپن واحد و نرخ‌های بهره آتی (نرخ‌های آتی) از آن استفاده می‌کنند (مارسینیک، ۲۰۰۶). از آنجایی که فاکتورهای شیب و انحنای مدل نلسون سیگل به سرعت به صفر نزدیک می‌شوند (به دیبولد و لی، ۲۰۰۶) مراجعه کنید)، تنها عامل سطح برای تناسب با منحنی عملکرد در سرسیدهای طولانی‌تر باقی می‌ماند (دیبولد و رودبوش، ۲۰۱۳). برای پرداختن به این موضوع اسونسون (۱۹۹۴) مدل نلسون-سیگل را با افزودن یک ضریب انحنای دوم به یک مدل چهار عاملی گسترش داد، که اجازه می‌دهد یک کوهان یا فرورفتگی دوم را در منحنی بازده منعکس کند و انعطاف‌پذیری متناسب با آن را افزایش دهد (رانیک راین ۲۰۲۲). تابع بازده آتی مدل اسونسون به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$f(n, \beta) = \beta_1 + \beta_2 e^{\left(\frac{-n}{\lambda_1}\right)} + \beta_3 \frac{n}{\lambda_1} e^{\left(\frac{-n}{\lambda_1}\right)} + \beta_4 \frac{n}{\lambda_2} e^{\left(\frac{-n}{\lambda_2}\right)}$$

که در آن $f(n, \beta)$ تابع منحنی بازده آتی است که به سرسید n و پارامترهای $\lambda_1, \lambda_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ بستگی دارد. پارامتر $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ و پارامتر β_4 مشابه پارامتر β_3 در مدل نلسون سیگل است و می‌توان آنرا به تعیین بزرگی و جهت کوهان یا قوز دوم تفسیر کرد. λ_2 موقعیت قوز دوم یا U شکل را مشخص می‌کند. β_1 نشان دهنده مجانب منحنی است در حالی که پارامترهای β_2 و β_3 تخمین اشکال مختلف منحنی بازده مجاز توسط مدل را امکان پذیر می‌کنند. مدل عاملی تابع نرخ جاری کوپن صفر مدل اسونسون به صورت زیرنمایش داده می‌شود.

$$z(t) = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 t} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 t} - e^{-\lambda_1 t} \right) + \beta_4 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 t} - e^{-\lambda_2 t} \right).$$

جدول ۲- مدل‌ها و پارامترهای پژوهش برای تخمین منحنی بازده نرخ نقدی اسناد خزانه اسلامی

عنوان مدل	فرم ریاضی (تابع) مدل	متغیر وابسته	متغیر مستقل (زمان تا سررسید)	متغیر مستقل (پارامترها)
nss	$Z_n = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} - e^{-\lambda n} \right)$	Z_n	n	$\beta_2, \beta_1, \lambda, \beta_3$ و
svs	$z(t) = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 t} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 t} - e^{-\lambda_1 t} \right) + \beta_4 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 t} - e^{-\lambda_2 t} \right)$	$z(t)$	t	$\beta_1, \lambda_1, \lambda_2, \beta_3, \beta_4$

۲-۶- معیارهای انتخاب داده‌های پژوهش

داده‌های معاملات روزانه از نمادهای معاملاتی اسناد خزانه اسلامی (فاقد کوپن) در روزهای منتخب معاملاتی ماهانه بازار فرابورس ایران از سال ۱۳۹۴ لغات پایان شهریور سال ۱۴۰۱ با معیارهای زیر انتخاب شدند.

- (۱) انتخاب یک روز با بالاترین حجم معاملات ابزار بدهی در هر ماه
- (۲) حذف نمادهای معاملاتی سررسید شده و نمادهایی که تا زمان سررسید آنان کمتر از ۳۰ روز باقی مانده است.
- (۳) داشتن حداقل ۵ نماد معاملاتی (نوع ورقه) واجد شرایط در یک روز معاملاتی.
- (۴) قیمت اعمالی در محاسبات برای هر نماد معاملاتی، قیمتهای پایانی اوراق در بازار اوراق بدهی خواهد بود.
- (۵) مبلغ اسمی در تمامی اوراق ثابت و یک میلیون ریال است.
- (۶) معاملات عمده و بلوکی در محاسبات لحاظ نمی‌شود.
- (۷) حذف داده‌های پرت با آزمون آماری z scores بزرگتر از ۳ یا کوچکتر از -۳ با فرمول $z = (x - \mu) / \sigma$ است که μ آن میانگین و σ انحراف استاندارد نمونه است.
- (۸) حذف نمادهایی با حجم معاملات کمتر از ۵۰ عدد معادل ۵۰ میلیون ریال.
- (۹) محاسبه بازده تا سررسید (YTM) هر ورقه فاقد کوپن با استفاده از رابطه زیر

$$Yield (\%) = \left(\frac{\text{Face Value}}{\text{Purchase Price}} \right)^{\left(\frac{365}{\text{Days Till Maturity}} \right)} - 1$$

۳-۶- معیارهای سنجش و آزمون

برای ارزیابی اینکه هر مدل به چه میزان در تخمین پارامترها و برازش منحنی بهترین نتایج را برای داده‌های مشاهده شده ایجاد می‌کند می‌توان از معیارهای آماری مختلفی استفاده کرد، در این پژوهش از سه مورد از

پرکاربردترین معیارها در میزان توفیق و دقت برآورد پارامترهای هرمدل و یک معیار نیز برای مقایسه مدلها با یکدیگر به شرح زیر استفاده می‌کنیم.

(۱) ضریب تعیین (R^2): نسبت مجموع مربعات تغییرات متغیرهای توضیحی (x_i) به مجموع کل تغییرات را ضریب تعیین می‌نامند. R^2 نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل تبیین یا توضیح داده می‌شود. مقادیر R^2 در محدوده ۰ تا ۱ می‌باشد. هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد تخمین مناسب‌تر است.

$$R^2 = 1 - \frac{S_e^2}{S_y^2}$$

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

(۲) میانگین خطای مطلق: میانگین خطای مطلق (MAE) معیاری است که برای ارزیابی دقت یک تخمین استفاده می‌شود. این معیار شامل میانگین وزنی از تفاوت‌های مطلق بین مقادیر مشاهده شده بازار (y_i) و برآورد شده ($\hat{y}_i$) است،

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

که در آن n نشان دهنده تعداد اوراق (حجم نمونه) است.

(۳) ریشه میانگین مربعات خطا: معیار دیگری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است ریشه خطای میانگین مربعات (RMSE) است. خطاهای داده شده توسط رابطه (۹) محاسبه می‌شود. هرچه دو معیار ۲ و ۳ به صفر نزدیکتر باشند دقت مدل بیشتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(۴) آزمون دایبولد-ماریانو (۱۹۹۵): برای آزمون و تحلیل مقایسه دو مدل برازش شده و تعیین اینکه آیا خطاهای دو پیش‌بینی تفاوت معنی‌داری باهم دارند یا خیر از آزمون دایبولد، ماریانو (۱۹۹۵) در این تحقیق استفاده می‌شود. در این روش هرگاه دو پیش‌بینی به ترتیب دارای خطاهای اندازه‌گیری شده e_1 و e_2 باشند سری زمانی d_i به نام تابع دیفرانسیل زیان به صورت $d_i = e_2 - e_1$ تعریف می‌شود. در این پژوهش برای مقایسه مدلها در پیش‌بینی بازده هر یک از نمادهای اسناد خزانه معامله شده در یک روز معاملاتی از تفاوت مربع خطاها یعنی $d_i = e_{svs}^2 - e_{nss}^2$ به عنوان دیفرانسیل زیان استفاده می‌کنیم تفاوت جذر میانگین مربع خطاهای روزانه یعنی اسپرد روزانه به شکل زیر نشان داده می‌شود.

$$d_i = \text{Spread}(t) = RMSE[N\&S](t) - RMSE[Svensson](t) \quad (10)$$

نمادها و روابط آزمون دایبولد ماریانو به شرح زیر است.

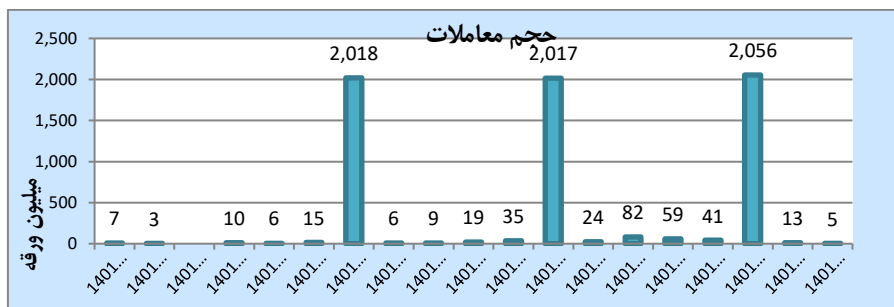
$$DM = \frac{\bar{d}}{\sqrt{[y_0 + 2 \sum_{k=1}^{h-1} \gamma_k]/n}} \quad \gamma_k = \frac{1}{n} \sum_{i=k+1}^n (d_i - \bar{d})(d_{i-k} - \bar{d}) \quad \bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad \mu = E[d_i]$$

γ_k تابع خود همبستگی با تاخیر k برای $n > k \geq 1$ است و برای $h \geq 1$ محاسبه تعداد DM از رابطه $h = n^{1/3} + 1$ بدست می‌آید. در صورت $|DM_h| > Z_{\alpha/2}$ فرضیه برابری قدرت پیش بینی در سطح $(\alpha - 100)$ در صد اطمینان رد می‌شود.

مدلسازی - تخمین پارامترها و برازش منحنی

داده های تحقیق

انتخاب یک روز با بالاترین حجم معاملات ابزار بدهی در هر ماه از سال ۱۳۹۴ لغایت پایان شهریور ۱۴۰۱. برای مثال انتخاب ۲۹ فروردین ۱۴۰۱ به عنوان روز منتخب با توجه به آمار انتشار فروردین ماه ۱۴۰۱ در نمودار شماره (۲).



نمودار ۲- حجم معاملات اوراق مالی اسلامی فروردین ماه سال ۱۴۰۱-منبع سازمان فرابورس ایران

۳۰ نماد معاملاتی اسناد خزانه اسلامی در ۲۹ فروردین ماه ۱۴۰۱ به عنوان روز منتخب ماهانه که بیشترین حجم معاملات را در فروردین ماه ۱۴۰۱ داشته، معامله شده است. نمادهای حذف شده مطابق با معیارهای انتخاب داده ها و نمادها باقی مانده در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

جدول شماره ۳ تلخیص داده های اسناد خزانه اسلامی معامله شده در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ براساس معیارهای

پژوهش

نوع اوراق	تعداد نماد	تعداد نماد های حذف شده	علت حذف	نمادهای حذف شده	تعداد نمادهای باقی مانده
اسناد خزانه	۳۰	۲	کمتر از ۳۰ روز مانده به زمان سررسید	انحرا ۱۱۳ و انحرا ۹۱۷	۲۸

مراحل آماده سازی داده ها برای ادامه فرآیندهای تحقیق بر روی داده های نمادهای معاملاتی اسناد خزانه اسلامی در ۲۹ فروردین به شرح ذیل می باشد.

- (۱) استخراج داد های معاملاتی روز ۲۹ فروردین ۱۴۰۱ اسناد خزانه اسلامی با مشخصات کد نماد معاملاتی، حجم معاملات و قیمت پایانی انتهای بازه از پایگاه اطلاعات فرا بورس ایران.
- (۲) انجام عملیات تلخیص و پاکسازی داده مطابق با جدول شماره (۳).
- (۳) محاسبه بازده تا سررسید (YTM) ورقه های اسناد خزانه فاقد کوپن با استفاده از رابطه (۶)
- (۴) تکمیل اطلاعات و محاسبه سایر متغیر های کمکی شامل تعداد روزهای باقی مانده تا سررسید و مربع انحراف از میانگین بازده (ستونهای ۴ الی ۸) در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

جدول شماره ۴- داده های نهایی معاملات نمادهای اسناد خزانه اسلامی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

کد نماد (۱)	حجم معاملات (۳)	قیمت پایانی انتهای بازه (۳)	تاریخ معامله (۴)	سررسید (۵)	روز مانده تا سررسید (۶)	YTM (۷)	$(ytm - \bar{ytm})^2$ (۸)
اخر ۱۱۴۱	۱۵۰۰۳۳	۹۷۱۰۲۱۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۳/۱۸	۵۱	۲۳۰۲۵۳	-۰.۸۵۰۵۴
اخر ۱۱۸۱	۱۰۰	۹۶۸۰۰۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۳/۲۳	۵۶	۲۳۰۶۱۳	۱.۶۴۴۴۶
اخر ۱۱۵۱	۱۰۳۰۴۳۷	۹۶۲۰۰۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۴/۰۶	۷۰	۲۳۰۳۸۶	-۰.۰۰۲۹۸
اخر ۱۱۶۱	۸۷۰۷۸۲	۹۴۷۰۹۶۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۵/۰۳	۹۸	۲۲۰۰۲۴	-۰.۰۹۴۱۸
اخر ۱۱۸۱	۲۰۴۶۸	۹۳۰۰۰۵۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۶/۱۴	۱۴۰	۲۰۰۸۱۲	۲.۳۰۸۳۷
اخر ۱۱۱۱	۴۰۴۵۴	۹۲۳۰۹۶۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۶/۲۱	۱۴۷	۲۲۰۰۲۶	-۰.۰۹۳۲۷
اخر ۱۱۷۱	۱۰۰۰۷۴۳	۸۶۶۰۳۹۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۰۱/۱۹	۲۶۶	۲۱۰۷۵	-۰.۳۳۷۶۵
اخر ۱۱۳۱	۱۶۰۶۶۱	۸۵۵۰۴۶۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۱۱/۱۰	۲۸۷	۲۱۰۹۶۳	-۰.۱۳۵۶۲
اخر ۱۱۴۱	۲۳۴	۸۴۱۰۸۶۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۱/۱۲/۱۵	۳۲۲	۲۱۰۵۴۷	-۰.۶۱۴۸
اخر ۱۱۵۱	۶۰۳۳۳	۸۱۴۰۲۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۲/۱۸	۳۸۵	۲۱۰۵۱۵	-۰.۶۶۴۹۶
اخر ۱۱۷۱	۲۲۲۰۳۹۵	۸۰۰۰۰۹۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۳/۱۶	۴۱۴	۲۱۰۷۳	-۰.۳۶۱۳۴
اخر ۱۱۶۱	۹۹۷	۷۹۶۰۵۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۳/۲۱	۴۱۹	۲۱۰۹۲۱	-۰.۱۶۷۸۷
اخر ۱۱۸۱	۲۲۰۸۲۵	۷۶۳۰۷۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۶/۰۶	۴۹۷	۲۱۰۸۹۴	-۰.۱۹۰۹۲
اخر ۱۱۷۱	۳۰۶۳۰	۷۵۰۰۷۲۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۷/۰۴	۵۲۶	۲۲۰۰۱۳	-۰.۱۰۰۷۶
اخر ۱۱۳۱	۱۰۰۰۷۲۵	۷۳۲۰۶۲۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۸/۰۶	۵۵۸	۲۲۰۰۵۷	-۰.۰۵۷۳۷
اخر ۱۱۰۱	۲۱۰۸۰۹	۷۳۸۰۶۹۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۸/۰۷	۵۵۹	۲۱۰۸۶۷	-۰.۳۱۴۷۸
اخر ۱۱۱۱	۲۰۰۰۰۷۶	۷۲۷۰۰۸۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۰۹/۰۶	۵۸۸	۲۱۰۸۷۷	-۰.۲۰۵۸۲
اخر ۱۱۴۱	۲۸۰۹۰۲	۷۰۸۰۹۵۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۲/۱۰/۲۵	۶۳۷	۲۱۰۷۸۶	-۰.۲۹۷۰۴
اخر ۱۱۳۱	۲۰۵۰۷۰۶	۶۳۲۰۱۴۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۴/۱۸	۸۱۲	۲۲۰۰۸۹۵	-۰.۳۱۸۷۳
اخر ۱۱۸۱	۲۲۶۰۵۵۱	۶۲۰۰۰۹۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۵/۲۲	۸۴۷	۲۲۰۰۸۶۸	-۰.۲۸۸۲۳
اخر ۱۱۵۱	۲۵۱۰۵۹۳	۶۰۷۰۴۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۶/۲۶	۸۸۲	۲۲۰۰۹۱۵	-۰.۳۴۱۲۲
اخر ۱۱۷۱	۶۴۶۰۳۸۱	۵۹۸۰۰۳۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۷/۲۳	۹۱۰	۲۲۰۰۹۰۱	-۰.۳۲۵۲۴
اخر ۱۱۱۱	۴۴۹۰۶۸۵	۵۸۹۰۰۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۸/۲۱	۹۳۸	۲۲۰۰۸۷۲	-۰.۲۹۳۱۲
اخر ۱۱۷۱	۳۰۹۰۷۴۰	۵۸۱۰۷۷۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۹/۱۲	۹۵۹	۲۲۰۰۸۹۶	-۰.۳۱۹۰۱
اخر ۱۱۸۱	۳۰۹۰۱۵۷	۵۸۰۰۰۲۴۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۰۹/۱۹	۹۶۶	۲۲۰۰۸۳۴	-۰.۲۵۳۵۲
اخر ۱۱۳۱	۲۷۶۰۲۵۷	۵۶۸۰۵۳۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۱۰/۲۴	۱۰۰۱	۲۲۰۰۸۶۴	-۰.۲۸۴۴۶
اخر ۱۱۹۱	۲۱۷۰۷۹۴	۵۶۶۰۴۰۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۱۱/۰۱	۱۰۰۸	۲۲۰۰۸۵۶	-۰.۲۷۵۲۶
اخر ۱۱۰۱	۲۲۱۰۸۵۵	۵۶۲۰۴۳۷	۱۴۰۱/۰۱/۲۹	۱۴۰۳/۱۱/۱۵	۱۰۲۲	۲۲۰۰۸۱۷	-۰.۲۳۶۵۱

جدول فوق نمایش داده های اطلاعاتی اسناد خزانه اسلامی در روز ۲۹ فروردین ماه ۱۴۰۱ است که آماده محاسبات بعدی برای ادامه تحقیق می باشد. تلخیص داده ها برای ۹۰ روز نمونه تحقیق انجام شد. با اجرای معیارهای تحقیق از ۹۰ روز نمونه تحقیق، معاملات ۷۳ روز اسناد خزانه مورد تأیید قرار گرفت و داده ها برای تخمین پارامتر ها سازماندهی شدند.

مدلسازی منحنی بازده روزانه

همچنانکه در ادبیات تحقیق بیان شد در این تحقیق از نمایش نرخ نقدی بازده مدلهای صرفه‌جویانه نلسون سیگل و اسونسون برای برازش منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی استفاده می‌کنیم. هر دو مدل فوق به لحاظ تعداد پارامترها و نوع آنها غیر خطی محسوب می‌شوند. اما چون پارامتر λ در هر منحنی ثابت فرض می‌شود لذا تعداد پارامترها با تعداد جملات یکسان و معادله به یک معادله رگرسیون خطی تبدیل و با حداقل مجموع مربعات بهینه‌سازی می‌شود. شروط $\beta_1 > 0$ و $\beta_1 + \beta_2 > 0$ در کلیه برآوردها رعایت می‌شود. برای محاسبه پارامترهای نهایی معادله روزانه از طریق OLS یک بار λ را ثابت و سپس مقادیر β با روش حداقل مربعات تخمین زده می‌شود و در مرحله بعد مقادیر β ثابت و λ بهینه (در محدوده نمونه) بدست می‌آید. بازه تغییرات λ در روز معاملاتی ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ تقریباً در محدوده $(0.00097 و 0.0196) = (0.00097 و 0.0196) = (1/n1, 1/n28) = (1/51, 1/1022)$ فرض شده است.

۱- تخمین پارامترهای مدل نلسون سیگل: پارامترهای تابع بازده نرخ نقدی مدل نلسون-سیگل عبارت از Z_n مقدار تابع منحنی بازده که به سررسید n و پارامترهای λ , β_1 , β_2 و β_3 بستگی دارد. (رابطه ۱۲)

$$Z_n = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda n}}{\lambda n} - e^{-\lambda n} \right)$$

برای محاسبه پارامترهای منحنی بازده نرخ نقدی اسناد خزانه اسلامی و مقدار بهینه Z_n ، گام‌های زیر را به ترتیب انجام می‌دهیم.

گام اول- تشکیل ماتریس بارگذاری عاملی (H): ماتریس بارهای عاملی معادله رگرسیونی چند متغیره $y_i(t) = H * \beta_i + e_i$ با داده‌های جدول (۴) را طی مراحل زیر تشکیل می‌دهیم.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_1)}{\lambda \tau_1} & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_1)}{\lambda \tau_1} - \exp(-\lambda \tau_1) \\ 1 & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_2)}{\lambda \tau_2} & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_2)}{\lambda \tau_2} - \exp(-\lambda \tau_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_T)}{\lambda \tau_T} & \frac{1 - \exp(-\lambda \tau_T)}{\lambda \tau_T} - \exp(-\lambda \tau_T) \end{bmatrix}$$

ابتدا فرض می‌کنیم λ ثابت است و مقدار اولیه آن از رابطه $\lambda = (1/n1) = (1/51) = 0.0196$ بدست می‌آید. سپس با مشخص شدن n تعداد روزهای باقی مانده تا سررسید که در ماتریس عاملی (رابطه ۱۳) با حرف لاتین T مشخص شده است، حاصل ضرب $n \times \lambda$ یا λT را برای هر نماد معاملاتی محاسبه و در درایه‌های ماتریس بارهای عاملی رابطه (۱۳) جایگذاری می‌کنیم تا ماتریس بارهای عاملی داده‌های جدول ۴ تشکیل شود. رابطه (۱۴)

گام دوم- تشکیل ماتریس رابطه رگرسیونی: با تشکیل ماتریس رابطه رگرسیونی $Y = X\beta + u$ که در آن Y بازده واقعی یا همان بردار بازده (ستون ۷ جدول ۴) یعنی (23.25316, 23.6125, ..., 22.85557, 22.81724) $Y = X\beta + u$ به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$\begin{pmatrix} 23.25 \\ 23.613 \\ . \\ . \\ . \\ 22.86 \\ 2.82 \end{pmatrix}_{28 \times 1} = \begin{pmatrix} 1 & 0.632121 & 0.264241 \\ 1 & 0.606969 & 0.273444 \\ . & . & . \\ . & . & . \\ . & . & . \\ 1 & 0.050595 & 0.050595 \\ 1 & 0.049902 & 0.049902 \end{pmatrix}_{28 \times 3} \times \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix}_{3 \times 1} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ . \\ . \\ . \\ e_{27} \\ e_{28} \end{pmatrix}_{28 \times 1} \quad (15)$$

گام سوم- محاسبه β_i ها و $mse = \min \sum e_i^2$: برآورد β_i ها در قالب جواب ماتریس معادله رگرسیون $Y = X\beta + u$ تحت عنوان بردار $\hat{\beta}$ با استفاده از معادلات زیر بدست می آید.

$$\begin{aligned} (X'X)\hat{\beta} &= X'Y \\ (X'X)^{-1}(X'X)\hat{\beta} &= (X'X)^{-1}X'Y \\ I\hat{\beta} &= (X'X)^{-1}X'Y \\ \hat{\beta} &= (X'X)^{-1}X'Y \end{aligned}$$

که در آن X' ترانزاده ماتریس X و $(X'X)^{-1}$ وارون ماتریس $(X'X)$ می باشد. نتایج محاسبات رابطه (۱۶) تخمین β_i ها است که برای $\lambda = 0.0196$ عبارت است از

$$mse_1 = \min \sum (z_n - y)^2 = 3.4475 \text{ و } \beta_3 = -11.106, \beta_2 = 2.0727, \beta_1 = 23.7468$$

گام چهارم- تکرار گامهای اول تا سوم برای تمام λ ها : در گام اول مقدار λ ثابت فرض شد و به ازای اولین مقدار $n=51$ (ستون ۶ جدول ۴) گام های ۱ تا ۳ انجام شد. اما هنوز ۲۷ داده برای محاسبه λ وجود دارد که به ازای یکی از آنها B_i ها بهینه می شوند. به یاد داشته باشیم که $\lambda = (1/n)$ است. محاسبات برای B_i ها، λ ها و $(-y)^2$

$\min \sum (z_n - y)^2$ برای برازش منحنی اسناد خزانه اسلامی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ انجام و مقادیر بهینه نهایی آن $\lambda = 0.0102$ ، $\beta_3 = -11.1056$ ، $\beta_2 = 2.0727$ ، $\beta_1 = 23.7467$ ، $\min \sum (z_n - y)^2 = 2.6263$ ، می باشد. معادله تابع منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ عبارت است از

$$Z_n = 23.7467 + 2.0727 [(1 - e^{-(0.0102n)}) / (0.0102n)] - 11.1056 \{ [(1 - e^{-(0.0102n)}) / (0.0102n)] - e^{-(0.0102n)} \}$$

یادآوری : در بسیاری از تحقیقات به منظور ساده سازی و کاهش محاسبات در استفاده از رگرسیون خطی توصیه شده است تا ابتدا λ بهینه محاسبه و سپس پارامترهای B_i محاسبه و بهینه سازی شود.

۲- تخمین پارامترهای مدل اسونسون: تابع بازده نرخ نقدی مدل اسونسون به شکل زیر می باشد.

$$y(\tau) = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 \tau}}{\lambda_1 \tau} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_1 \tau}}{\lambda_1 \tau} - e^{-\lambda_1 \tau} \right) + \beta_4 \left(\frac{1 - e^{-\lambda_2 \tau}}{\lambda_2 \tau} - e^{-\lambda_2 \tau} \right)$$

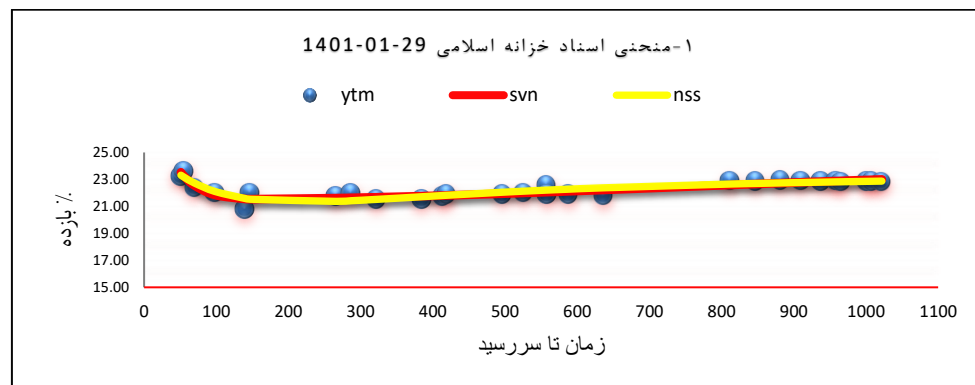
Z_n تابع منحنی بازده که به سررسید n و پارامترهای λ_1, λ_2 و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ بستگی دارد. همچنانکه مشهود است مدل اسونسون دو پارامتر بیشتر از مدل نلسون سیگل دارد و ماتریس بارهای عاملی آن دارای ۴ ستون می باشد و این بر پیچیدگی محاسبات می افزاید. با در نظر گرفتن این موضوع و با انجام گامهای چهارگانه فوق و انجام عملیات مشابه درایه های ماتریس H و مقادیر بهینه Bi ها و λ_1, λ_2 معادله منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی قابل محاسبه است.

مراحل انجام شده فوق برای تخمین پارامترهای منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی با دو مدل در یک روز است. برای بهینه سازی نیز از روش حداقل مربعات معمولی رگرسیون خطی استفاده شده است. این عملیات همانند فرآیندهای جمع آوری داده ها می بایست برای ۷۳ روز معاملاتی اسناد خزانه اسلامی تکرار شود. با توجه به تعداد پارامترهای هر مدل و تعداد روزهای نمونه های تأیید شده هر نوع ورقه بهادار در ادامه این تحقیق به منظور ساده سازی و کاهش گامهای محاسباتی در استفاده از رگرسیون خطی با نرم افزار solver اکسل ۲۰۱۶ ابتدا λ بهینه محاسبه و سپس پارامترهای Bi محاسبه شده است.

در اکثر موارد نتایج استفاده از الگوریتم گرادیان کاهشی تعمیم یافته (Generalized Reduced radient) برنامه solver اکسل ۲۰۱۶ برای بهینه سازی یکجای همه پارامترها با خروجی الگوریتم بهینه سازی در دو مرحله) ابتدا λ بهینه و سپس Bi بهینه) نتایج تقریباً یکسانی دارد. برای مثال مقادیر محاسبه شده پارامترها برای اسناد خزانه اسلامی مورخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ که به صورت دستی و با مقادیر ثابت $\lambda = 0.010204$ طی گامهای فوق محاسبه شد با زمانی که λ در محدوده داده های نمونه از طریق نرم افزار مذکور انجام شد مقدار $\lambda = 0.01040$ محاسبه شده تا سه رقم اعشار یکسان هستند. ولی تخمین دومی دقیق تر از اولی است. نتایج بهینه سازی، مقادیر هریک از پارامترهای دو مدل، میزان خطای آنها برای مقطع زمانی ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ در جدول ۵ و منحنی آنها در نمودار (۳) ارائه شده است.

جدول شماره ۵- مقادیر پارامترهای منحنی بازده در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ به تفکیک نوع اوراق

نوع اوراق	مدل	λ_1	λ_2	β_1	β_2	β_3	β_4	$\sum e^2$	(R^2)
اسناد خزانه	svn	۰.۰۲۶۴۶	۰.۰۰۲۸۲	۲۵.۶۶۶۹۵	۶.۲۴۷۸۹	-۱۶.۲۸۶۲۰	-۹.۹۳۲۶۳	۲.۰۹۲۲۸	۰.۸۱۴۴۵
	nss	۰.۰۱۰۴۰	۰.۰۰۰۰۰	۲۳.۷۲۲۲۵	۲.۱۸۳۴۰	-۱۱.۱۹۲۶۷	۰.۰۰۰۰۰	۲.۶۲۵۶۶	۰.۷۶۷۱۵



نمودار ۳- منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی مدل‌های نلسون-سیگل و اسونسون در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

این عملیات برای برازش منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی در ۷۳ روز معاملاتی انجام شد. مقادیر تخمینی پارامترهای منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی و خطاهای دو مدل نلسون-سیگل و اسونسون برای ۷۳ روز در جدول ۱ پیوست الف و منحنی روزانه دو مدل با مقادیر تخمینی در ۷۳ روز در پیوست ب نشان داده شده است.

یافته های پژوهش - نتایج آزمون ها و انتخاب مدل بهینه

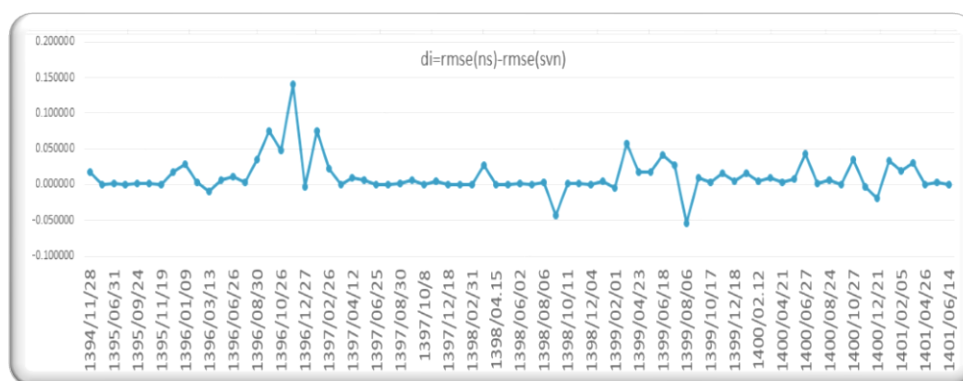
هر دو مدل با استفاده از مجموعه داده‌های یکسان تراکنش های معاملاتی اسناد خزانه اسلامی باکوین صفر در ۷۳ روز معاملاتی در یک دوره ۷ ساله مورد آزمون قرار گرفتند. اسناد خزانه معامله شده با نمادهای مختلف و طیفی از سر رسیدهای متفاوت با حداقل ۳۰ روز و حداکثر سه سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج محاسبات تجمعی و میانگین برآورد مقادیر پارامترهای (λ_1 و β_1) مدل های پژوهش و میزان دقت برآورد R^2 و خطاهای RMSE و MAE مدل‌های اسونسون (svn) و نلسون-سیگل (nss) در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- خلاصه نتایج محاسبات میانگین تجمعی پارامترهای تخمینی و خطاهای آزمونها برای دو مدل در ۷۳

روز مشاهده تراکنش ها

شاخص آماری	مدل	λ_1	λ_2	β_1	β_2	β_3	β_4	$\sum(y-\hat{y})^2$	$\sum e^2$	(R^2)	RMSE	MAE	$di=[rmse(nss)-rmse(svn)]$
میانگین	svn	0.032447	0.005407	23.739874	1.108894	-5.972698	-5.769722	11.096425	2.514740	0.724279	0.298477	0.236043	0.011548
	nss	0.015419	0.000000	24.032859	1.191756	-11.019885	0.000000	11.096425	2.639337	0.702677	0.310025	0.245524	
انحراف	svn	0.054719	0.012824	4.269389	11.289110	15.120268	14.593757	11.898380	2.626388	0.202598	0.158179	0.126067	0.024185
	nss	0.015392	0.000000	4.938574	8.891928	14.197703	0.000000	11.898380	2.722638	0.208689	0.155220	0.122951	
بزرگترین	svn	0.315700	0.112499	36.153774	58.025512	38.331933	57.971592	48.334973	11.554041	0.999345	0.814310	0.691838	0.140499
	nss	0.078476	0.000000	47.855354	52.317371	21.405978	0.000000	48.334973	12.532892	0.998832	0.814310	0.691810	
کوچک ترین	svn	0.002837	0.000090	8.254033	-42.190130	-59.780679	-51.454688	0.176208	0.001702	0.100047	0.016840	0.013823	-0.053658
	nss	0.000544	0.000000	13.543941	-25.317253	-58.826214	0.000000	0.176208	0.005238	0.050549	0.029547	0.022358	

میانگین معیارهای MAE و RMSE مدل اسونسون در ۷۳ روز مشاهدات کوچکتر از مدل نلسون و سیگل است و میانگین ضریب تعیین R^2 مدل اسونسون بزرگتر از مدل نلسون سیگل می باشد. این آماره ها نشان می دهند که با داده های جامعه آماری پژوهش، مدل اسونسون در تخمین پارامترها و برازش منحنی اسناد خزانه اسلامی عملکرد بهتری از مدل نلسون سیگل دارد. به منظور بررسی عملکرد کلی مدلها، تفاوت معیارهای RMSE روزانه دو مدل تحت عنوان اسپرد جذر میانگین مربع خطاهای دو مدل محاسبه و حرکت آن در ۷۳ روز معاملاتی در نمودار ۴ نشان داده شده است.



نمودار ۴- سری زمانی اسپرد خطای RMSE مدل‌های نلسون-سیگل و اسونسون در ۷۳ روز معاملاتی

نمودار ۴ نشان می دهد که در اکثر روزهای مطالعه اسپردها مثبت هستند و این یعنی ریشه میانگین مربعات خطای مدل نلسون سیگل $RMSE [nss]$ بزرگتر از ریشه میانگین مربعات خطای روش اسونسون $RMSE [svn]$ هستند. مقایسه بصری نمودار فوق حاکی از این است که مدل اسونسون خطای کمتری نسبت به مدل نلسون سیگل در روزهای معاملاتی کل دوره پژوهش (۱۳۹۴-۱۴۰۱) دارد و به عنوان مدل بهینه انتخاب می شود. مقایسه مقادیر بدست آمده از معیارهای سنجش و نمودار اسپرد روزانه جذر میانگین خطای دو مدل عملکرد بهینه و برتری مدل اسونسون در مقایسه با مدل نلسون سیگل را تأیید می کنند. اما آیا آزمون دایبولد ماریانو نیز این برتری را تأیید می نماید یا خیر؟

برای پاسخ به سؤال فوق فرضیه "قدرت پیش بینی یکسان دو مدل" در اسناد خزانه اسلامی را با استفاده از متغیر اسپرد (تفاوت) خطای RMSE دو مدل یعنی $di=e2-e1$ آزمون می کنیم. به عبارتی فرض صفر آزمون در سطح معنی داری ۹۵ درصد اطمینان ($\alpha=0.05$) معادل با "میانگین کل di دو مدل برابر با صفر" با روش دایبولد ماریانو (۹۵) آزمون می شود.

$$\begin{cases} H_0: \mu = 0 \\ H_1: \mu \neq 0 \end{cases}$$

برای این منظور ماتریس محاسبات آزمون دایبولد ماریانو با عناوین درایه های روزهای معاملاتی ($i=73$)، زیان اسپرد خطاهای RMSE دو مدل (Di)، تابع همبستگی γ^i ، انحراف معیار ($S.Ei$) و آماره (Dm_i) و با محاسبه مقادیر هریک از پارامترهای فوق، جدول (پیوست شماره پ) تشکیل شد. مقادیر ستون dm_i جدول همان مقادیر آزمون آماره دایبولد ماریانو است. مطابق مفروضات آزمون دایبولد ماریانو مقدار h از رابطه $h = (73)^{1/3} + 1$ برای تعیین و انتخاب یک مقدار از مقادیر محاسبه شده بدست می آید. $h=5$ یعنی مقدار آماره Dm_5 همان پاسخ آزمون است. برای درک بیشتر فرایندهای فوق تا ردیف ۵ نتایج محاسبات ماتریس آزمون (پیوست پ) را در جدول شماره (۷) (نمایش می دهیم).

جدول شماره (۷) - نتایج محاسبات ماتریس آزمون دایبولد ماریانو (تا ردیف ۵) برای مقایسه دو مدل در ۷۳ روز معاملاتی

i	E1	E2	di	yi	s.e	dm
1	0.3062249	0.2733573	0.0328676	0.000117306	0.00294995	3.8485057
2	0.2585475	0.2393168	0.0192307	8.23933E-05	0.00394125	2.88053147
3	0.1972486	0.1667581	0.0304906	9.4763E-06	0.00440977	2.57448293
4	0.1471129	0.1470138	0.0000990	-9.08193E-05	0.00444798	2.55236805
5	0.3008748	0.2979352	0.0029395	-7.448E-05	0.00406706	2.79142201

نتایج آزمون برابری دومدل با ۹۵ درصد اطمینان به شرح جدول زیر است.

جدول شماره (۸) - نتایج آزمون دایبولد ماریانو

نام آزمون	سطح اطمینان	سطح معنی داری	مقدار بحرانی $Z_{\alpha/2}$	آماره آزمون	نتیجه آزمون
دایبولد ماریانو (DM1995)	٪۹۵	$\alpha = 0.05$	۱/۹۶	$DM_5=2.79142$	رد برابری دو مدل در برازش منحنی بازده

چون مقدار آماره آزمون (2.79142) از مقدار بحرانی بیشتر است ($|DM_5| > 1.96$) پس فرضیه برابری قدرت پیش بینی دو مدل در تخمین پارامترهای منحنی بازده اسناد خزانه در سطح ۹۵ درصد اطمینان رد می شود. از طرفی چون اکثر اسپردها (di ها) بزرگتر از صفر و مثبت هستند و خطاهای مدل نلسون سیگل بیشتر از مدل اسونسون است. بنابراین با تراکنش های ۷۳ روز معامله اسناد خزانه اسلامی از سال ۱۳۹۴ لغایت ۱۴۰۱ مدل اسونسون برازش بهینه ای از منحنی نرخ نقدی بازده اسناد خزانه اسلامی نسبت به مدل نلسون سیگل ارایه می دهد. نتایج این پژوهش با یافته های پژوهش نیماند اندرسن (۲۰۱۸) که نشان داد ریشه میانگین مربعات خطاهای روزانه حاصل از مدل سازی اسونسون، خطای کمتری نسبت به برآورد نلسون و سیگل در دوره دو ساله ارائه می کند، مطابقت دارد و با یافته های پژوهش رانیک راین و همکاران (۲۰۲۱) که نشان داد مدل نلسون و سیگل در

مقایسه مدل‌های منحنی بازده سه گانه نلسون-سیگل، بلیس و اسونسون برای اوراق بهادار مشاهده‌شده خزانه‌داری ایالات متحده با سررسید تا ۳۰ سال پایدارتر است، مطابقت ندارد.

بحث و نتیجه‌گیری

بازده اسناد خزانه در هر مقطع زمانی متأثر از قیمت پایانی و تعداد روزهای باقی مانده تا سررسید هر یک از نمادهای معاملاتی است. درک رفتار واقعی منحنی بازده اسناد خزانه در شرایط ناپایدار اقتصادی کار دشواری است. نتیجه پژوهش‌ها در کشورهای مختلف نشان از تأثیرپذیری بازده اوراق با درآمد ثابت از عواملی مهمی چون نرخ بهره بانکی، نرخ تورم، نرخ ارز، نوسان بازار سهام دارد. آنچه را که ما در این پژوهش به دنبال آن بودیم ارایه مفاهیم نظری و ضرورت و اهمیت تشکیل منحنی بازده روزانه و انتخاب یک مدل بهینه برای برازش منحنی بازده اسناد خزانه در ایران از بین مدل‌های صرفه جویانه بود.

تعداد اندک نمادها و استقبال پائین سرمایه‌گذاران در سالهای اولیه انتشار ابزار بدهی از نوع اسناد خزانه در بازار سرمایه ایران، امکان تشکیل منحنی بازده برای همه روزهای نمونه وجود نداشت ولی با توسعه و رونق بازار از بهمن ماه سال ۱۳۹۶ و انتشار اسناد خزانه با سررسیدهای بیش از یکسال، منحنی اسناد خزانه اسلامی در بازار سرمایه ایران در این پژوهش برای ۷۳ روز (پیوست ب) برازش و ترسیم شد. خلاصه نتایج محاسبات مقادیر پارامترهای دو مدل بر اساس داده‌های یکسان ۷۳ روز تراکنش‌های معاملاتی و شاخص‌های آماری جدول (۶) نشان می‌دهد که میانگین ضریب تعیین (R^2) برای مدل اسونسون (۰.۷۲۴۲) بزرگتر از مدل نلسون سیگل (۰.۷۰۲۶) است و این یعنی مدل اسونسون با متغیرهای توضیحی یکسان برازش بهتری را از منحنی بازده اسناد خزانه اسلامی نشان می‌دهد. اگرچه امکان تولید یک منحنی برای کل دوره پژوهش وجود ندارد ولی آماره‌های کلی از معیارهای سنجش خطاهای دو مدل نشان می‌دهد که میانگین خطاهای RMSE و MAE مدل اسونسون برای کل دوره پژوهش کوچکتر از مدل نلسون و سیگل است. تفاوت (اسپرد) جذر میانگین دو مدل (نمودار ۴) و در نهایت آماره آزمون دایبولد ماریانو با مقدار $DM=2.79142$ و ۹۵ درصد اطمینان نشان داد که مدل اسونسون برازش بهینه‌ای از منحنی نرخ نقدی بازده اسناد خزانه اسلامی نسبت به مدل نلسون سیگل ارایه می‌دهد.

انتشار منظم اسناد با فواصل مناسب و سررسیدهای طولانی‌تر بر غنای بازار و تولید یک منحنی مناسب کمک فراوانی خواهد کرد. از اهداف انتشار اسناد خزانه علاوه بر تامین کسری بودجه دولت، خاصیت تنظیم‌گری بازار پول و کنترل نرخ بهره در راستای سیاست‌های پولی است. به نظر می‌رسد حتی با فرض اینکه دولت در تامین بودجه نیازی به انتشار اسناد خزانه نداشته باشد برای هدف دوم که سرو سامان دادن به نرخ بهره و کنترل تورم است به توسعه منظم بازار بدهی ادامه دهد و به بانک مرکزی، خزانه داری کل، مرکز مدیریت بدهی‌های وزارت امور اقتصادی و دارایی و شرکت فرابورس و سایر نهادهای متولی سیاست‌های مالی پیشنهاد می‌شود تا از نتایج این پژوهش استفاده و نمودار منحنی بازده را برای اوراق مختلف روزانه ترسیم و به صورت مرتب منتشر نمایند تا سرمایه‌گذاران و سرمایه‌پذیران بتوانند تصمیم‌گیری منطقی داشته باشند. این پژوهش به دنبال انتخاب یک مدل بهینه برای برازش منحنی اسناد خزانه اسلامی از بین مدل‌های صرفه جویانه بود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های

بعدی از مدل‌های تعادلی و اسپلاین‌ها و سایر مدل‌های صرفه جویانه برای برازش منحنی اسناد خزانه استفاده نمایند و نتایج را با یافته‌های این تحقیق مقایسه کنند.

فهرست منابع

- * بشیری، ندا و یآوری، محسن (۱۳۹۷). "روش برازش منحنی نرخ بازده تاسرسید به روش نلسون سیگل، مطالعات شرکت فرابورس"، گزارش شماره ۹۷-۰۷ - تهران - ایران
- * پیمانی، مسلم و هوشنگی، زهره (۱۳۹۶)، "تخمین و مقایسه مدل‌های تعادلی نرخ سود کوتاه مدت اسناد خزانه اسلامی"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۳۳، صص ۸۹ - ۱۱۱
- * خادم الحسینی اردکانی، مجید و سیدعباس موسویان (۱۳۹۱). "مهندسی مالی اسناد خزانه". فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد اسلامی، سال دوازدهم شماره ۴۵ - صص ۱۰-۱۳۰
- * خردیار سینا و همکاران، ۱۳۹۹، "اسناد خزانه اسلامی: ابزاری نوین در تأمین مالی"، مطالعات حسابداری و حسابرسی، تابستان ۱۳۹۹، شماره ۳۴، از صص ۸ - ۶۷
- * ذاکرنیا، احسان و محمد ها دی حبیب الهی (۱۳۹۵)، "ارائه مدل قیمت گذاری اسناد خزانه اسلامی مبتنی بر چارچوب اوراق بهادار سازی"، فصلنامه علمی و پژوهشی دانش سرمایه گذاری - شماره ۱۸، صص - ۵۱ - ۶۵
- * فیاضی، محمد تقی و نظر پور، محمدنقی (۱۳۹۴). "استفاده از اسناد خزانه اسلامی برای تأمین مالی طرح‌های تملک دارایی‌های سرمایه‌ای دولت". فصلنامه علمی - ترویجی اقتصاد و بانکداری اسلامی - شماره ۱۳، صص ۸۳-۱۰۸
- * صدراپی، محمد حسین و دیگران، (۱۳۹۹)، "بررسی تأثیر انتشار اسناد خزانه اسلامی بر پایداری مالی دولت ایران با رویکرد مدل تعادل عمومی پویای تصادفی" نشریه علمی (فصلنامه) پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی شماره ۹۴ - سال بیست و هشتم، تابستان ۱۳۹۹، صص ۳۳۳-۳۹۶
- * کرمی، هومن و بیات، سعید، (۱۳۹۶)، تحلیل آماری و آسیب شناسی بازار اسناد خزانه اسلامی، فصلنامه روند، سال بیست و چهارم، شماره ۷۷، صص ۱۱۵-۱۴۶
- * کیان پور و همکاران (۱۳۹۹)، "ساختار زمانی نرخ بهره در چارچوب یک مدل نئوکینزنی"، فصلنامه ی اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق). دور ه ۱۷. شماره ۴. صص ۶۰ - ۲۹
- * موسویان، سید عباس و نظرپور، محمد نقی و خزایی، ایوب (۱۳۸۹)، "امکان سنجی فقهی طراحی اسناد خزانه اسلامی در بازارهای مالی اسلامی" فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد اسلامی، سال دهم، شماره ۴۰، صص ۸۳-۱۰۸
- * نظرپور، محمد نقی و صدراپی، محمدحسین (۱۳۹۶)، "شناسایی و رتبه بندی ریسک‌های اسناد خزانه اسلامی در بازار اوراق بهادار ایران"، دو فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مالی اسلامی، سال ششم، شماره دوم (پیاپی ۱۲)، بهار و تابستان ۱۳۹۶، صص ۱۳۳-۱۶۶

- * Abbritti, Mirko. Dell'Erba, Salvatore. Moreno, Antonio , Sola, Sergio.(2013). Global Factors in the Term Structure of Interest Rates, IMF Working Paper, WP/13/223, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp13223.pdf>
- * Amamiya, Masayoshi.(2017), History and Theories of Yield Curve Control, Keynote Speech at the Financial Markets Panel Conference to Commemorate the 40th Meeting,Bank of Japan
- * Andersen, Nymand.(2018). Yield curve modelling and a conceptual framework for estimating yield curves: evidence from the European Central Bank's yield curves,Website www.ecb.europa.eu
- * Bordo, Michael D., and Joseph G. Haubrich. 2004. "The Yield Curve, Recessions, and the Credibility of the Monetary Regime." Federal Reserve Bank of Cleveland, Working Paper No. 04-02. <https://doi.org/10.26509/frbc-wp-200402>
- * Caldeira, J. F., Moura, Guilherme V., & Portugal, Marcelo S.(2010). Efficient yield curve estimation and forecasting in Brazil. *Economia*, 11(1), 27-51.
- * Cassar, Dylan.(2021), A Sociological Investigation into the Yield Curve, p, 1-5. https://era.ed.ac.uk/bitstream/handle/1842/39164/CassarD_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- * Collin, Victoria.(2022), Government Bond Yield Curve,<https://www.fe.training/free-resources/financial-markets/government-bond-yield-curve>
- * Coroneo L., K. Nyholm, & R. Vidova-Koleva: 2008, "How Arbitrage-Free is the Nelson-Siegel Model?", European Central Bank, Working Paper Series No. 874.
- * Das Krishna Geetima, Nag Biswajit,(2022), Predictive power of the yield curve – Evidence from India, Indian Institute of Foreign Trade, IIFT Bhawan, B-21, Qutab Institutional Area, New Delhi, India, IIMB Management Review (2022) 000, 1–14, www.elsevier.com/locate/iimb
- * Davis p. Tom, Liu Figo.(2019), Swap Curve Building at FactSet THE MULT I - C U RVE FRAMEWORK, FactSet Research Systems Inc, www.factset.com
- Eckett, Tom.(2021). Fixed Income Unlocked: ETFs take centre stage Actively managing duration,<https://www.etfstream.com/events/fixed-income-unlocked-etfs-take-centre-stage/>
- * Nelson, Charles B. y Siegel, Andrew: 1987, "Parsimonious Modeling of Yield Curves", *Journal of Business*, Vol. 60, 473-489.
- * Noel, Michel.(2000), Building subnational debt markets in developing and transition economies : a framework for analysis, policy reform, and assistance strategy, POLICY RESEARCH WORKING PAPER 2339. <https://www.worldbank.org/en/about/people/m/michel-noel>
- * Hautsch, Nikolaus. Ou, Yangguoyi.(2008). Yield Curve Factors,Term Structure Volatility,and Bond Risk Premia, SFB 649 Discussion Paper 2008-053, <http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de> ISSN 1860-5664 org/index.php?q=node/5395.
- * O'Donnell, Michael Richard. (2020). Yield Curve Theories and Their Applications Over Time, Senior Projects Spring 2020. 115 . https://digitalcommons.bard.edu/senproj_s2020/115
- * Pedro Cadahia Delgado1, Emilio Congregado1, Antonio A. Golpe1, Jose Carlos Vides2. (2022), The Yield Curve as a Recession Leading Indicator. AnApplication for Gradient Boosting and Random Forest, *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, Vol. 7, N°3
- * Reinhart, Carmen M., Kenneth S. Rogoff (2010), Debt and Growth Revisited, *vox - Research-based policy analysis and commentary from le...* Page 1 of 14. https://scholar.harvard.edu/files/rogoff/files/debt_and_growth_revisited_vox.pdf. <http://www.voxeu.org/index.php?q=node/5395>
- * Ranik,Raaen ,Wahlstrøm. Florentina ,Paraschiv. Michael ,Schurle.(2021). A Comparative Analysis of Parsimonious Yield Curve Models with Focus on the Nelson-Siegel, Svensson and Bliss Versions, *Computational Economics*,<https://doi.org/10.1007/s10614-021-10113-w>
- * SANTOSA ,Perdana .W .(2021), MACROECONOMIC INDICATORS AND YIELD CURVE OF INDONESIAN GOVERNMENT BOND, *Business, Management and Economics Engineering*, Volume 19 Issue 1: 34–48.

- * Rose, Jonathan.(2021). Yield Curve Control in the United States, 1942 to 1951, Economic Perspectives, No. 2, October 2021Crossref, <https://www.chicagofed.org/publications/economic-perspectives/2021/2>
- * Zdravkovic, A. 2010. Forecasting the Term Structure if Interest Rates in Government Bonds. Magistarski rad, Ekonomski fakultet Beograd
- * Zinchenko, Marcelo.(2015), A METHODOLOGY TO ESTIMATE THE ARGENTINE TERM STRUCTURE OF INTEREST RATES, <https://www.researchgate.net/publication/351117809>
- * Zoricic, Davor, and Marko Badurina. 2013. Nelson-Siegel yield curve model estimation and the yield curve trading in the Croatian financial market. UTMS Journal of Economics 4 (2): 113–125.
- * © Copyright Fin Pricing 2021 All rights reserved.Yield Curve and Swap Curve Introduction and Data Feed. <https://finpricing.com/lib/IrCurveIntroduction.html>.

Title of the research: Providing a suitable model for the yield curve of Islamic treasury bills with Nelson Siegel and Svensson models in the financial market of Iran.

Saeed Masoudi

Ph.D. Student of Financial Engineering, Department of Business Administration, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

Gholamreza Mahfoozi

Assistant Professor, Department of Economics and Accounting, University of Guilan, Rasht, Iran
Corresponding Author

Seyyed Mozaffar Mirbargkar

Assistant Professor, Department of Business Administration, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

Abstract

The yield curve of treasury bills is considered to be one of the most important indexes and the basis of decision-making in the capital markets of most countries. The macroeconomic factors of the countries are usually under the effects of the behavioral characteristics of the customers of the same country. It means that the yield curve of each country draws with the economic data and characteristics of fixed income bonds of the same country. This research intends mainly to introduce the appropriate model of the treasury bills in Iran, on the basis of the parsimonious models on Nelson-Siegel and Svensson.

The transactions of 73 trading days that meet the criteria of this research were selected as samples. The parameters of the two modes were estimated when the data were extracted by linear regression and using the Ordinary Least Squares (OLS) method. The graphs of the yield curve of cash rate of Islamic treasury bills (without coupons) were fitted and drawn with the same data with both models. Determination coefficient R^2 , the average square of the forecast error, and the absolute value of the average forecast error were used to evaluate the accuracy of each model in estimating the parameters of the daily curve. The difference or spread of the average daily prediction error and the Diebold Mariano (1995) test were utilized to compare the performance of the models for the entire research period. The results of this study reveals the fact that the performance of Svensson's model in predicting parameters and fitting the curve of Islamic treasury bills with a 95% confidence level is better than Nelson Siegel's method.

Keywords: Yield curve, Islamic treasury bills, Nelson-Siegel model, Svensson model

